О. Якоби

Практика управления горным давлением



PRAXIS DER GEBIRGSBEHERRSCHUNG

Von Dr.-Ing. Dr. mont. h. c. Oskar Jacobi

Unter Mitwirkung von
Dr.-Ing. Georg Everling und
Ing. (grad.) Nanne Buschmann
Dr.-Ing. Wilhelm Götze
Ing. (grad.) Hans Herwig
Dr. mont. Hermann Irresberger
Ing. (grad.) Werner Jubt
Ing. (grad.) Willi Kammer
Ing. (grad.) Jürgen Krahe

Zweite, neu bearbeitete und mit neuen Ergebnissen erweiterte Auflage

Verlag Glückauf GmbH Essen 1981

6228
6П1.1
Я46

О. Якоби

ПРАКТИКА УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Перевод с немецкого Ф.Ф. ЭЙНЕРА

Под научной редакцией профессора,
доктора технических наук Г.А. КАТКОВА

Техническая библиотека
Центрального РУ
25458

МОСКВА "НЕДРА" 1987

УДК 622.831.24

Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. — М.: Недра, 1987. — 566 с.

Освещены вопросы управления горным давлением в очистных и подготовительных выработках угольных шахт при различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Изложены сведения о форми, звании и проявлениях горного давления в очистных и подготовительных за оях, способах крепления и охраны выработок, характере взаимодействия крепей с вмещающими породами. Рассмотрены требования, которым должна удовлетворять крепь очистных и подготовительных выработок, дано описание новых видов крепей. Приведены рекомендации по выбору эффективных способов и средств управления горным давлением, рациональному расположению горных выработок. Перевод выполнен со второго издания на немецком языке.

Для инженерно-технических работников шахт, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций угольной промышленности.

Табл. 70, ил. 391, список лит. — 155 назв.

Рекомендовано к переводу профессорами, д-рами техн. наук *Г. А. Катковым и М. И. Устиновым* (Институт горного дела им. А. А. Скочинского)

Я $\frac{2503000000-423}{043(01)-87}$ 276—87

© Ferlag «Glückauf GmbH», 1981
© Русский перевод.
Издательство «Недра», 1987



Предисловие

После того как первое издание этой книги, вышедшее в свет в 1976 г., полностью разошлось, вниманию читателей предлагается второе издание, подвергшееся переработке с многочисленными дополнениями и изменениями.

Горное давление и его проявления в горных выработках можно прогнозировать теперь намного точнее и более полно, чем раньше. В особенности это относится к расчетам ожидаемой частоты вывалов кровли в лавах и деформаций подготовительных выработок, что позволяет обоснованно выбирать способы проведения и крепления выработок при их проектировании. Раздел книги, посвященный креплению очистных забоев, составлен заново с учетом современного уровня развития механизированных крепей. Раздел, посвященный креплению подготовительных выработок, дополнен описанием конструкций анкерной крепи и ее расчетами, а также новыми данными о механизированном заполнении закрепного пространства.

Горным инженерам, работающим на шахтах, эта книга поможет решать стоящие перед ними проблемы, для студентов она явится ценным пособием, позволяющим вникнуть в суть проблемы горного давления, а научные работники смогут найти в ней систематизированные сведения о современном уровне исследований в области управления горным давлением, чтобы использовать их в качестве основы для дальнейших исследований.

Значение вопросов управления горным давлением будет постоянно возрастать. В связи с непрерывным ростом глубины разработки горное давление будет увеличиваться и в дальнейшем. Современная структура горных предприятий требует вести очистные работы на больших площадях, что приводит к интенсивной подработке породного массива. В очистных забоях с неустойчивыми вмещающими породами проявления горного давления будут более сильными. Следует ожидать дальнейшего увеличения трудоемкости выполняемых вручную работ по перекреплению выработок и ликвидации последствий вывалов пород кровли в лавах. Возрастет чувствительность комплексно-механизированных очистных забоев к проявлениям горного давления. Из-за высокой стоимости забойного оборудования вследствие постоянно возрастающей нагрузки на очистные забои нарушения производственного процесса, вызванные недостаточно эффективными методами управления кровлей, будут иметь все более ощутимые экономические последствия. Поэтому в будущем придется предъявлять все более строгие требования к надежности проектов подготовки выемочных участков и крепления выработок. Потребуется исключить возможность ошибок при конструировании крепей и разработке мероприятий по управлению кровлей, поскольку сокращается время с момента разработки проекта до момента его реализации в производстве. Все указанные причины требуют совершенствования методов управления горным давлением.

В западногерманских угольных шахтах ежегодно отрабатывают пласты угля на площади более 40 км² и проходят около 600 км подготовительных выработок. Все бо́льшая часть очистных и подготовительных выработок нуждается в предварительной как количественной, так и качественной оценке ожидаемых проявлений горного давления. Возможные в этой связи осложнения должны быть с достаточной степенью достоверности предсказаны заранее и учтены еще на стадии проектирования.

Управление горным давлением, основывавшееся первоначально лишь на практическом опыте, со временем развилось в научную дисциплину, располагающую методами и средствами инженерных расчетов, одним из выдающихся основоположников которой является Ф. Шпрут. Последующее развитие привело к созданию прикладной механики горных пород, основы которой рассматриваются в настоящей книге. Пользуясь методами прикладной механики горных пород, горные инженеры, занятые в проектных отделах,

на шахтах или в конструкторских бюро, могут находить оптимальные схемы подготовки выемочных участков, обеспечивающие наименьшее воздействие горного давления на очистные и подготовительные выработки, заранее определять зоны повышенного давления, давать количественную оценку возможным проявлениям горного давления и принимать соответствующие меры по поддержанию выработок, а также совершенствовать конструкции крепей. Разработанная на международном уровне «Система управления горным давлением» дает возможность решать весь комплекс указанных вопросов.

Применяемые способы управления горным давлением должны отвечать непрерывно изменяющимся горно-геологическим условиям, развитию техники и технологии горных работ, ужесточению требований к безопасности и экономичности горного производства. Поэтому и в будущем потребуется продолжать исследовательские и экспериментальные работы в этой области.

Предлагаемая вниманию читателей книга написана коллективом сотрудников лаборатории рудничных крепей и механики горных пород научно-исследовательского института «Бергбау-форшунг» в Эссене. Отраслевой комитет «Рудничные крепи и механика горных пород» при Обществе каменноугольной промышленности ФРГ постоянно ставит перед этой лабораторией новые задачи, направляет и контролирует ее деятельность, ориентируя на запросы производства.

Наряду с работами западногерманских исследователей в книге учтены соответствующие результаты, полученные научно-исследовательскими организациями других западноевропейских стран, в первую очередь Бельгии, Великобритании, Нидерландов и Франции. Научное сотрудничество в рамках ЕЭС дало возможность регулярно обмениваться опытом и результатами исследований, что позволило ускорить решение поставленных задач.

Пусть эта книга поможет горнякам как можно лучше познать горное давление и успешно преодолеть его проявления.

От имени отраслевого комитета «Рудничные крепи и механика горных пород» при Обществе каменноугольной промышленности ФРГ

У. Гротовски



1. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ*

1.1. ПРИЧИНЫ И ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

1.1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Силы и напряжения. Собственный вес пород, слагающих породный массив, вызывает появление внутренних сил, величина которых изменяется под воздействием проведения подготовительных выработок и ведения очистных работ. Эти силы действуют на элементарный объем породного массива, имеющий форму куба, со всех сторон. Силу, отнесенную к единице площади грани такого элементарного куба, называют напряжением.

В механике горных пород под горным давлением понимают вертикальные (при горизонтальном залегании пород) или нормальные к напластованию (при наклонном залегании) напряжения. Кроме того, имеются в виду горизонтальные или параллельные напластованию напряжения породного массива. Величину горного давления принято выражать в единицах механического напряжения (МПа).

Геостатическое давление, опорное давление, сдвижение пород при разгрузке, разрушающая деформация. Горное давление в нетронутом массиве будем называть геостатическим и обозначать символом p_0. Оно равно весу всей толщи расположенных выше пород, отнесенному к единице площади, т. е. произведению глубины и объемного веса пород. На глубине 1000 м геостатическое давление составляет примерно 25 МПа. Горизонтальные напряжения в нетронутом массиве могут иметь ту же величину.

Искусственная полость в породном массиве (например, разрезная печь) обусловливает появление у ее боков давления p, превышающего примерно в два раза первоначальное давление p_0. Это дополнительное, так называемое опорное, давление по мере удаления от выработки снижается до первоначального p_0. При сравнительно небольшой прочности на сжатие угленосных пород (от 10 до 100 МПа) на глубине более 400 м породы могут подвергнуться разрушающим деформациям, распространяющимся на большее или меньшее расстояние в глубь массива. При этом разрушенные породы смещаются в полость выработки, поскольку отсутствует опора, которая могла бы противостоять их давлению. Объем пород увеличивается, так как раньше они находились в состоянии упругого сжатия, проис-

---

* Авторы раздела Г. Эверлинг и В. Юбт.

ходит частичное раскрытие трещин. Поэтому в таких случаях говорят о сдвижении пород при разгрузке.

Поскольку разрушенные породы не воспринимают опорное давление, оно смещается в глубь массива, где породы находятся в состоянии трехосного сжатия и обладают достаточно высокой несущей способностью. При этом величина опорного давления несколько возрастает в соответствии с увеличением пролета между опорами. Процесс сдвижения пород может продолжаться довольно долго; он завершается лишь тогда, когда нарушенные породы сами станут препятствовать дальнейшему развитию сдвижений.

Деформированию подвергаются также и ненарушенные породы, которые под действием опорного давления претерпевают упругое сжатие. Слой породы мощностью 10 м, испытывающий опорное давление в 100 МПа, сжимается на 3 см; примерно на такую же величину может быть сжат угольный пласт мощностью 1,5 м.

Изменения величины горного давления. По мере подвигания лавы увеличивается площадь обнаженной поверхности кровли пласта; соответственно изменяются величина горного давления и положение воспринимающих его опор. Над выработанным пространством образуется породная плита, опирающаяся на краевую часть угольного пласта перед забоем и на угольный массив или целики по бокам выработанного пространства и за разрезной печью. При этом в течение длительного времени только часть общего веса находящихся над плитой пород передается на обрушенные породы или закладочный массив. Осадка пород кровли происходит не одновременно по всей толще: вначале опускаются под действием собственного веса самые нижние слои, а затем приходят в движение вышележащие. Полости расслоения на контактах между отдельными слоями могут время от времени раскрываться и вновь смыкаться.

В зоне выработанного пространства действует пониженное, а в краевых частях — повышенное горное давление. В зависимости от геометрической формы и размеров выработанного пространства максимум опорного давления может превышать значение первоначального геостатического давления в 2—20 раз. Максимум опорного давления впереди очистного забоя перемещается вместе с подвиганием лавы. В краевых частях нетронутого массива с обеих сторон выработанного пространства опорное давление достигает такой же величины. Оно постепенно снижается до первоначальной величины p_0 на расстоянии 30—300 м от угольного забоя и боковых границ выработанного пространства.

Разрушающие деформации пород и сопротивление крепи. В результате изменения напряженного состояния породного массива, вызываемого очистными работами, происходят разрушение породных слоев и перемещение отделившихся от массива породных блоков в сторону образовавшейся полости (на-

пример, на 1 м). Разрушающей деформации породного массива противостоит сопротивление крепи*, которое обычно не превышает примерно 1 % величины горного давления (например, 0,2 МПа против более чем 20 МПа). Крепь поддерживает не всю толщу налегающих пород, а только отделившуюся от массива часть разрушенных пород; кроме того, сопротивление крепи способствует увеличению сил трения между отдельными породными блоками и, следовательно, препятствует развитию сдвижений.

Горное давление, проявления горного давления и крепь выработок. Следует четко определить различия между понятиями «горное давление», «проявления горного давления» и «нагрузка на крепь». Горное давление само по себе в горных выработках не ощущается и не воздействует на крепь, но от его величины и характера изменения зависят разрушающие деформации породного массива и, следовательно, деформирование крепи. Такие проявления горного давления зависят не только от его абсолютной величины, но и от свойств породного массива, системы разработки (например, с обрушением или закладкой) и в особенности от характеристик крепи.

Параметры горного давления, проявлений горного давления и распорного усилия крепи приходится определять раздельно и независимо друг от друга. На величину горного давления может в значительной мере влиять степень над- или подработки; его значение в данной точке породного массива зависит от постоянно изменяющихся геометрических форм и размеров выработанных пространств в пределах породного массива значительного объема. Непосредственные измерения изменений горного давления в пространстве и времени было бы слишком сложным и дорогостоящим делом. Кроме того, измерения горного давления существенно затрудняются анизотропией породных слоев и перераспределением напряжений в массиве, вызванным внедрением измерительного устройства. Но все же горное давление можно определять, хотя и приближенно, используя методы математического моделирования. Для расчетной модели необходимо специальное определение понятия «горное давление». В этом случае под ним понимают расчетное среднее давление, которое действует на некоторую площадку размером, например, 10×10 м (при другом масштабе размеры площадки могут быть равными 25×25 м), расположенную вне зоны разрушений краевой части массива вблизи выработки. В большинстве случаев горное давление определяется для первой 10-метровой полосы, примыкающей к зоне разрушенных пород вдоль выработки или выработанного пространства.

---

* Расчетное сопротивление гидравлической крепи, определенное по давлению в гидросистеме и геометрическим параметрам крепи, необходимо отличать от фактического сопротивления, измеренного в шахте. Последнее называют усилием распора, а в случае отнесения его к площади поддерживаемой поверхности кровли — рабочим сопротивлением крепи.

При изучении проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках возможна как качественная, так и количественная оценка. Качественная оценка заключается в описании наблюдаемых проявлений, определении их типа и систематизации. Для количественной оценки измеряют характерные показатели проявлений, а получаемые результаты сопоставляют с другими измеряемыми величинами, например: с распорным усилием крепи или расстоянием между призабойной крепью и забоем. При этом руководствуются правилом, что измерениям подлежат те проявления горного давления, которые оказывают непосредственное влияние на горные работы.

В подготовительных выработках измеряют, например, вертикальную конвергенцию и смещение боков, выражаемые в долях исходной величины (высоты и ширины выработки), а в лавах — площадь вывалов, относимую к общей площади обнаженной кровли.

Нагрузка на крепь, которая вначале соответствует усилию начального распора, вскоре становится равной тому сопротивлению, которое оказывает крепь деформации пород. Влияние крепи на предупреждение разрушающих деформаций породного массива зависит от ее конструкции, формы, начального распора и рабочего сопротивления.

1.1.2. ПОНИЖЕННОЕ ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Под пониженным горным давлением понимают давление, величина которого не превышает или лишь незначительно превышает давление в нетронутом породном массиве. Так, зона пониженного горного давления наблюдается при отходе лавы от разрезной печи. Она образуется также над тупоугольной частью угольного массива у сопряжения диагонально расположенной лавы с вентиляционным штреком. Ее величина лишь ненамного превышает геостатическое давление в выемочном штреке в 30 м перед лавой, если с обеих сторон штрека располагается нетронутый угольный массив. Пониженное по сравнению с первоначальным давление наблюдается также в выработанном пространстве или под ним (после выемки пласта как с закладкой, так и с обрушением).

При проектировании схем подготовки выемочных полей подготовительные выработки следует по возможности располагать в зонах пониженного горного давления, называемых зонами разгрузки.

Однако и пониженное горное давление может вносить осложнения или даже увеличивать опасность горных работ. Уголь в таких случаях сохраняет первоначальную прочность и плохо поддается разрушению (отсутствует отжим угля). При пониженном давлении увеличивается расстояние между трещинами, возникающими в породах кровли, вследствие чего образуются крупные породные блоки и появляется опасность их

внезапных осадок или соскальзывания с крепи. Поскольку при пониженном давлении уменьшается конвергенция, забойная крепь может оказаться недостаточно нагруженной, что приводит к ее смещению или перекосу. Пониженное давление может быть причиной также и образования продольных трещин в кровле над призабойным пространством.

1.1.3. ПОВЫШЕННОЕ ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

В краевых зонах массива вдоль выработанного пространства давление значительно выше, чем у выработок, пройденных в нетронутом массиве. Штрек, пройденный до начала очистных работ, на участке протяженностью 30 м перед лавой подвергается сильной деформации в результате действующего впереди очистного забоя опорного давления. В краевой части массива на расстоянии примерно в 100 м позади лавы опорное давление возрастает до 4-кратной величины геостатического давления. Особенно больших значений оно достигает в выступающих угловых частях угольного массива, где опорное давление впереди лавы накладывается на опорное давление в краевой зоне массива. В результате такого наложения давление, обусловленное двумя системами перераспределения напряжений в массиве, не равно сумме отдельных давлений. В данном случае оно больше суммы.

В оставленном угольном целике давление также очень велико, что сказывается на состоянии выработки, пройденной по целику или рядом с ним. Опорное давление от кромки выработанного пространства распространяется при неблагоприятной геометрии очистных работ примерно на глубину 200 м в породы почвы, а также вышележащего массива. Аналогичное действие оказывает также зона выклинивания вышележащего пласта или граница закладочного массива, если вышележащий пласт вначале отрабатывался с закладкой, а затем — с обрушением кровли.

Повышенное горное давление может приводить к усиленной конвергенции. В лаве оно может быть причиной повышенного трещинообразования в породах кровли, а также усиленного отжима угля и обрушения разрушенных пород кровли. Вывалы кровли, увеличивающиеся с ростом давления, лишают крепь опоры, в результате чего сопротивление крепи уменьшается, или же она вообще перестает поддерживать кровлю. Как следствие этого, наблюдается дальнейшее ухудшение устойчивости кровли. Сдвижение породных слоев может привести к смещению крепи. Если отжима угля и обрушения пород кровли не происходит, то максимум опорного давления формируется непосредственно в призабойной зоне угольного массива, что при определенных обстоятельствах может привести к опасности возникновения горного удара. Такой случай может иметь место при весьма крепких боковых породах (песчаниках), которые не

подвержены значительному перемещению в призабойное пространство. В то же время глинистые сланцы весьма склонны к такому перемещению. В этом случае максимум опорного давления удален от забоя примерно на 15 м. Подобное его расположение может приводить к конвергенции и вывалам породы из кровли, но не к горным ударам.

Проведение выработки по слабым (неустойчивым) породам в зоне повышенного давления сопровождается вывалами пород кровли в призабойном пространстве, складкообразованием в слоях пород кровли и почвы, обрушением пород в боках выработки и усиленной конвергенцией, примерно пропорциональной давлению. Для борьбы с вывалами пород из кровли применяют консольную опережающую крепь, затяжку кровли, упрочнение пород, их анкерование, заполнение закрепного пространства, а с пучением пород почвы в выработке — их упрочнение.

В то же время повышение давления в зоне уже пройденного штрека может вызвать сильное сдвижение массива также и при крепких породах. Конвергенция и смещение боков выработки увеличиваются пропорционально приросту давления, причем их абсолютные значения могут достигать нескольких дециметров; они возрастают также с увеличением глубины разработки. Конвергенция в выемочных штреках повышается пропорционально приросту давления, вызванному ведением очистных работ. В других выработках, пройденных по пласту или вблизи нерабочих пластов, конвергенция возрастает также и с течением времени.

Условия, ведущие к повышению давления (наличие целиков по соседним пластам, под- или надрабатываемых границ выработанных пространств), могут быть (хотя и не всегда) учтены при выборе схем подготовки выемочных полей, с тем чтобы устранить их вредное влияние на выработки.

1.1.4. ВЛИЯНИЕ КРАЕВЫХ ЧАСТЕЙ УГОЛЬНОГО МАССИВА И ОСТАВЛЕННЫХ ЦЕЛИКОВ ПО СОСЕДНИМ ПЛАСТАМ [70]

О влиянии краевых частей угольного массива и оставленных целиков по соседним пластам на конвергенцию в выработках и вывалы пород кровли на разрабатываемом пласте можно судить по рис. 1.1, 1.2 и 1.3.

1.1.5. ВЫВОДЫ ПО РАЗД. 1.1.1. — 1.1.4

Большое влияние горного давления на вывалы пород кровли и конвергенцию в подготовительных выработках было известно горнякам на протяжении многих десятилетий. Однако к разграничению понятий «горное давление», «проявления горного давления» и «нагрузка на крепь» пришли не сразу. Такое разграничение стало возможным лишь после отказа от традиционных теорий свода давления и консольной плиты и их замены более

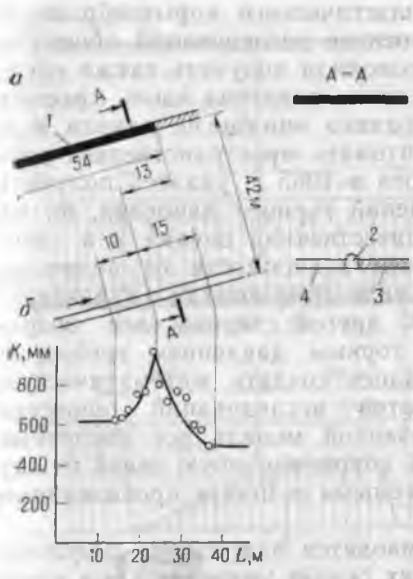


Рис. 1.1. Схема горных работ (*а*) и график прироста конвергенции K в наклонной выработке по мере подвигания забоя L в зоне влияния краевой части вышележащего пласта (*б*) при отработке по восстанию 2-й лавы с гидравлической закладкой выработанного пространства (по данным измерений, проведенных отделом рудничной крепи компании «Саарбергверке»):

1 — угольный массив по вышележащему пласту; *2* — наклонная выработка; *3, 4* — соответственно 1-я (отработанная) и 2-я (действующая) лавы по нижележащему пласту

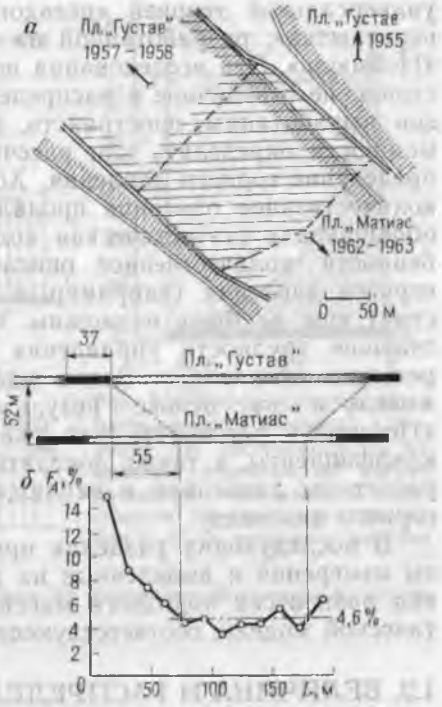


Рис. 1.2. Совмещенный план горных работ (*а*) и график изменения удельной площади вывалов F_A из кровли по длине L лавы по пласту «Матиас» мощностью 0,9 м (*б*) при подработке целика, оставленного по вышележащему пласту «Густав» мощностью 1,7 м (угол падения пластов 7°)

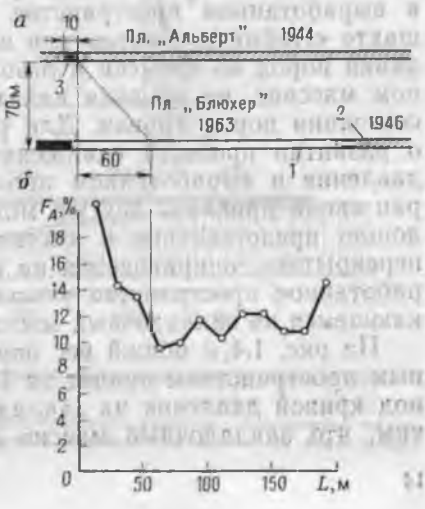


Рис. 1.3. Схема горных работ (*а*) и график изменения удельной площади вывалов F_A из кровли по длине L лавы по пласту «Блюхер» мощностью 1,4 м (*б*) при подработке целика, оставленного по вышележащему пласту «Альберт» мощностью 1,6 м (угол падения пластов 6°), и влиянии выработанного пространства соседней лавы:

1 — действующая лава; *2* — выработанное пространство соседней лавы; *3* — целик по пласту «Альберт»

универсальной теорией «псевдопластического корытообразного перекрытия», разработанной на основе исследований общества «Ноймюль». Эти исследования позволили получить также представление о величине и распределении давления вдоль краевых зон выработанных пространств, однако они еще не давали возможности определять или рассчитывать пространственное распределение горного давления. Хотя в 1965 г. удалось получить количественное описание проявлений горного давления, но их обобщающая статистическая количественная оценка и в особенности количественное описание зависимости от величины горного давления (например, в виде графических характеристик) еще не были возможны. С другой стороны, все возраставшие трудности управления горным давлением требовали решения этих задач. Затем удалось создать математическую модель и на основе результатов исследований общества «Ноймюль» рассчитать для указанной модели все численные коэффициенты, а также доказать корреляционную связь между расчетным давлением и наблюдаемыми в шахте проявлениями горного давления.

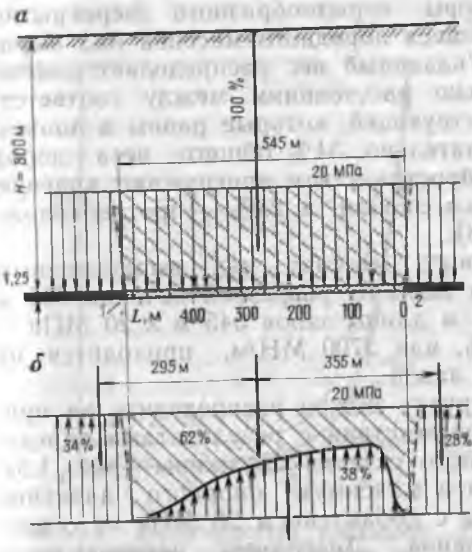
В последующих разделах приводятся важнейшие результаты измерений и выведенные на их основе универсальные условия равновесия породного массива, а также описание математической модели, соответствующей этим условиям.

1.2. ВЕЛИЧИНА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

1.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ [111]

Из теории свода давления можно получить некоторое представление о распределении горного давления в породном массиве, но не о развитии оседания пород во времени и росте давления в выработанном пространстве. Измерения, проведенные на шахте «Ноймюль», позволили получить данные о развитии оседания пород во времени и о возрастании давления в закладочном массиве, но не дали каких-либо сведений о напряженном состоянии пород кровли. Для разъяснения полученных данных о развитии процесса сдвижения пород во времени и о росте давления в выработанном пространстве пришлось вместо теории свода привлечь другую модель. Для этой цели вполне подошло представление о «псевдопластическом корытообразном перекрытии», опирающемся на краевые зоны окружающего выработанное пространство угольного массива и медленно опускающемся на закладочный массив.

На рис. 1.4, *а* общий вес породного массива над выработанным пространством принят за 100%. Измерив площадь фигуры под кривой давления на закладочный массив (рис. 4, *б*), получим, что закладочный массив воспринимает 38% веса столба



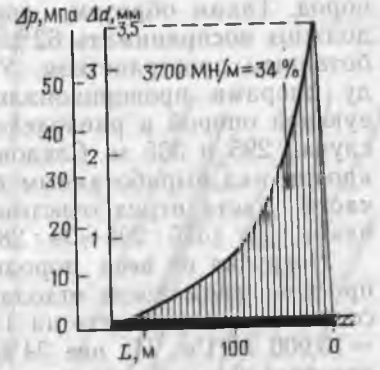


Рис. 1.5. Эпюра распределения опережающего опорного давления Δp, построенная по изменению диаметра Δd наблюдательной скважины, в зависимости от расстояния от забоя в глубь угольного массива

Рис. 1.4. График распределения давления по длине выработанного пространства:

1 — лава; *2* — разрезная печь

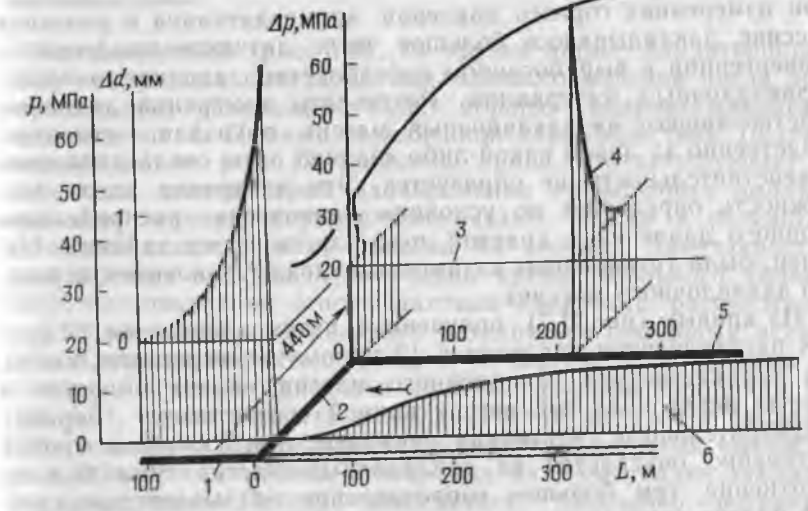


Рис. 1.6. Диаграмма распределения опорного давления вокруг выработанного пространства:

1 — промежуточный штрек; *2* — лава; *3* — геостатическое давление; *4* — опорное давление в краевой части пласта; *5* — вентиляционный штрек; *6* — давление на закладочный массив

пород. Таким образом, опоры корытообразного перекрытия должны воспринимать 62% веса породного массива над выработанным пространством. Указанный вес распределяется между опорами пропорционально расстояниям между соответствующей опорой и равнодействующей, которые равны в данном случае 295 и 355 м. Следовательно, 34% общего веса пород кровли над выработанным пространством пригружают краевую часть пласта перед очистным забоем, а 28% — противоположную опору (355 : 295 = 34 : 28).

Нагрузка от веса породного массива над выработанным пространством после отхода лавы от разрезной печи на 545 м составляет в пересчете на 1 м длины забоя 545 м × 20 МПа = = 10 900 МН/м. Из нее 34%, или 3700 МН/м, приходится на краевую часть пласта перед лавой.

Эту дополнительную нагрузку можно распределить на призабойную часть пласта в соответствии с результатами определения деформации поперечного сечения скважины (рис. 1.5). Таким образом получаем, что максимум опорного давления впереди лавы равен 60 МПа с добавлением 20 МПа от основного (геостатического) давления. Диаграмма распределения добавочного давления на опоры вокруг выработанного пространства, полученная при отработке третьего выемочного участка в выемочном поле, приведена на рис. 1.6.

1.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЗАКЛАДОЧНЫЙ МАССИВ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ [107]

При измерениях горного давления, кроме датчиков в угольном массиве, закладывалось большое число датчиков давления и конвергенции в выработанном пространстве, заполняемом пневмозакладочным материалом. Результаты измерения давления, действовавшего на закладочный массив, показали, что непосредственно за лавой какой-либо «задней пяты свода давления» в действительности не образуется. Эти измерения дали возможность определить по условиям равновесия распределение опорного давления в краевой зоне пласта перед забоем. Наконец, были установлены взаимосвязи между давлением и усадкой закладочного массива.

Из кривых (рис. 1.7), полученных путем усреднения 17 кривых распределения давления и 12 кривых конвергенции, видно, что характеристика закладочного массива имеет пологую и крутую ветви. Пологая ветвь кривой соответствует периоду предварительного уплотнения закладки, при котором кровля постепенно опускается на закладочный массив. Чем больше уплотнение, тем большее сопротивление оказывает закладочный массив опусканию кровли.

Если построить характеристику закладочного массива в полулогарифмической системе координат, т. е. нанести значения конвергенции на линейной шкале, а величины давления — на

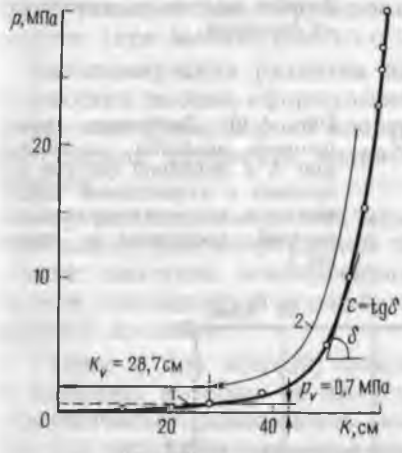


Рис. 1.7. Характеристика закладочного массива в линейной системе координат $p—K$ (давление — конвергенция) [расчетная формула $K = K_v + a \lg(p - p_v) = 28{,}7 + 13{,}1 \lg(p - 0{,}7)$, где K_v и p_v — соответственно конвергенция и давление при предварительном уплотнении закладочного массива]:

1 — расчетная кривая; *2* — идеальная логарифмическая кривая

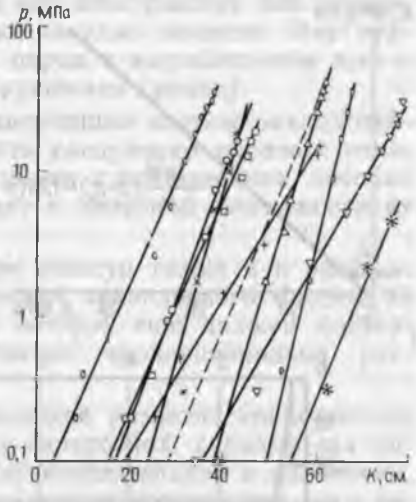


Рис. 1.8. Характеристика закладочного массива в полулогарифмической системе координат $p—K$

логарифмической (рис. 1.8), то крутая ветвь характеристики, соответствующая поведению закладочного массива после предварительного уплотнения, будет хорошо аппроксимироваться прямой линией. Помимо усредненной характеристики (штриховая линия) на рис. 1.8 нанесены линии, соответствующие результатам девяти серий одновременно проведенных наблюдений. Аналогичную картину показывают также и результаты испытаний закладочного массива на стенде. Характеристика закладочного массива (без стадии предварительного уплотнения), полученная на основе шахтных измерений, располагается в середине диапазона разброса результатов стендовых испытаний. Крутизну характеристики, т. е. тангенс угла наклона касательной к оси абсцисс δ в линейной системе координат (см. рис. 1.7), можно назвать «коэффициентом жесткости закладочного массива». Коэффициент жесткости C, который выражается в единицах давления, отнесенных на 1 см усадки закладочного массива (МПа/см), показывает, насколько возрастает сопротивление массива при его усадке на 1 см.

Однородные твердые тела также обладают коэффициентом жесткости — модулем упругости, равным образом, как и пружины, у которых коэффициент жесткости характеризует вели-

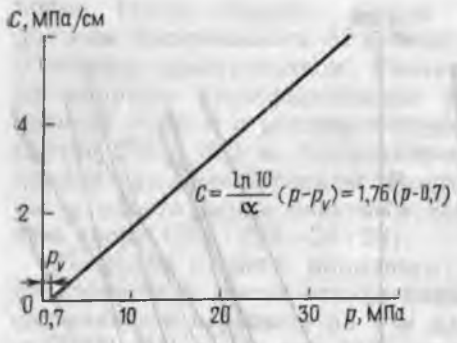
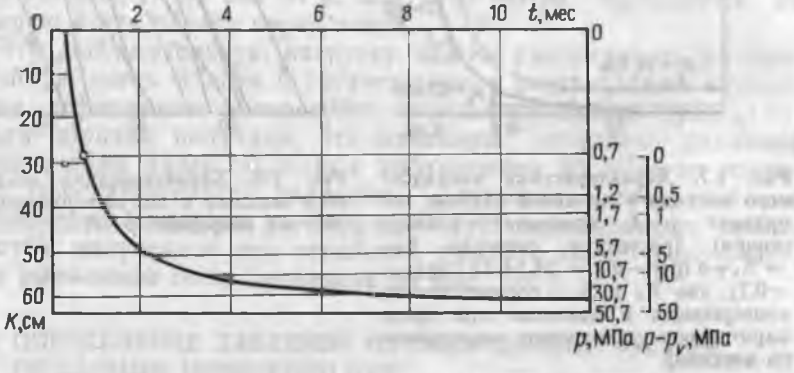


Рис. 1.9. График изменения коэффициента жесткости закладочного массива в зависимости от давления

Рис. 1.10. Диаграмма совмещенного развития конвергенции K в линейной системе координат с нарастанием давления p в полулогарифмической системе координат во времени t



чину дополнительной нагрузки, требуемой для сжатия пружины еще на 1 см. Если пружину с коэффициентом жесткости $C=10$ Н/см сжать на 1 см, то усилие пружины возрастет на 10 Н. При этом безразлично, была ли пружина предварительно нагружена усилием 20 или 30 Н. Усилие пружины будет постоянно возрастать на 10 Н при сжатии пружины на 1 см.

В отличие от пружины коэффициент жесткости закладочного массива не является постоянным. Из рис. 1.7 видно, что угол наклона касательной по мере увеличения давления становится все круче. Если построить зависимость между коэффициентом жесткости закладки и давлением на закладочный массив в линейной системе координат, то получим восходящую прямую (рис. 1.9). Сжатию закладки на 1 см при давлении 10 МПа соответствует прирост сопротивления на 1,6 МПа, при давлении 20 МПа — на 3,4 МПа, а при давлении 30 МПа — уже на 5,1 МПа. В то время как идеальная пружина обладает постоянной, не зависящей от нагрузки жесткостью, сопротивление закладочного массива непрерывно возрастает по мере увеличения нагрузки. Можно принять, что коэффициент жесткости закладки возрастает пропорционально увеличению давления на закладочный массив.

Приведенная выше логарифмическая зависимость справедлива не только для закладочного массива, возводимого пневма-

тическим способом, но и вообще для всех рыхлых или зернистых материалов и для некоторых твердых веществ. Она пригодна также и для обрушенных пород в выработанном пространстве (при выемке пласта с обрушением кровли).

Закономерность развития конвергенции полосы закладочного массива можно сформулировать следующим образом: отношение уже происшедшей конвергенции к конвергенции, которая еще должна произойти, возрастает в линейной зависимости от времени.

Эту же закономерность можно отнести также и к расстоянию между рассматриваемой полосой закладочного массива и забоем: величина конвергенции, которой еще должен подвергнуться закладочный массив, обратно пропорциональна расстоянию до забоя.

Также и для кривой, описывающей развитие конвергенции во времени, которая не является гиперболой, справедлива логарифмическая зависимость между конвергенцией и давлением. Так как логарифм давления после стадии предварительного уплотнения закладки пропорционален конвергенции, кривая развития давления в закладке во времени должна быть в полулогарифмической системе координат подобна кривой развития конвергенции во времени, построенной в линейной системе координат. Логарифмический масштаб можно выбрать таким образом, что обе эти кривые совпадут (рис. 1.10). Следовательно, если известна кривая изменения конвергенции, а величину предварительного уплотнения закладки и конечного давления можно узнать непосредственными измерениями или определить ориентировочно, то имеется возможность (см. рис. 1.10) нанести логарифмическую шкалу между этими точками. Такой способ графических расчетов обладает тем преимуществом, что распределение давления на закладочный массив от веса пород кровли может быть определено непосредственно по кривой зависимости конвергенции от времени.

1.2.3. СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ, СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИЗМЕРЕНИЙ [96]

Попытки получить представление о распределении давления на пласт и закладочный массив привели к созданию математической модели, позволяющей рассчитывать перераспределение горного давления.

Исследуемый участок породного массива представляют в виде пространственной прямоугольной решетки (метод конечных элементов), содержащей $50\times50\times30$ узловых точек. Горизонтальные и вертикальные расстояния между узловыми точками выбирают произвольно, например 10 м по горизонтали и 8 м по вертикали, и таким путем устанавливают размеры исследуемо-

участка породного массива (в данном случае 500×500×240 м). Чем меньше размеры такого участка, тем детальнее будут быть учтены особенности распределения горного давления.

В каких-то горизонтальных плоскостях предусматривается ведение очистных работ по пластам, соответствующим указанным плоскостям. Положение и форма выемочных участков могут быть самыми различными, лишь бы участки находились на контуре квадратных элементов решетки. В качестве исходных данных для каждого из 50×50 элементов во всех рассматриваемых плоскостях пластов должно быть указано, имеется ли там уголь или же он уже извлечен.

Из-за большого числа точек в подобного рода пространственной модели пришлось ограничиться рассмотрением простейших физических зависимостей и принять следующие упрощения:

на поверхность крупного блока породного массива, образованного пространственной решеткой с укрупненными делениями, действует неизменяющееся геостатическое давление. Оно остается неизменным также и после выемки пластов. Перераспределение давления происходит только внутри выделенного в пределах блока небольшого участка породного массива (в действительности это может быть справедливым только при небольшой площади очистной выемки);

прирост геостатического давления с увеличением глубины разработки в большинстве случаев не принимается во внимание, т. е. давление в нетронутом массиве считается постоянным по всей глубине рассматриваемого участка (например, 20 МПа). Ошибка, вызываемая подобным допущением, не играет значительной роли в том случае, если толщина исследуемого блока породного массива невелика по сравнению с глубиной. При большом расстоянии между пластами давление, рассчитанное для нижнего пласта, получается сравнительно небольшим, но для получения представления о характере его распределения в пределах пласта это не играет существенной роли. Подобного рода расчеты дают правильный ответ на большинство вопросов. В особых случаях может быть составлена специальная программа, учитывающая повышение давления с глубиной;

боковые поверхности, ограничивающие моделируемый блок породного массива, а также все вертикальные плоскости в пределах этого блока не подвергаются деформациям. Это означает, что исключается возможность любых горизонтальных смещений и поперечных деформаций. Такое допущение весьма существенно упрощает расчеты, но связано с определенными погрешностями в результатах расчетов давления у краевых частей пластов;

моделирование взаимовлияния очистных забоев возможно не более чем по шести пластам и только для случая их гори-

зонтального залегания. Поскольку смещения пород и давления уравновешиваются в первую очередь по нормали к напластованию, результаты расчетов могут быть перенесены также и на условия наклонных пластов, тем более что первоначальные напряжения в нетронутом массиве примерно одинаковы во всех направлениях;

расстояния между пластами выбираются в модели путем изменения вертикального расстояния между узловыми точками пространственной решетки. Изменением горизонтальных расстояний между точками устанавливаются масштаб модели и одновременно размеры моделируемого выемочного участка. Поскольку ЭВМ выдает средние значения давления для соответствующего элемента пространственной решетки, результаты расчета в местах высоких градиентов давления, например вблизи краевых частей пластов, зависят от масштаба модели параллельно и по нормали к напластованию. Однако результаты могут быть пересчитаны на единый масштаб;

в основу расчетов положена линейная упругость. Это означает, что вертикальные деформации сжатия и растяжения пропорциональны давлению, а угловые деформации — напряжениям сдвига в вертикальных плоскостях. Таким образом, в модели невозможно учесть процессы разрушения, пластические деформации и наличие естественных трещин разрыва. Приближение к действительному поведению породного массива может быть обеспечено лишь путем подбора соответствующих значений модуля упругости E и коэффициента Пуассона ν.

Распределение горного давления в случае, рассмотренном в разд. 1.2.1, было просчитано для нескольких положений очистного забоя, причем в расчеты вводились различные значения модуля упругости и коэффициента Пуассона. Хорошее приближение к определенному в шахтных условиях распределению давления на пласт и закладочный массив было получено при $E=8\cdot10^3$ МПа и $\nu=0{,}2$. Эти параметры были первоначально сохранены для всех последующих расчетов, т. е. были приняты в качестве эталонных.

В дальнейшем математическая модель подверглась дальнейшему совершенствованию в следующих направлениях;

введения различных способов управления кровлей с нелинейными характеристиками усадки материала, заполняющего выработанное пространство;

принятия неодинаковых модулей упругости для различных породных слоев;

программирования так называемой «динамической выемки» (при незначительных изменениях положения очистного забоя заново вычисляются только последние шаги итерации);

получения в качестве результатов расчетов изображения в трехмерном пространстве;

получение изображений в виде диаграмм изобар.

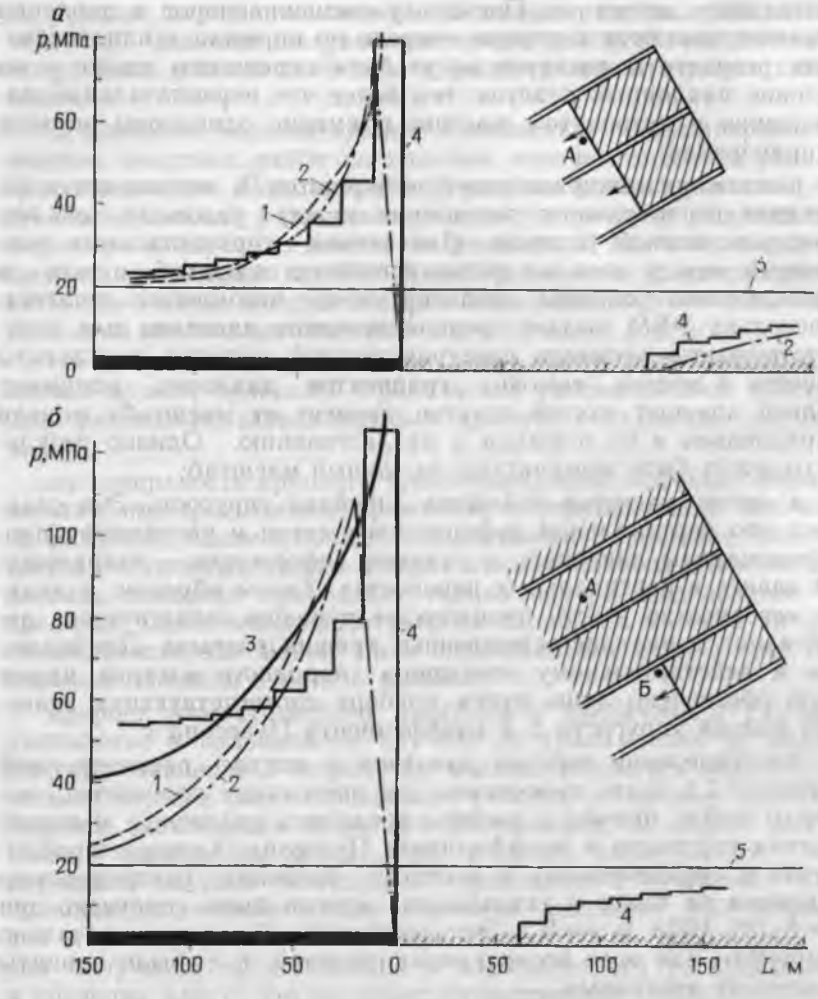


Рис. 1.11. Графики изменения измеренного и расчетного давления до (*а*) и после (*б*) прохода лавы в зависимости от расстояния до нее *L*:

1 — определенное по деформации скважин давление; *2* — определенное расчетами в 1960 г.; *3* — давление, скорректированное с учетом влияния краевых частей угольного массива; *4* — расчетное давление при $E=3\cdot10^3$ МПа, $\nu=0{,}2$, $\Delta x=\Delta z=15$ м; *5* — геостатическое давление; *А, Б* — положение измерительных скважин

Таким образом, модель была превращена в универсальное средство, позволяющее исследовать распределение горного давления в крупных блоках породного массива. Проверка результатов расчетов непосредственными измерениями горного давления весьма затруднительна, но хорошую их корреляцию с наблюдаемыми в шахте проявлениями горного давления (рис. 1.11) можно рассматривать как надежное подтверждение достоверности расчетов. Некоторые отклонения от наблюдаю-

щихся в действительности взаимосвязей между рассчитанным давлением и конвергенцией (например, при подработке узкого целика, идущего параллельно линии лавы, при небольшой мощности междупластья) дают основание проводить дальнейшие исследования, направленные на изучение причин подобных отклонений: определение их количественной оценки и приспособления расчетных параметров к таким особым условиям.

Доказанные к настоящему времени существенные преимущества математической модели по сравнению с другими методами расчета (например, независимость от неприемлемого для породного массива принципа суперпозиции и поэтому возможность рассчитывать распределение горного давления при взаимодействии сложных по конфигурации выработанных пространств и очистных забоев на шести пластах) подтверждаются широким практическим применением рассматриваемого метода для решения различных задач при проектировании горных работ.

1.2.4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЭПЮРЫ ДЛЯ СЛУЧАЕВ ОТРАБОТКИ ОДНОГО И ЧЕТЫРЕХ ПЛАСТОВ [66]

В одном из исследований, проведенном для условий шахты «Вестфален», горизонтальное расстояние между узловыми точками было принято равным 25 м, так что модель из 50×50 точек охватывала выемочное поле площадью 1350×1250 м. В этом поле на шахте предусматривалось отработать пять или шесть выемочных участков. Таким образом, расчетные значения давления должны были быть средними для участков размером 25×25 м.

В результате расчетов для каждого из четырех пластов (а при необходимости и для промежуточных плоскостей) определяли средние для каждого из 2500 элементов величины давления.

Для нормального случая, когда очистные работы ведутся только на одном пласте, пространственная эпюра распределения давления имеет вид, представленный на рис. 1.12.

На модели было просчитано ожидаемое распределение горного давления для десяти положений очистных забоев в соответствии с календарным планом развития очистных работ на 1973—1980 гг. На рис. 1.13, *а* в качестве примера показано положение очистных забоев на каждом из четырех пластов, запланированное на 1 января 1976 г., а на рис. 1.13, *б* — пространственные эпюры распределения давления (только на двух пластах — верхнем и нижнем). На эпюрах отчетливо видны зоны пониженного давления над выработанными пространствами, зоны опорного давления вдоль краевых частей пластов и пики-максимумы давления над выступающими углами угольных массивов по пластам. Кроме того, на них отчетливо прослежива-

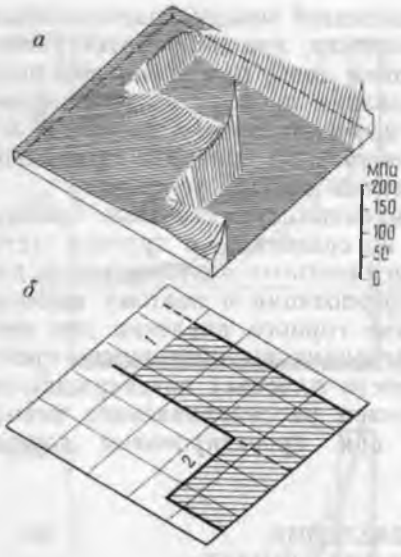
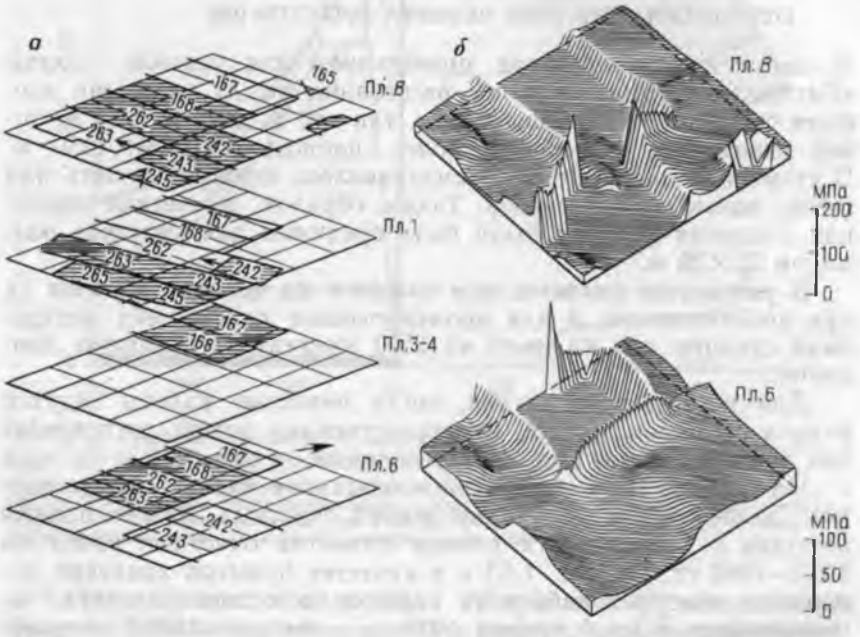


Рис. 1.12. Пространственная эпюра распределения горного давления (*а*) и схема отработки (*б*):
1, 2 — соответственно 1-я и 2-я лавы

Рис. 1.13. Схема отработки выемочных участков (*а*) и пространственные эпюры расчетного горного давления (*б*) для состояния очистных работ на 1.01.1976 г. на шахте «Вестфален»



ется взаимное влияние очистных работ, ведущихся одновременно на четырех пластах. Так, влияние зоны пониженного давления над выработанным пространством по пласту В все еще сказывается над угольным массивом по пласту 6; угольный целик, оставленный в левом углу поля по пласту 1, обусловливает повышение давления как на пласте *В*, так и на пласте 6;

кромка выработанного пространства вдоль еще не отработанного выемочного участка 262 по пласту 1 вызывает некоторое повышение давления в выработанном пространстве по пласту В.

Таким образом, результаты расчетов, выполненных для рассмотренного и других положений очистных забоев, позволяют наглядно представить расположение зон повышенного давления на участках пластов, предусматриваемых к дальнейшей отработке. При этом для удароопасного пласта 6 можно определить зоны наиболее высокого давления и путем изменения последовательности отработки выемочных участков избежать в некоторых случаях образования зон особо высокого давления. Рассчитанные величины опорного давления в краевых частях угольного массива позволяют прогнозировать состояние находящихся в этих зонах выемочных штреков.

1.3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ

1.3.1. РАСЧЕТНОЕ ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И ИЗМЕРЕННЫЕ ПЛОЩАДИ ВЫВАЛОВ КРОВЛИ В ПРИЗАБОЙНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЛАВЫ [56]

Регрессионным анализом установлена тесная связь между расчетным горным давлением и площадью вывалов пород кровли в призабойном пространстве лав (рис. 1.14 и 1.15).

Не во всех лавах такая связь может быть достаточно выраженной, поскольку вывалы высотой до 30 см обычно не зависят от величины горного давления и сопротивления крепи и могут быть обусловлены преимущественно технологическими причинами (расстоянием между концами верхняков и забоем или запаздыванием крепления). Наличие подобной связи удается установить лишь в тех случаях, когда вывалы происходят очень часто, очень редко или нерегулярно. Но все же в зонах повышенного давления вывалы всегда происходят более часто, чем в зонах пониженного. Это особенно проявляется при разности между расчетными величинами давления более 30%.

В табл. 1.1 приведены данные о числе вывалов высотой более 30 см на 50-метровых участках в 12 лавах, которые располагались под границей угольный массив — выработанное пространство по вышележащему пласту, проходившей параллельно выемочным штрекам. Четко выраженное влияние подрабатываемой краевой части угольного массива по вышележащему пласту можно установить лишь в тех случаях, когда расстояние между пластами по нормали к напластованию не превышало 60 м. В таких случаях частота вывалов высотой больше 30 см на участке лавы, находившемся под неотработанным пластом, была значительно выше, чем под выработанным пространством. При расстоянии между пластами больше 60 м

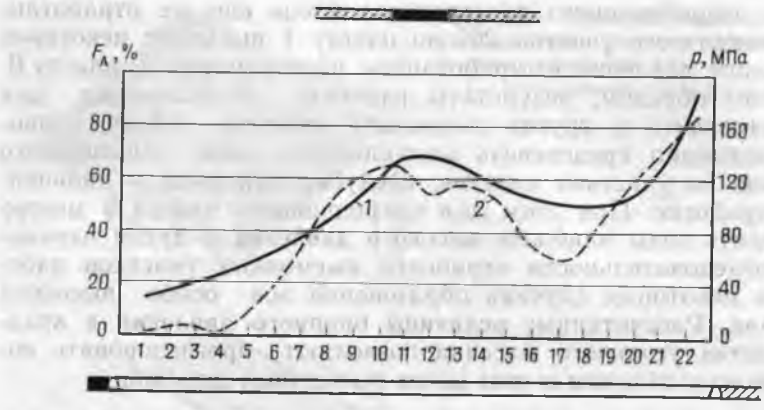


Рис. 1.14. График изменения расчетного горного давления p (*1*) и удельной площади вывалов кровли высотой более 30 см F_A (*2*) по длине лавы в условиях воздействия оставленного на вышерасположенном пласте «Цольферейн-1» целика (мощность междупластья 50 м). Общий подъем обеих кривых обусловлен влиянием расположенного справа от действующей лавы выработанного пространства; 1—22 — номера точек измерения площади вывалов в лаве

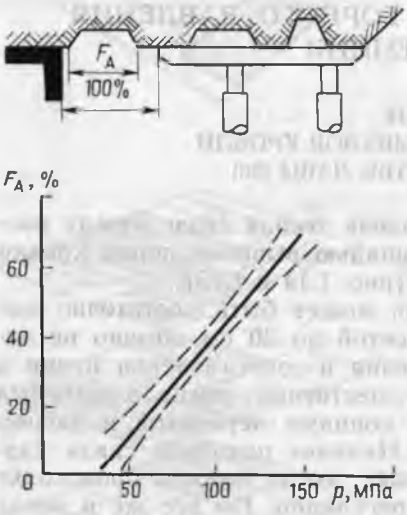


Рис. 1.15. График взаимосвязи между удельной площадью вывалов кровли F_A и расчетным горным давлением p в лаве по пласту «Цольферейн-6»

влияния краевой части угольного массива по вышележащему пласту не ощущалось.

Напрашивалась мысль найти взаимосвязь между частотой вывалов и величиной горного давления. В табл. 1.2 сопоставлены относительные величины действующего на 50-метровых участках лав среднего давления, которые расположены с обеих сторон проекции контура краевой части вышележащего пласта, проходящего параллельно выемочным штрекам.

При мощности междупластья 80 м давление под краевой частью лишь на 20% выше нормального, что, как показывают исследования, не приводит к увеличению частоты вывалов. Прирост давления под краевой частью вышерасположенного пласта должен, по-видимому, превышать 30%, чтобы влияние подрабатываемого массива проявлялось в увеличении частоты

Таблица 1.1

Пласт	Расстояние между пластами по нормали, м	Число вывалов в лаве на участках, расположенных под	
		угольным массивом	выработанным пространством
D	15	11	3
«Эрнестина»	17	8	0
«Вильгельм»	30	13	7
I	44	9	0
«Реттгерсбанк»	45	16	1
«Эрнестина»	60	9	6
«Цольферейн-2/3»	60	21	13
«Анна»	65	1	1
«Матиас-2»	85	9	9
«Диккебанк»	120	0	0
«Хуго-1»	180	13	15
«Густав»	200	0	1

вывалов. Это положение нуждается в подкреплении результатами дальнейших исследований.

Приведенные в табл. 1.2 данные справедливы только для тех случаев, когда краевая часть вышележащего пласта параллельна выемочным штрекам действующей лавы.

Склонность к вывалам является наиболее информативным показателем состояния кровли. В шести из семи обследованных лав этот показатель был заметно выше на участках, находившихся под краевой частью неотработанного пласта, чем под выработанным пространством.

Для характеристики состояния кровли может быть использован также показатель частоты и высоты ступенчатого оседания кровли, отнесенный к 100 м² площади обследуемой кровли. Однако следует отметить, что ни в одной из лав частота ступенчатого опускания кровли на участках, находившихся под

Таблица 1.2

Расстояние между пластами по нормали, м	Относительное давление на (%) участках лавы, расположенных под	
	угольным массивом	выработанным пространством
20	165	80
40	150	90
60	130	90
80	120	90

Примечание. За 100% принято давление в лаве, не испытывающей влияния краевой части угольного массива по вышележащему пласту.

краевой частью неотработанного пласта, не была выше, чем под выработанным пространством.

Особое значение для управления кровлей в лавах имеет отжим угля с осыпанием верхней части угольного забоя. Только в одной из лав отжим угля с образованием наклонного забоя оказался более сильно выраженным под краевой частью неотработанного пласта, чем под выработанным пространством. В остальных обследованных лавах влияния краевой части угольного массива по вышерасположенному пласту на отжим угля с неблагоприятными последствиями не было отмечено.

Таким образом, можно утверждать, что влияние краевой части угольного массива по вышележащему пласту ограничивается преимущественно увеличением частоты вывалов из кровли и повышением показателя склонности кровли к вывалам.

1.3.2. РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И КОНВЕРГЕНЦИЯ В ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКАХ [46, 73]

Фактическая конвергенция в выемочных штреках и прирост расчетного давления на разных расстояниях от лавы могут быть охарактеризованы одной кривой (рис. 1.16). Пример такой кривой, представляющей собой характеристику состояния выемочного штрека, приведен на рис. 1.17. На ней можно выделить прямолинейный участок, соответствующий поведению штрека до подхода лавы, участок повышенной конвергенции в зоне сопряжения лавы со штреком и несколько более пологий прямолинейный участок, отражающий конвергенцию в выемочном штреке после прохода лавы. Крутизна подъема кривой характеризует интенсивность конвергенции.

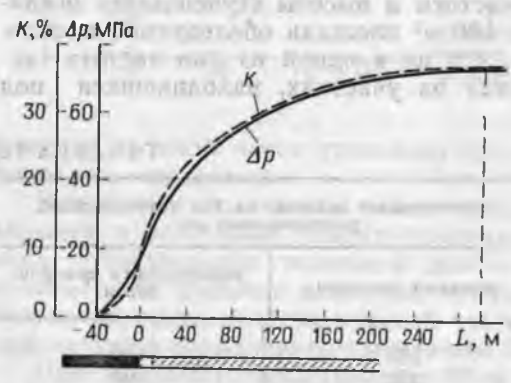


Рис. 1.16. График изменения конвергенции (штриховая линия) и прироста расчетного давления (сплошная линия) в зависимости от расстояния до лавы L (по результатам наблюдений в 17 штреках)

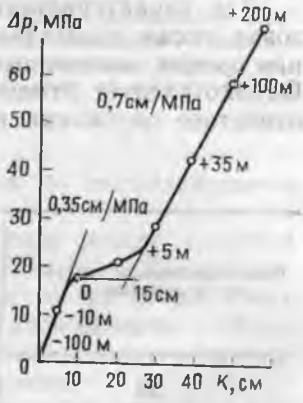


Рис. 1.17. Усредненная характеристика состояния штрека по результатам измерений в 17 выработках (цифры у кривой — расстояние до лавы)

Линейная зависимость между расчетным давлением и измеренной конвергенцией свидетельствует о возможности практического использования математической модели, а также о наличии пропорциональной зависимости между давлением и деформациями породного массива (рис. 1.18).

На практике конвергенцию в подготовительных выработках определяют в порядке так называемых «производственных наблюдений».

На основании изложенного можно сделать следующие основные выводы:

по результатам расчетов горного давления и производственных наблюдений за состоянием подготовительных выработок имеется возможность построить графическую характеристику состояния выемочного штрека;

форма кривой характеристики состояния штрека позволяет судить об ослаблении или упрочнении породного массива, в частности, на участке штрека, непосредственно примыкающем к лаве, а также о пластических деформациях породного массива, которые происходят реже, чем это считалось до сих пор;

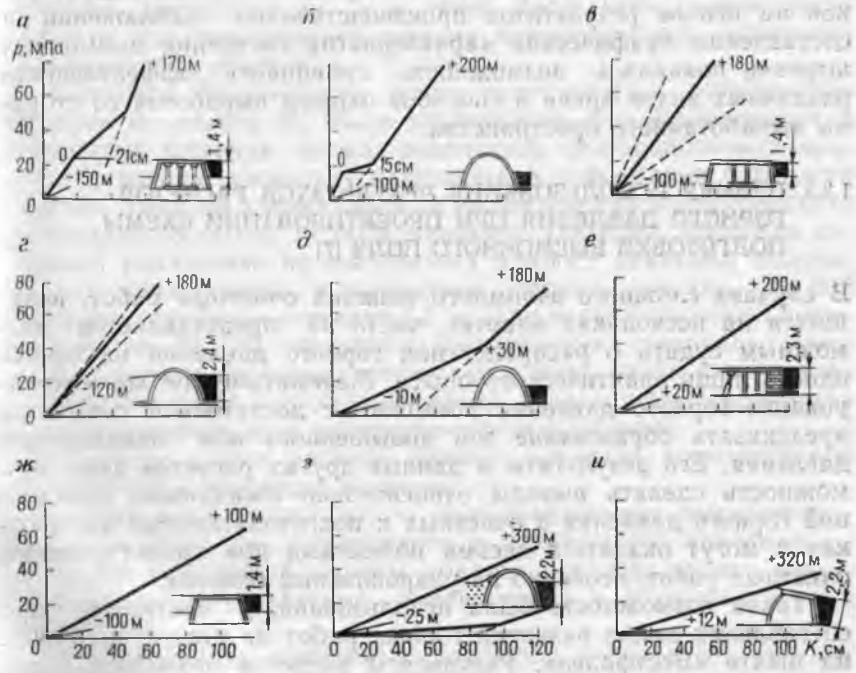


Рис. 1.18. Характеристики состояния штреков по пластам:
а — «Альберт-1—2», интенсивность конвергенции 0,4 см/МПа; *б* — «Франкрайх», 0,7 см/МПа; *в* — «Альберт-1—2», 0,75 см/МПа; *г* — «Диккебанк», 0,85 см/МПа; *д* — «Цольферейн-7—8», 1,1 см/МПа; *е* — «Герман-Густав», 1,45 см/МПа; *ж* — «Альберт-1—2», 1,75 см/МПа; *з* — E — F, 2,4 см/МПа; *и* — D, 3,3 см/МПа

в породах, не обладающих пластическими свойствами, конвергенция в штреке возрастает практически прямо пропорционально росту давления. Этому утверждению не противоречит тот факт, что конвергенция в подготовительных выработках может происходить и без нарастания горного давления;

чем лучше связь между крепью штрека и породным массивом, тем круче характеристика состояния выработки;

интенсивность конвергенции, которая уменьшается с увеличением крутизны кривой, характеризующей состояние выработки, является количественным критерием поведения штрека с точки зрения механики горных пород. Она дает возможность сравнивать выемочные штреки при различном строении вмещающего породного массива и разной технологии проведения выработок и очистной выемки угля, а также предсказывать ожидаемую конвергенцию;

расчеты горного давления дают правильное представление о его фактическом распределении. В противном случае было бы невозможно объяснить прямолинейность характеристик состояния выемочных штреков.

Только благодаря знанию характера распределения горного давления на основе его расчетов и поведения выемочных штреков на основе результатов производственных наблюдений и составлению графических характеристик состояния выемочных штреков появилась возможность сравнивать эффективность различных видов крепи и способов охраны выработок со стороны выработанного пространства.

1.3.3. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ВЫЕМОЧНОГО ПОЛЯ [7]

В случаях сложного взаимного влияния очистных работ, ведущихся на нескольких пластах, часто не представляется возможным судить о распределении горного давления на основе одного лишь практического опыта. Математическое же моделирование горного давления позволяет с достаточной точностью предсказать образование зон повышенного или пониженного давления. Его результаты и данные других расчетов дают возможность сделать выводы относительно ожидаемых проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках и могут оказаться весьма полезными при проектировании очистных работ, особенно на удароопасных пластах.

Такая возможность была использована, в частности, при составлении плана развития горных работ на период до 1980 г. на шахте «Вестфален». Результаты расчетов позволили получить достаточно хорошее представление о расположении и размерах зон повышенного горного давления на соответствующих участках шахтного поля. Для пласта «Зонненшайн», который относился к угрожаемым по горным ударам, были выявлены

особо нагруженные участки. Изменением последовательности отработки выемочных полей и участков в некоторых случаях удалось избежать образования зон повышенного горного давления.

Кроме того, по вычисленным значениям горного давления в краевых зонах угольных пластов оказалось возможным предсказать поведение располагавшихся там выемочных штреков.

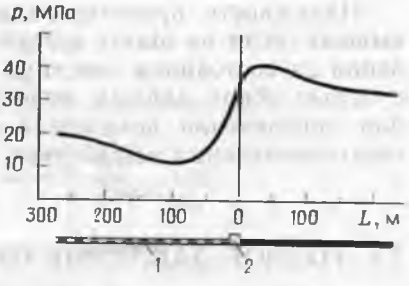


Рис. 1.19. График распределения давления на участке расположения выработки № 167—168:
1 — проектируемый к отработке участок; *2* — выработка № 167—168

Следует особо отметить расположение наклонной пластовой выработки № 167—168. По первоначальному проекту ее намечалось провести в зоне, в которой ожидалось сильное опорное давление от краевой части угольного масива по вышележащему пласту 3/4. Об этом можно судить по приведенной на рис. 1.19 кривой распределения давления. Было предложено заложить выработку на 75 м левее, после чего можно было ожидать, что повышенному горному давлению будет подвержен только один ее участок.

Вызывала беспокойство также недостаточная устойчивость штреков по пласту В. Было установлено, что конвергенция в выемочных штреках должна возрастать пропорционально приросту давления, поскольку пластические деформации породного массива здесь не происходили, а интенсивность конвергенции — составлять 15 см на 10 МПа прироста давления. Умножив последний показатель на ожидаемый прирост давления, получили, что конвергенция в выемочном штреке участка № 262 после его отработки составит 1,2 м. Для вентиляционного штрека участка № 168 расчетная конвергенция составила даже 1,7 м. Поэтому следовало готовиться к тому, чтобы своевременно принять меры к усилению крепи в указанных выработках для поддержания их в работоспособном состоянии.

В общем случае расчеты горного давления целесообразны для решения следующих вопросов:

выбора мест расположения подготовительных выработок;

определения зон повышенного и пониженного давления;

оценки ожидаемой частоты вывалов пород из кровки лав;

определения ожидаемой конвергенции в подготовительных выработках;

проектирования требуемых площадей поперечного сечения выработок, а также объемов работ по подрывке почвы и перекреплению выработок;

выбора крепей для очистных и подготовительных выработок.

Надежность проектирования может быть существенно повышена, если на шахте организованы производственные наблюдения за состоянием очистных и подготовительных выработок с целью сбора данных, используемых при проектировании и для определения показателя интенсивности конвергенции в подготовительных выработках.

1.4. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ОЧИСТНЫХ РАБОТАХ

1.4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА ПРИ ОТХОДЕ ЛАВЫ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧИ

Геостатическое давление (МПа) можно приближенно определять по формуле $p_0 = H/40$, где H — глубина горных работ, м. Например, при $H = 800$ м $p_0 = 20$ МПа.

Геостатическое давление растет пропорционально глубине разработки. Для зон повышенного давления в краевых частях пластов и у целиков это положение справедливо лишь в ограниченной мере.

При отработке одиночного пласта распределение горного давления характеризуется графиками (рис. 1,20 и 1.21), составленными для случая $H = 800$ м и вынимаемой мощности пласта $M = 1{,}5$ м.

По бокам разрезной печи давление примерно соответствует 1,3 p_0 (при $H = 800$ м около 26 МПа). По мере отхода лавы от разрезной печи давление в призабойной части пласта возрастает (см. рис. 1.20). В такой же мере увеличивается давление и на оставшуюся стенку разрезной печи (даже если она погашена).

Давление на призабойную часть пласта растет до тех пор, пока лава не отойдет от разрезной печи на расстояние, равное длине лавы (на рис. 1.20—200 м), после чего оно стабилизируется.

Характер распределения опережающего опорного давления по длине лавы, отошедшей от разрезной печи более чем на 200 м, на глубине 800 м виден из графика (см. рис. 1.21). Кривая *1* относится к лаве первого выемочного участка в данном выемочном поле, когда с обеих сторон очистного забоя располагается массив угля. В этом случае давление на концевом участке *A* меньше, чем в середине лавы. Кривая *2* относится ко второй лаве, в которой на концевом участке *B* на выступающем угле угольного массива образуется пик весьма высокого давления. Повышенное давление по всей длине лавы проявляется в усиленной склонности кровли к вывалам пород. Если с обеих сторон отрабатываемого выемочного участка располагается выработанное пространство (кривая *3*), то пики давления наблюдаются на обоих концевых участках лавы.

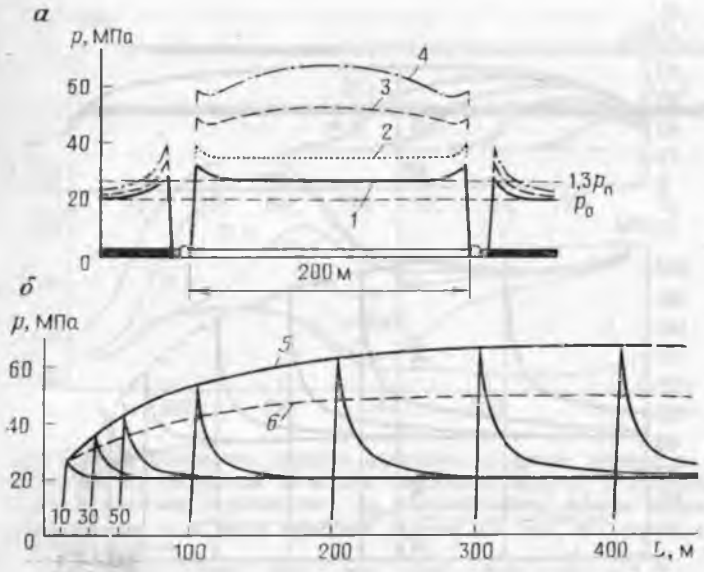


Рис. 1.20. График распределения давления по длине лавы (*а*) и впереди очистного забоя (*б*):

1—4 — на расстоянии от разрезной печи *L*, равном соответственно 10, 30, 100 и 400 м; *5—6* — при длине лавы соответственно 200 и 100 м

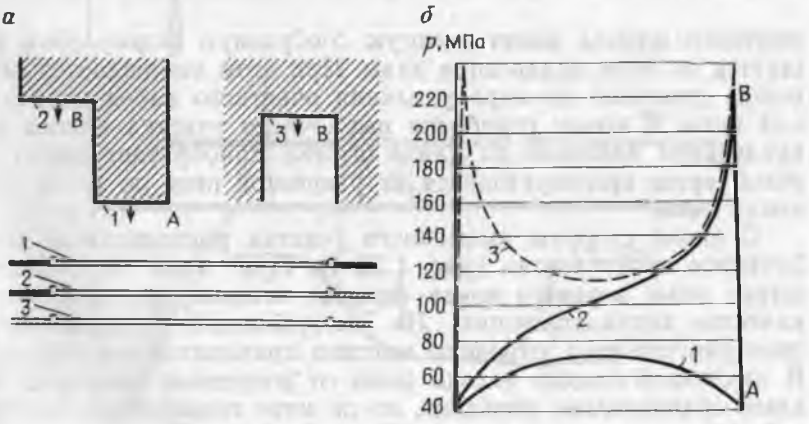


Рис. 1.21. Схема отработки (*а*) и график распределения давления (*б*) по длине лав *1—3*

1.4.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

Расчеты горного давления, выполненные для различных положений очистного забоя, дали следующие результаты.

Выемочный участок находится в нетронутом массиве угля (рис. 1.22, *а*). Кривая распределения давления по длине вы-

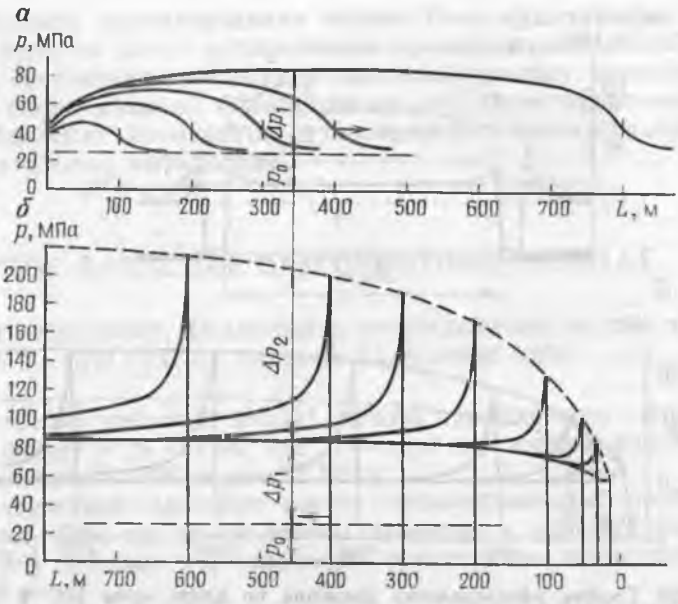


Рис. 1.22. График изменения горного давления по длине выемочного штрека в зависимости от расстояния до разрезной печи при первичном (*а*) и повторном (*б*) использовании выработки

емочного штрека имеет пологую *S*-образную форму. Она смещается по мере подвигания лавы. При этом наблюдается повышение давления по мере удаления очистного забоя от разрезной печи. К концу отработки выемочного участка кривая распределения давления по длине штрека приобретает форму пологой арки, простирающейся от разрезной печи до места остановки лавы.

С одной стороны выемочного участка располагается выработанное пространство (рис. 1.22, *б*). При этом конвейерный штрек лавы верхнего яруса (этажа) используется повторно в качестве вентиляционного. На выступающий в выработанное пространство угол угольного массива приходится пик давления. В начальной стадии отхода лавы от разрезной печи давление здесь сравнительно невелико, но по мере подвигания очистного забоя оно возрастает примерно в два раза. Давление на участок штрека перед забоем очень велико; за лавой оно снижается до нуля.

1.4.3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДЛИНЕ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА ПРИ ПОДРАБОТКЕ ЛАВОЙ ЦЕЛИКА ПО ВЫШЕЛЕЖАЩЕМУ ПЛАСТУ

Лава по пласту 2 отрабатывает первый в данном выемочном поле участок (рис. 1.23). Вследствие влияния краевой части угольного массива по расположенному выше пласту 1 давление

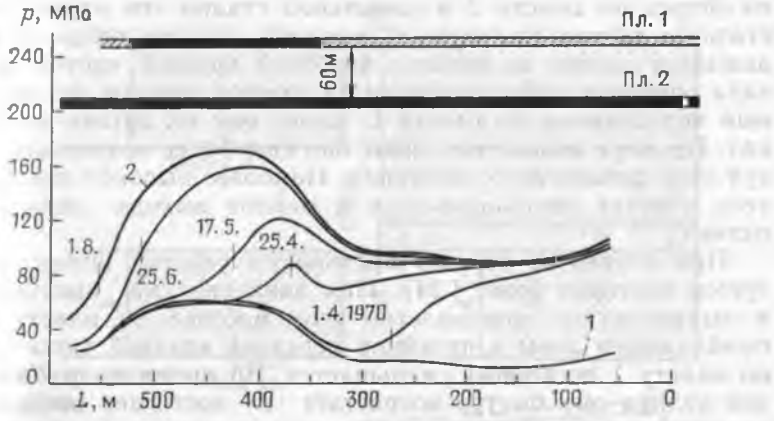


Рис. 1.23. График изменения горного давления по длине штрека на различном расстоянии от разрезной печи при отработке первого в выемочном поле участка и наличии оставленного на вышележащем пласте целика угля:
1, 2 — соответственно до и после отработки участка; 1.4, 25.4, 17.5, 25.6 и 1.8 — дата (число и месяц) замеров

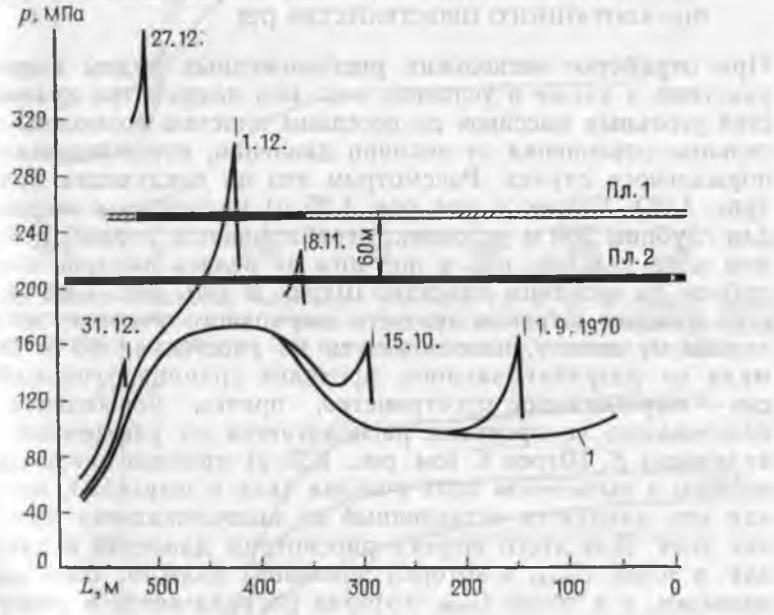


Рис. 1.24. График изменения горного давления по длине повторно используемого штрека на различном расстоянии от разрезной печи при отработке второго в выемочном поле участка и наличии оставленного на вышележащем пласте целика угля

1 — до начала отработки участка; 1.9, 15.10, 18.11, 1.12, 27.12 и 31.12 — дата (число и месяц) замеров горного давления у выступающего в выработанное пространство угла угольного массива по пласту 2

на штрек по пласту 2 в начальной стадии его отработки достаточно высоко (в противоположность случаю, когда на вышележащем пласте не имеется подобной краевой части). До начала очистных работ давление на участок штрека, расположенный под целиком по пласту 1, выше, чем на других его участках. По мере подвигания лавы оно еще более возрастает, образуя зону повышенного давления. Наиболее высокое давление на этом участке устанавливается в момент выхода лавы из-под целика.

При отработке второго выемочного участка штрек используется повторно (рис. 1.24). Пик давления на выступающий в выработанное пространство угол массива по пласту 2 при приближении лавы к проекции передней краевой части целика по пласту 1 несколько уменьшается. Во время подработки лавой целика оно быстро возрастает и достигает наибольшего значения в момент выхода забоя из-под целика. После входа в зону пониженного давления за целиком наблюдается быстрое уменьшение пика давления.

1.4.4. ВЫЕМОЧНЫЙ ШТРЕК В ЗОНЕ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДРАБОТКЕ ЛАВОЙ ГРАНИЦ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА [72]

При отработке нескольких расположенных рядом выемочных участков, а также в условиях под- или надработки краевых частей угольных массивов по соседним пластам возможны значительные отклонения от величин давления, установленных для нормального случая. Рассмотрим это на следующих примерах (рис. 1.25). Штрек *А* (см. рис. 1,25, *а*) находится в нормальных для глубины 960 м условиях: отрабатывается первый в выемочном поле участок: над и под ним не велись никакие очистные работы по соседним пластам. Штрек *В* (см. рис. 1.25, *б*) является нижним штреком третьего выемочного участка; по вышележащему пласту, находящемуся на расстоянии 80 м по нормали от разрабатываемого, проходит граница угольный массив — выработанное пространство, причем нормальная к напластованию ее проекция располагается на расстоянии 250 м от штрека *В*. Штрек *С* (см. рис. 1,25, *в*) пройден опять-таки для первого в выемочном поле участка (как и штрек *А*), но в 30 м над ним находится оставленный по вышележащему пласту целик угля. Для этого штрека рассмотрим давление в двух точках: в точке C_{max}, в которой давление должно быть максимальным, и в точке C_{min}, которая располагается в разгруженной от горного давления зоне и в которой давление намного ниже, чем во взятом для сравнения штреке *А*. Давление в точке C_{min} под целиком как до, так и после прохода лавы значительно превышает давление на «нормальный» штрек *А*. После прохода лавы испытываемое штреком *В* давление так же высоко, как и в штреке *С* в точке, находящейся под подрабаты-

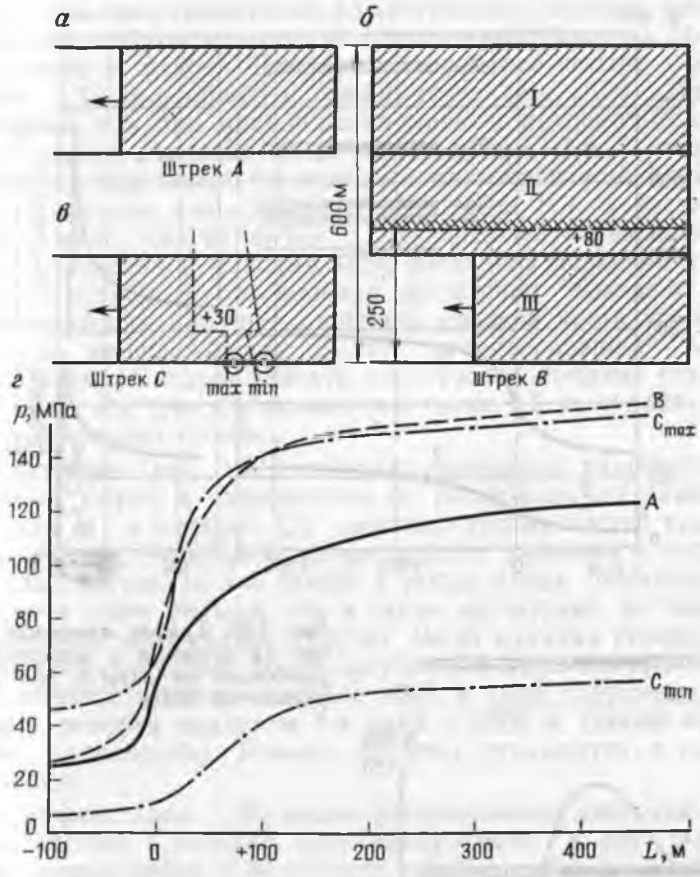


Рис. 1.25. Схемы отработки выемочных участков (*а*, *б*, *в*) и график изменения горного давления *p* на штреки в зависимости от расстояния до лавы *l*. (*г*) при глубине разработки 960 м и геостатическом давлении 24 МПа

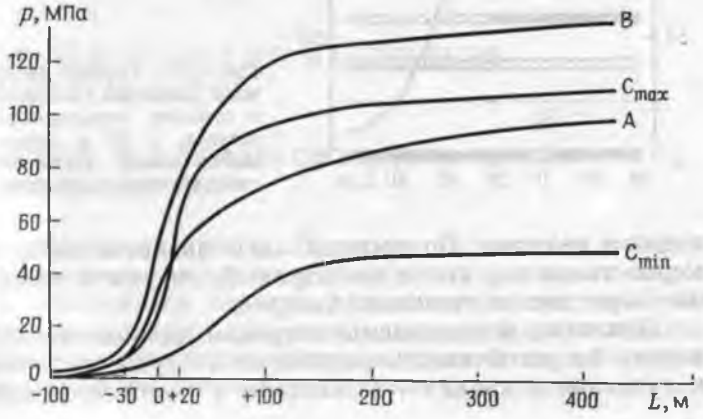


Рис. 1.26. Совмещенный график изменения давления *p* на штреки в зависимости от расстояния до лавы *l* (см. рис. 1.25)

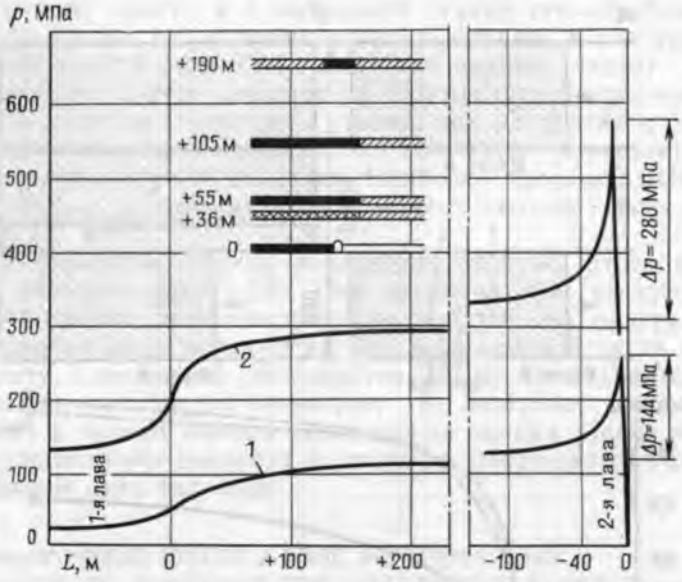


Рис. 1.27. График изменения давления на штрек p в зависимости от расстояния до лавы L при глубине разработки 960 м

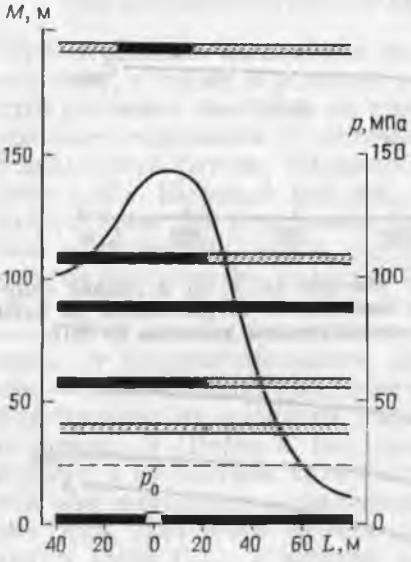


Рис. 1.28. График распределения горного давления в породном массиве в сечении, перпендикулярном к оси штрека, в 50 м перед приближающейся лавой (штриховая линия — геостатическое давление p_0)

ваемым целиком. До прохода лавы давление на штрек B примерно такое же, как и на штрек A, но уже с подходом забоя оно нарастает значительно быстрее.

Давление, испытываемое штреком до подхода забоя, может влиять на устойчивость выработки в случае склонности почвы к пучению, а кровли — к вывалам у места сопряжения лавы со

штреком. Мы же ограничимся рассмотрением влияния повышения давления, обусловленного очистными работами, на прирост конвергенции в штреке. Для этого сведем все четыре кривые (см. рис. 1.25, *г*) к общей исходной точке (рис. 1.26). Из графика видно, что при приближении лавы к подрабатываемому целику прирост давления на штрек в случаях *B* и *C* лишь незначительно отличается от наиболее благоприятного варианта *A*. После прохода лавы давление на штреки *B* и *C* растет более интенсивно, чем на штрек *A*. Наибольшей интенсивностью прироста давления и максимальной величиной давления характеризуется штрек *B*, что вызвано достаточно большой площадью отработки пласта и влиянием краевой части угольного массива по вышележащему пласту, ориентированной параллельно штреку. Следует указать, что такое положение справедливо только для пластов мощностью более 1,5 м, отрабатываемых с обрушением кровли.

На графике (рис. 1.27) показано изменение давления на выемочный штрек в зависимости от расстояния до лавы при отсутствии (*1*) и наличии (*2*) влияния краевых частей вышележащих пластов. Во втором случае прирост давления в нескольких сотнях метров за 1-й лавой, а также перед подходом 2-й лавы почти вдвое больше, чем в таком же штреке, не подвергшемся воздействию краевых частей. Из-за влияния краевых частей давление на штрек после прохода 1-й лавы достигает значения, соответствующего глубине 3000 м (при отсутствии надработки), а перед подходом 2-й лавы — 2000 м (также при отсутствии надработки). Равным образом ухудшается и состояние штрека.

На графика (рис. 1.28) видно распределение давления в породном массиве в сечении, перпендикулярном к оси штрека, в точке, находящейся в 50 м перед приближающейся лавой. Если бы было можно переместить штрек на 60 м вправо, то он оказался бы в зоне разгрузки, созданной выработанным пространством по вышележащим пластам.

1.5 ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ НАКЛОННОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТОВ

1.5.1 ВОЗДЕЙСТВИЕ МЕЖДУЭТАЖНОГО ЦЕЛИКА НА ЛАВУ И ВЫЕМОЧНЫЕ ШТРЕКИ

Рассмотрим следующий пример. На одном из участков шахтного поля с наклонным залеганием предусматривалась последовательная в нисходящем порядке разработка свиты пластов. При этом между этажами (ярусами) должны были оставлять целики. Для предотвращения утечек воздуха в выработанное пространство было бы достаточно принять их ширину равной

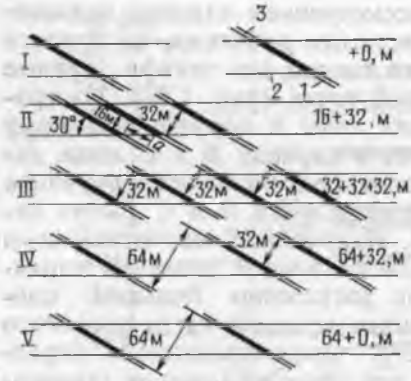


Рис. 1.29. Варианты моделирования горного давления для различного числа пластов и разной мощности междупластья:

I — один пласт (справа до, слева после начала отработки); *II* — три пласта при мощности междупластий 6 и 32 м; *III* — четыре пласта при мощности междупластий по 32 м; *IV* — три пласта при мощности междупластий 64 и 32 м; *V* — два пласта при мощности междупластья 64 м; *1* — лава; *2* — вентиляционный штрек; *3* — выработанное пространство

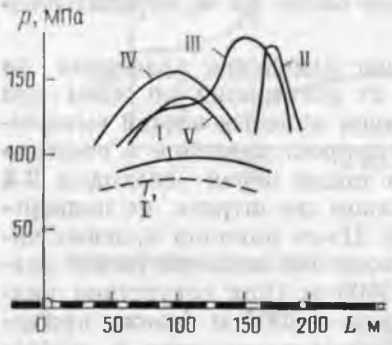


Рис. 1.30. График распределения давления над призабойным пространством верхней лавы при различном числе пластов и разной мощности междупластья (см. рис. 1.29):

I и *I'* — «нормальное» давление при наличии справа междуэтажного целика шириной 60 м и отставании 2-й лавы соответственно на 100 и 200 м

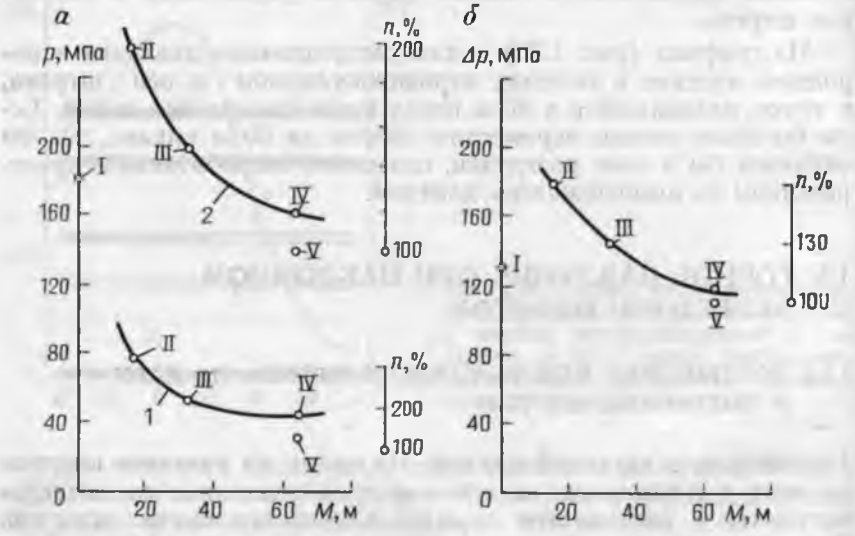


Рис. 1.31. График изменения давления на вентиляционный штрек верхней лавы (*а*) между точками, находящимися на 30 м впереди (*1*) и 300 м позади (*2*) очистного забоя, и прироста давления (*б*) в зависимости от мощности междупластья *M*:

I—*V* — см. рис. 1.29

80 м. Однако в связи с высоким горным давлением предложили принять ширину целиков в 60 м, что соответствовало ширине их несущей части примерно 50 м.

Проектом предусматривалась последовательная отработка пластов лавами по простиранию. В каждом выемочном участке действовали одновременно две лавы, причем верхняя из них должна была опережать нижнюю на 100 м.

Пласты в свите залегали на неодинаковом расстоянии друг от друга, поэтому пришлось проанализировать влияние междуэтажного целика при нескольких расстояниях между пластами (рис. 1.29). Мощность каждого пласта была принята равной 1,5 м. Исходя из средней глубины 900 м и средней плотности пород около 2,5 т/м^3, определили, что геостатическое давление равно 22,5 МПа.

График распределения давления над призабойным пространством верхней лавы приведен на рис. 1.30. Его величина определяет поведение кровли в лаве. Если она превышает «нормальную» (за которую принято давление при отсутствии надработки и воздействия целиков на соседних пластах) больше чем на 30%, то следует ожидать повышенной интенсивности вывалов в призабойном пространстве лавы. В данном случае величина и положение максимумов давления определяются воздействием междуэтажного целика; чем меньше расстояние между пластами, тем ближе к вентиляционному штреку располагается максимум давления и тем меньше зона повышенного давления.

Изменение давления на вентиляционный штрек 1-й лавы в точке впереди ее на 30 м (*1*) в зависимости от мощности междупластья характеризуется графиком, приведенным на рис. 1.31, *а*. Его величина при мощности междупластья 16 и 64 м превышает «нормальное» (геостатическое) соответственно в 1 и 1,1 раза. Оно играет существенную роль лишь в случае склонности почвы пласта к сильному пучению или при вывалах пород из кровли непосредственно в забое штрека.

Давление в 300 м за лавой определяется кривой *2* (см. рис. 1.31, *а*).

Прирост давления Δp между точками, расположенными в 30 м впереди и 300 м позади лавы, составляет в «нормальном» случае 113 МПа, которые можно принять за 100% (рис. 1.31, *б*). В условиях воздействия междуэтажных целиков прирост давления будет колебаться в пределах 97—194% в зависимости от расстояния между пластами. Величина его прироста определяет конвергенцию в выемочных штреках и сближение их боков, поскольку они пропорциональны повышению давления.

По кривой на рис. 1.31, *б* можно также определить промежуточные значения прироста давления для мощности междупластья, изменяющейся от 16 до 64 м (с учетом воздействия

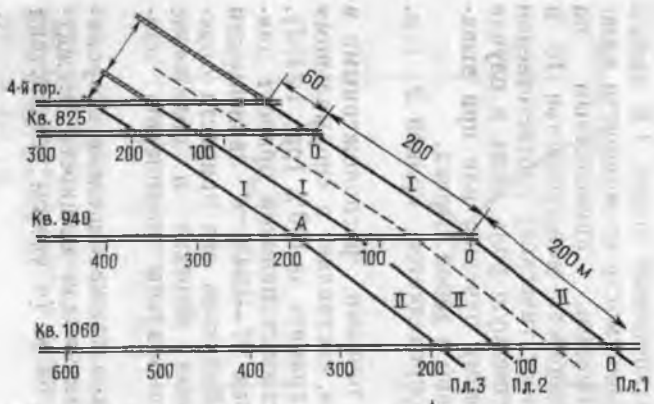


Рис. 1.32. Схема надработки квершлага при моделировании

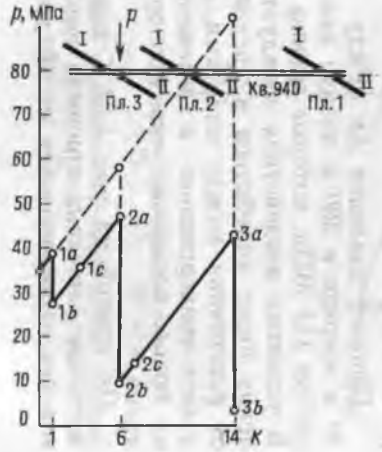


Рис. 1.33. Идеализированная характеристика нагружения квершлага 940 в точке *A*

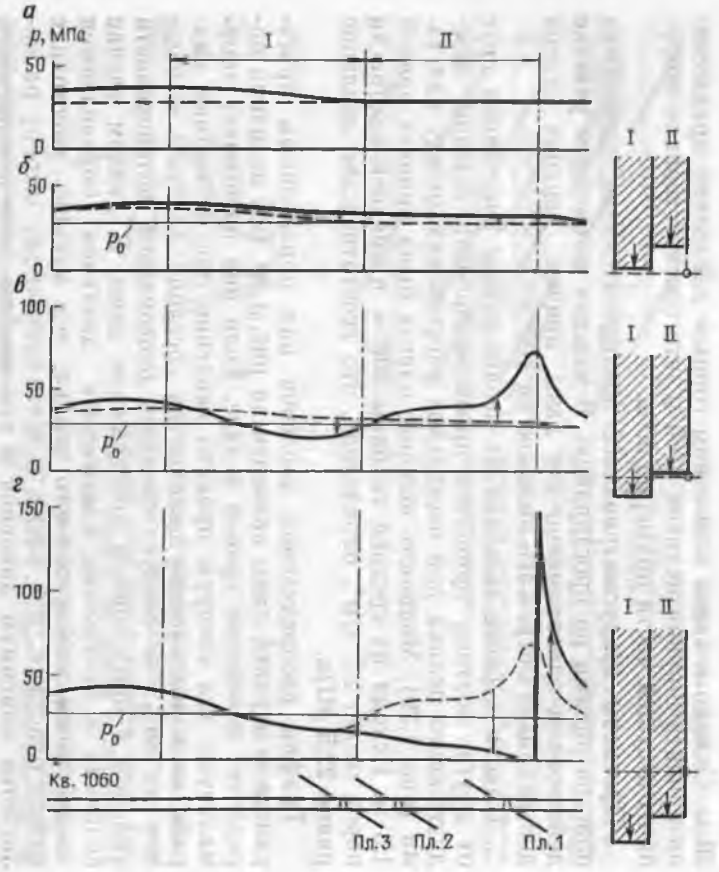


Рис. 1.34. Графики изменения давления на квершлаг 1060 при отработке пласта 1:

а — до начала очистных работ; *б* и *в* — при подходе к квершлагу; *г* — после прохода лав

второго подрабатываемого целика, расположенного в 32 м над верхней лавой).

Промежуточный штрек между одновременно отрабатываемыми лавами подвергается сильному воздействию от выступающего в выработанное пространство угла пласта у нижней лавы. Междуэтажные целики в наиболее неблагоприятном случае (при мощности междупластий 64+32 м) вызывают повышение давления на промежуточный штрек примерно на 30%. Нижний штрек в результате надработки горными работами по вышележащим пластам разгружен.

1.5.2. ВОЗДЕЙСТВИЕ МНОГОКРАТНОЙ НАДРАБОТКИ НА СОСТОЯНИЕ КВЕРШЛАГА

Пласты отрабатываются в нисходящем порядке (рис. 1.32). Между откаточными выработками отработанного 4-го горизонта и вентиляционными выработками нового горизонта оставляются целики угля. На каждом пласте первая лава (*I*) опережает вторую (*II*) на 100 м. Участковые квершлаги 825 и 940 погашаются сразу же после отработки участка.

В качестве примера многократных нагружений и разгрузок квершлага рассмотрим изменения горного давления в точке *A* (рис. 1.33).

При приближении лавы *I* по пласту *I* давление в точке *A* возрастает до величины 1*a*, снижаясь сразу же после прохода лавы до значения 1*b*. При приближении лавы *I* по пласту 2 давление вновь возрастает (до 2*a*), затем уменьшается после прохода лавы (до 2*b*) и т. д.

Практика показывает, что квершлаги после прошедшего цикла нагрузки-разгрузки подвергаются дальнейшему деформированию, даже если величина повторной нагрузки не превышает предыдущей. Суммарное воздействие всех этих нагрузок в первом приближении можно принять соответствующим их сумме. На графиках (рис. 1.34—1.36) показано, как изменяется давление на квершлаг 1060 при отработке пластов 1, 2 и 3. График (рис. 1.37) характеризует сумму приращений давления в виде кривой «нагруженности квершлага».

1.5.3. ХАРАКТЕР «НАГРУЖЕННОСТИ» ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ КВЕРШЛАГА

Суммарную нагруженность квершлагов 825 и 940, рассмотренных в предыдущем разделе, характеризуют графики (рис. 1.38 и 1.39), аналогичные приведенному на рис. 1.37 для квершлага 1060.

Приращения давления рассматриваемых по длине квершлагов весьма различны. Для сравнения в табл. 1.3 приведены данные, показывающие, какая часть указанных квершлагов подвергается суммарной нагрузке в 20, 40 и до 100 МПа. При

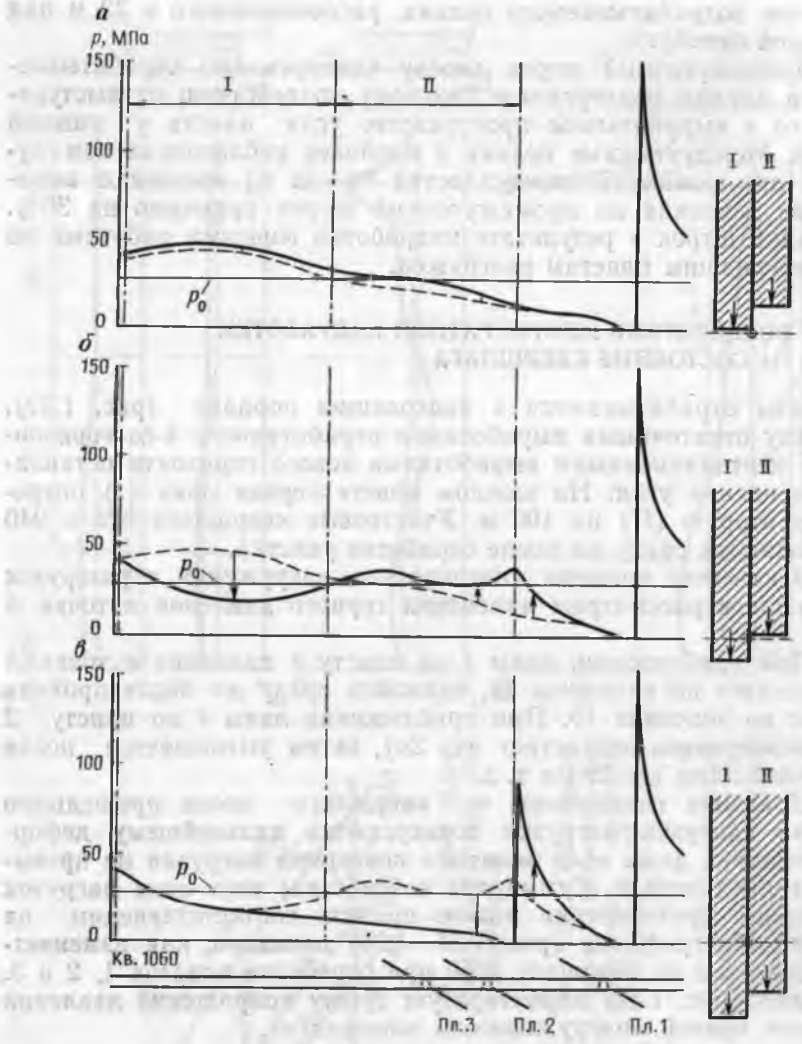


Рис. 1.35. Графики изменения давления на квершлаг 1060 при отработке пласта 2:
а — при подходе лав к квершлагу; *б* — при проходе лав над квершлагом; *в* — после прохода лав

этом по каждой выработке в расчет принимался участок длиной 400 м от точки, находящейся в 100 м перед пересечением квершлага с пластом 1, и до точки, расположенной в 100 м за пересечением его с пластом 3 (см. рис. 1.38 и рис. 1.39, кривые *1*). Если же часть квершлага, находившаяся в кровле отработанного участка пласта, своевременно погашалась, то к учету принимался участок квершлага длиной 300 м (см. рис. 1.38 и рис. 1.39, кривые *2*).

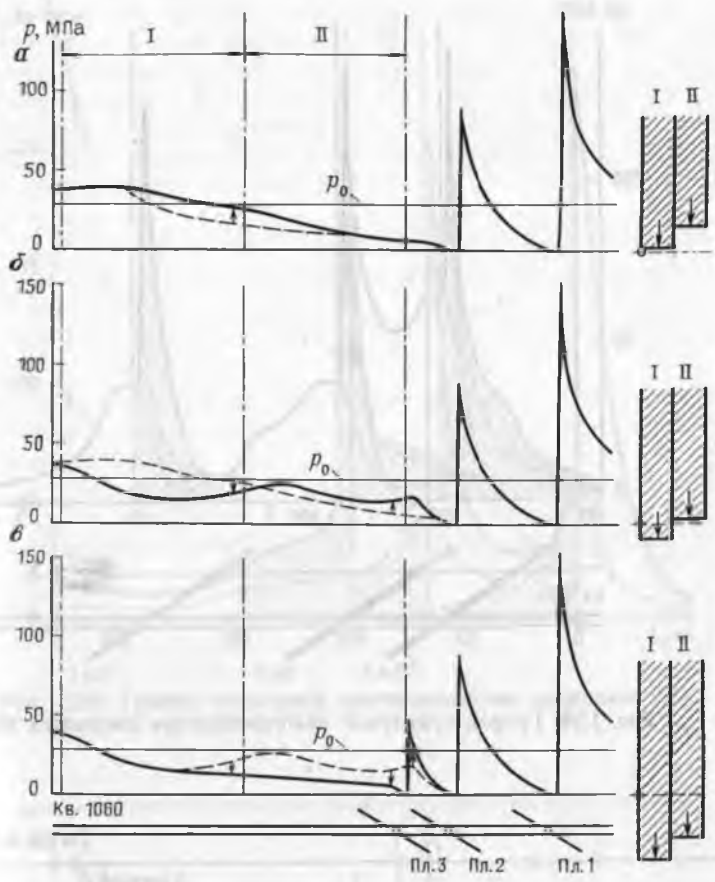


Рис. 1.36. График изменения давления на квершлаг 1060 при отработке пласта 3:

а — при подходе лав к квершлагу; *б* — при проходе лав над квершлагом; *в* — после прохода лав

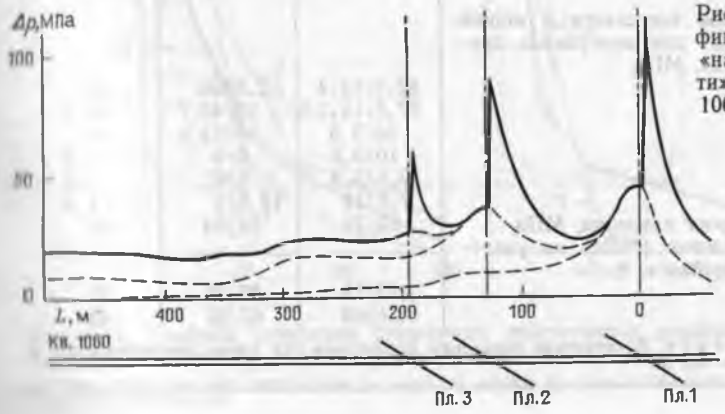


Рис. 1.37. График суммарной «нагруженности» квершлага 1060

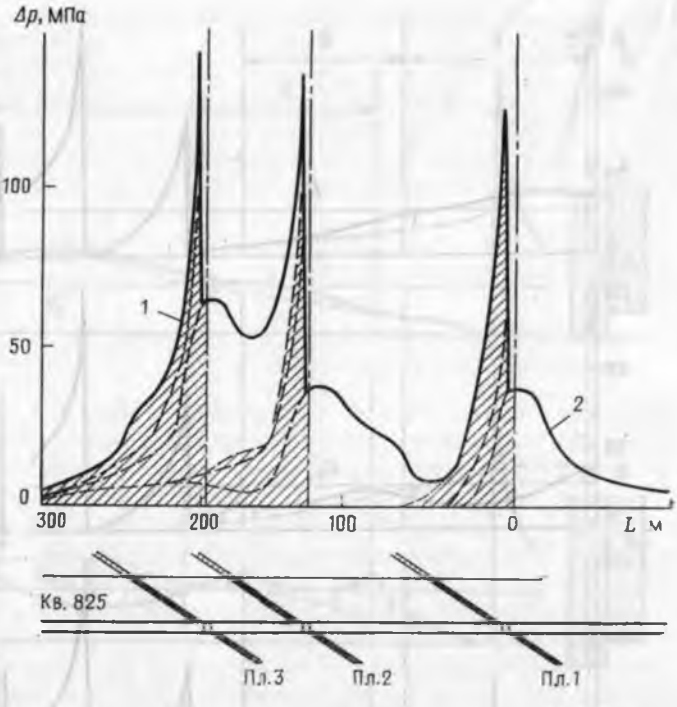


Рис. 1.38. График суммарной «нагруженности» квершлага 825

Таблица 1.3

Показатели	Квершлаги		
	825	940	1060
Доля участков квершлага в общей его длине (%) при интервалах прироста давления, МПа:			
<20	42,5/63,4	32,5/40	10
20—40	27,5/16,7	20/46,7	67,5
40—60	10/3,3	25/13,3	10
60—80	10/3,3	5/0	7,5
80—100	2,5/3,3	5/0	2,5
>100	7,5/10	12,5/0	2,5
Средний прирост давления, МПа	32/24	53/24	37
Прирост давления (МПа) на участке длины квершлага, %:			
50	25/18	40/25	32
20	54/40	67/37	43

Примечание. В числителе приведены показатели при длине квершлагов 400 м, в знаменателе — 300 м.

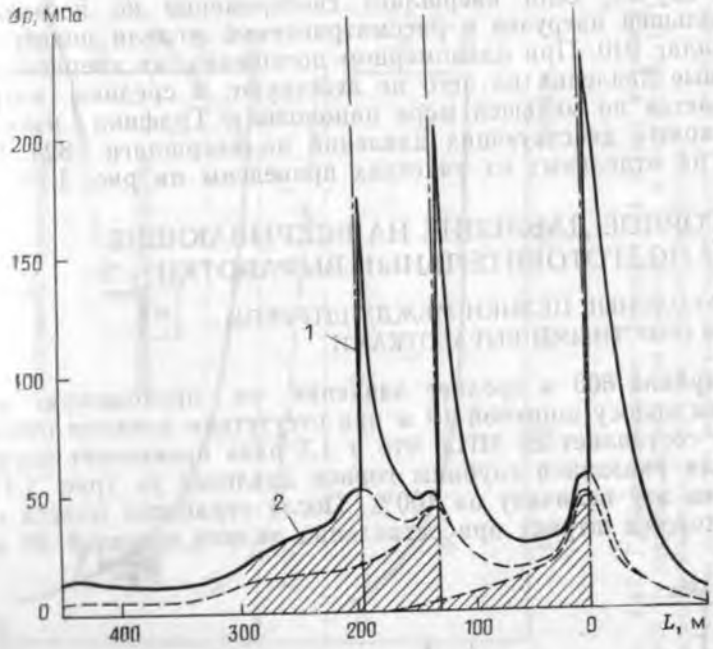


Рис. 1.39. График суммарной «нагруженности» квершлага 940

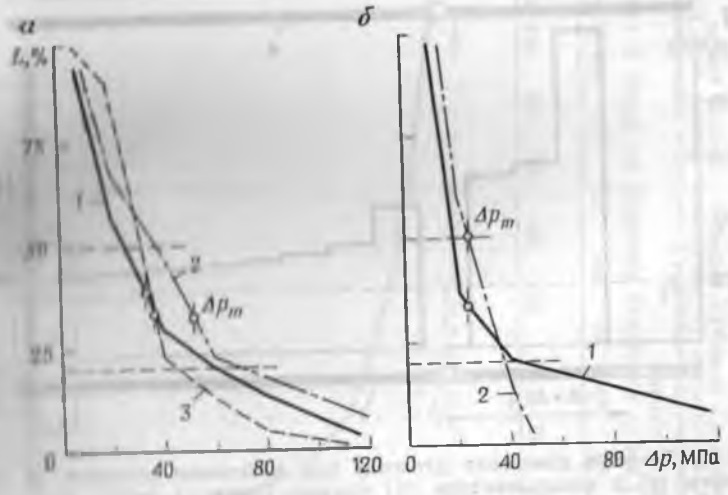


Рис. 1.40. Графики изменения суммарных действующих давлений на квершлаги №25 (*1*), 940 (*2*) и 1060 (*3*) по их длине:

а — при поддержании квершлагов по всей их длине; *б* — при погашении подработанных участков квершлагов

В случае, если квершлаги своевременно не погашаются, наибольшей нагрузке в рассматриваемой модели подвергается квершлаг 940. При планомерном погашении же квершлага 940 пиковые давления на него не действуют, а средняя нагрузка снижается по меньшей мере наполовину. Графики изменения суммарных действующих давлений на квершлаги 825, 940 и 1060 на отдельных их участках приведены на рис. 1.40.

1.6. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ВСКРЫВАЮЩИЕ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ

1.6.1. УГОЛЬНЫЕ ЦЕЛИКИ МЕЖДУ ШТРЕКОМ И ОЧИСТНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

На глубине 800 м среднее давление на проходящую вдоль штрека полосу шириной 10 м при отсутствии влияния очистных работ составляет 26 МПа, что в 1,3 раза превышает нормальное для указанной глубины горное давление p_0 (рис. 1.41, *а*). Примем эту величину за 100%. После отработки пласта с одной стороны штрека при оставлении целика шириной 40 м, из

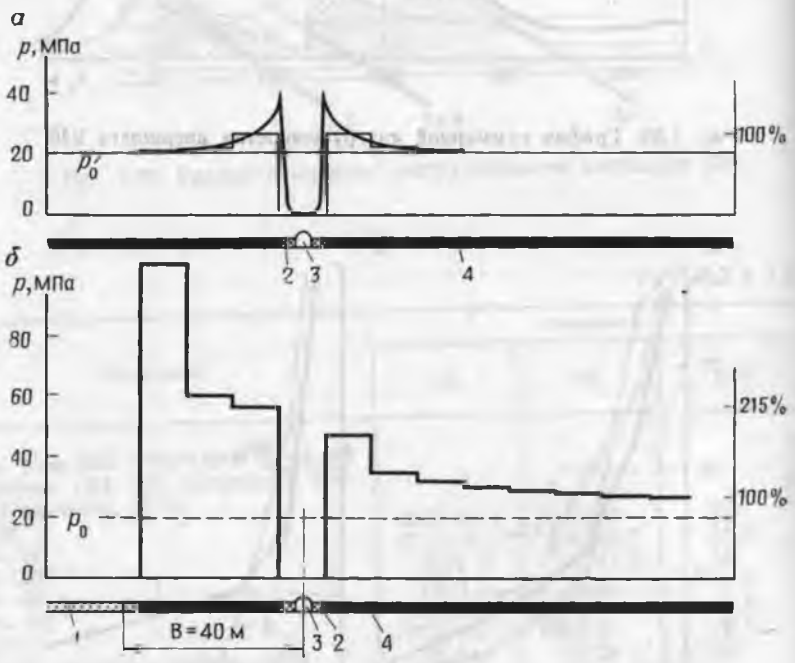


Рис. 1.41. Графики изменения давления над пластовым штреком, не испытывающим (*а*) и испытывающим (*б*) влияние очистных работ, при ширине целика $B=40$ м. Ступенчатой линией показано расчетное давление на 10-метровые полосы вдоль штрека:

1 — выработанное пространство; *2* — разрушенные краевые части угольного массива (целика); *3* — штрек; *4* — угольный массив

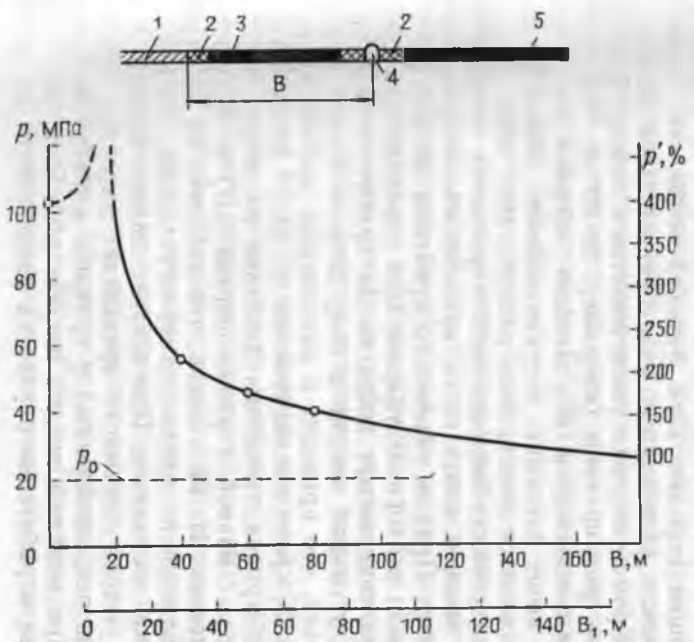


Рис. 1.42. График изменения давления на штрек в зависимости от ширины целика:

B и B_1 — соответственно фактическая и «несущая» ширина целика; *1* — выработанное пространство; *2* — разрушенные краевые части угольного массива (целика); *3* — целик; *4* — штрек; *5* — угольный массив

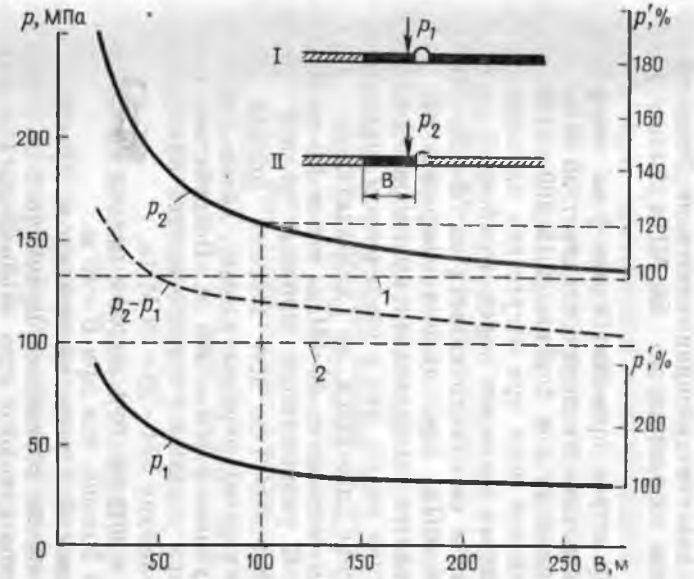


Рис. 1.43. График изменения давления на штрек в зависимости от ширины целика при наличии (*I*) и отсутствии (*II*) угольного массива по другую сторону выработки:

1 — давление на контуре выработанного пространства; *2* — прирост давления при повторном использовании штрека

которых опорное давление воспринимается не более чем 30 м, давление у штрека возрастает до 56 МПа, или до 215% (рис. 1.41, *б*).

В случае, если штрек проводят вдоль уже отработанного участка пласта, давление на него составляет 56 МПа, т. е. соответствует нормальному для глубины 2,15·800=1720 м давлению в околоштрековой зоне при отсутствии влияния очистных работ. Если же штрек проводят перед отработкой участка, то при очистной выемке оно увеличивается на 56—26=30 МПа.

Давление в 56 МПа для целика шириной 40 м (см. рис. 1.41, *б*) определено по приведенному на рис. 1.42 графику. Из его рассмотрения видно, что с увеличением ширины целика более 40 м давление снижается, но незначительно. При $B=$ 85 м оно все еще составляет 40 МПа, что в 1,5 раза больше первоначального. С уменьшением ширины целика давление возрастает весьма резко. Так, при ширине целика $B=20$ м оно в 4 раза превышает первоначальное. Такое давление характерно для глубины 4·800=3200 м. Воздействие очистных работ на штрек при указанной ширине целика приводит к приросту давления, равному 104—26=78 МПа.

Конвергенция в штреке при ширине целика $B=20$ м будет в 78 : 30=2,6 раза больше, чем при $B=40$ м.

Ширина раздавленной зоны целика вдоль границы выработанного пространства составляет примерно 5 м. Это справедливо для пластов крепкого угля мощностью 1 м при прочных вмещающих породах. При большей мощности пласта и меньшей крепости угля ширина раздавленной зоны целика увеличивается. Кроме того, она увеличивается с повышением давления и с течением времени (например, до 20 м). Чем больше раздавленная зона целика, тем меньше ширина его несущей части и тем выше давление, воспринимаемое целиком, что в свою очередь ведет к расширению раздавленной зоны.

Этот процесс может быть причиной нарастания конвергенции в штреке в течение длительного времени после прекращения очистных работ. Правда, обычно со временем он затухает. На пласте, опасном по горным ударам, при определенных обстоятельствах давление может возрасти до критического предела, при котором угольный массив в боку штрека может мгновенно разрушиться, что приведет к заполнению выработки углем.

На рис. 1.43, кроме приводившейся на рис. 1.42 зависимости (*I*), показана кривая изменения давления на штрек после отработки пласта с правой стороны штрека (*II*) в зависимости от ширины целика. Из него видно, что давление на выемочный штрек, проходящий по кромке угольного целика, также зависит от ширины последнего. При ширине целика больше 120 м давление на штрек ненамного превышает давление, которое испытывает штрек, пройденный у границы выработанного пространства. При меньшей же его ширине выработанное пространство ранее отработанного участка воздействует на штрек и

обусловливает повышение давления в соответствии с кривой p_2 (см. рис. 1.43). Целик, оставляемый между выемочными участками при однократном использовании штреков, должен иметь ширину не менее 40—50 м. Однако лучше не оставлять его вовсе или же предусматривать целик между старым и новым штреками шириной всего 2 м (так называемый «податливый» целик).

Кривая $p_2—p_1$ показывает, насколько возрастает давление в результате отработки участка справа от целика. Это дополнительное давление значительно выше давления p_1 в результате отработки предыдущего участка (слева от целика).

Примечания: 1. Значения давления на приведенных выше графиках справедливы лишь для случаев бесконечно большой длины штрека и неограниченной протяженности выработанного пространства. Любая другая геометрия очистных работ вызовет соответствующие изменения величин давления. Они могут быть также другими в случае отработки выше- или нижележащих пластов.

2. Приведенные на графиках кривые могут быть справедливыми и для другой глубины разработки H, для чего полученные с их помощью величины необходимо умножить на отношение $H/800$.

1.6.2. ШТРЕК В СЕРЕДИНЕ УГОЛЬНОГО ЦЕЛИКА

На глубине 800 м среднее давление на проходящую вдоль штрека полосу шириной 10 м при отсутствии влияния очистных работ составляет 26 МПа, что в 1,3 раза превышает нормальное для этой глубины горное давление p_0 (рис. 1.44, *а*). Примем его величину за 100%. После отработки пласта по обе стороны штрека с оставлением целика шириной 100 м, из которых не более 90 м придется на «несущую» ширину целика, давление на штрек возрастет до 68 МПа, превысив первоначальное в 2,6 раза (рис. 1.44, *б*).

Рассмотрим два случая. Если штрек проводят по середине целика после завершения очистных работ, давление в 68 МПа при проведении выработки будет соответствовать давлению, которое действовало бы на такой же штрек, проводимый в нетронутом массиве на глубине $2{,}6 \cdot 800 = 2080$ м. Если же штрек пройдут до начала очистных работ, то при последующей выемке пласта с обеих сторон давление на штрек составит $68 - 26 = 42$ МПа.

Давление в 68 МПа для целика шириной 100 м, показанного на рис. 1.44, определено по графику (рис. 1.45). С дальнейшим увеличением ширины целика более 100 м давление снижается, но незначительно, и при $B = 220$ м оно все еще составляет 40 МПа (в 1,5 раза больше первоначального). При уменьшении ширины целика давление возрастает весьма резко, и при $B = 60$ м оно в 4 раза превышает первоначальное. Такое давление характерно для штрека, пройденного в ненарушенном массиве на глубине $4 \cdot 800 = 3200$ м. Воздействие очистных работ на штрек, охраняемый целиком подобной ширины, приведет

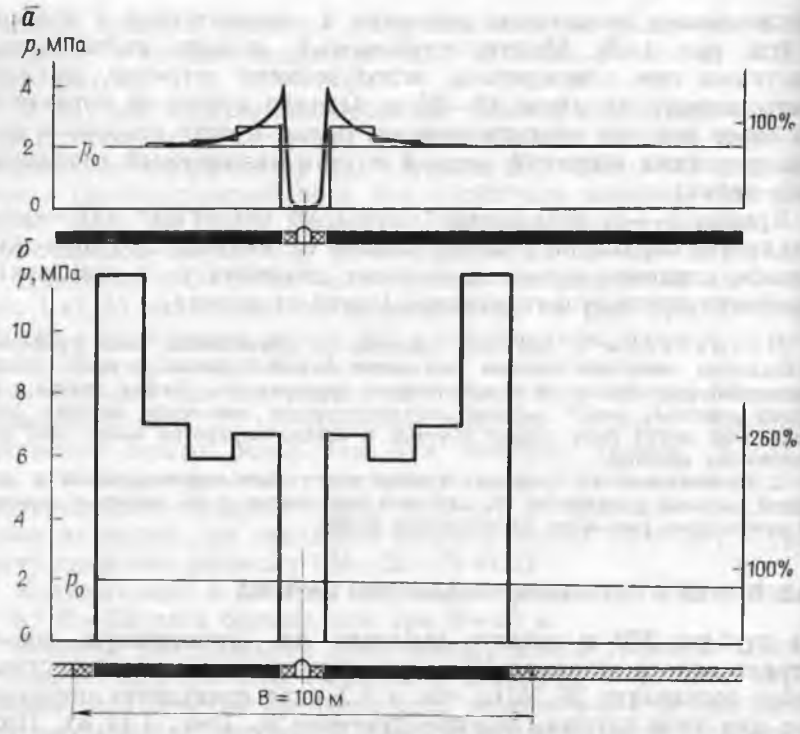


Рис. 1.44. Графики изменения давления над штреком, расположенным в середине целика шириной 100 м при отсутствии (*а*) и наличии (*б*) влияния очистных работ

к приросту давления, равному 104—26=78 МПа, а конвергенция в штреке будет в 78 : 42=1,9 раза больше, чем при ширине целика $B=100$ м.

Хотя давление на среднюю часть широкого целика (рис. 1.46) и намного ниже, чем на его краевые части, однако штрек, пройденный по целику, подвергается при одинаковом давлении значительно большей опасности, чем штрек, расположенный у границы с выработанным пространством. Поэтому для оценки состояния штреков, пройденных по оставленным целикам, должны применяться другие критерии.

Подобным же образом следует оценивать ширину целиков, оставляемых между базисной выработкой* и приближающейся к ней лавой.

---

* В принятых в угольных шахтах ФРГ схемах подготовки выемочные поля при наклонном падении пластов вскрывают так называемыми базисными выработками, проводимыми по углю по падению или восстанию. В дальнейшем при последовательной отработке выемочных участков, подготавливаемых проводимыми от базисной выработки выемочными штреками, последняя служит для транспорта угля, доставки материалов, проветривания и т. п., выполняя, таким образом, функции уклона или бремсберга. — *Примеч. пер.*

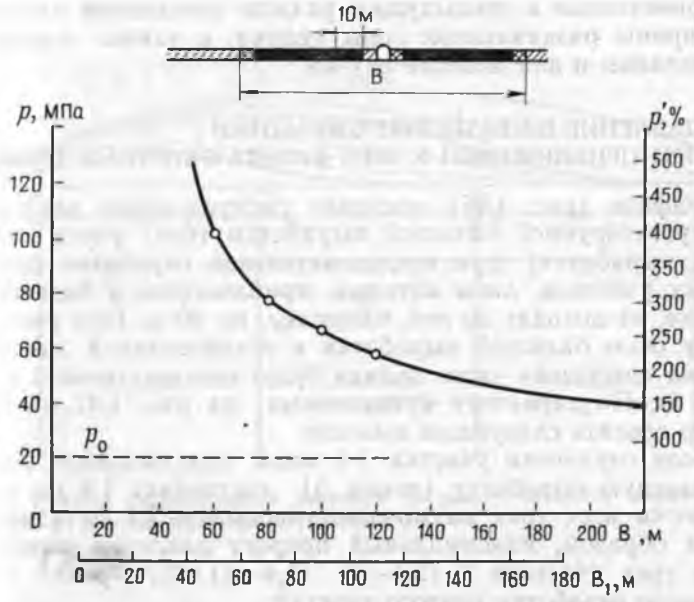


Рис. 1.45. График изменения давления на штрек, расположенный в середине целика, в зависимости от ширины последнего

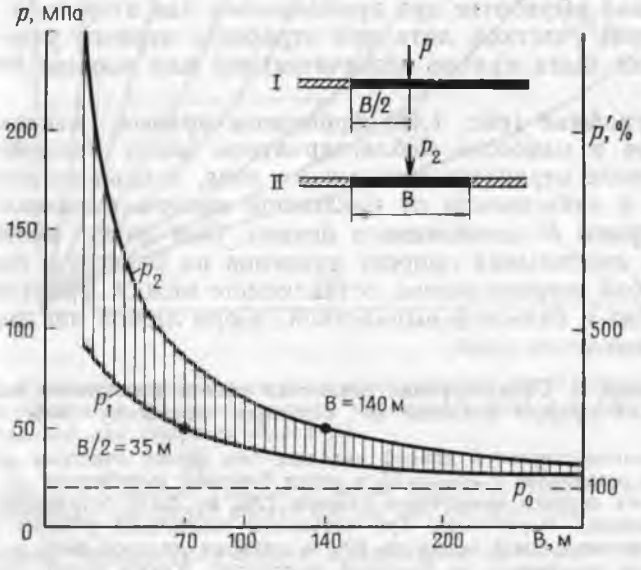


Рис. 1.46. График изменения давления на среднюю часть целика в зависимости от его ширины до (*I*) и после (*II*) отработки выемочного участка (справа)

Приведенные в предыдущем разделе положения относительно ширины раздавленной зоны целика, а также примечания справедливы и для данного случая.

1.6.3. ДАВЛЕНИЕ НА БАЗИСНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПРИ ПРИБЛИЖЕНИИ К НИМ ФРОНТА ОЧИСТНЫХ РАБОТ

На графике (рис. 1.47) показано распределение давления по оси проектируемой базисной выработки (без учета влияния самой выработки) при последовательной отработке трех выемочных участков, лавы которых, приближаясь к базисной выработке, не доходят до нее, например, на 40 м. При расстоянии между осью базисной выработки и остановленной лавой 40 м ширина «несущей» части целика будет соответствовать примерно 30 м. По характеру приведенных на рис. 1.47, *а* кривых можно сделать следующие выводы:

после отработки участка 1-й лавы максимальное давление на базисную выработку (линия *А*) составляет 1,4 p_0, а после отработки всех трех выемочных участков — 2,1 p_0 (линия *С*). Таким образом, максимальный прирост давления после отработки трех участков в (2,1—1) : (1,4—1) = 2,75 раза больше, чем после отработки первого участка;

давление на базисную выработку значительно возрастает уже тогда, когда лава второго участка находится еще в 130 м от границы оставляемого целика. Этим объясняется нередко наблюдаемое в практике явление значительной конвергенции в базисной выработке при приближении лав второго и третьего выемочных участков, хотя при отработке первого участка конвергенция была крайне незначительной или вообще отсутствовала.

На графике (рис. 1.48) приведены кривые максимального давления в наиболее неблагоприятном месте базисной выработки после отработки выемочного поля, вскрытого этой выработкой, в зависимости от наклонной высоты выемочного поля h и ширины B оставляемого целика. Они дают возможность оценить наибольший прирост давления на базисную выработку при любой ширине целика, оставляемого между фронтом очистных работ и базисной выработкой, и при любой наклонной высоте выемочного поля.

Примеры. 1. Проектируемая наклонная высота выемочного поля 500 м. Допустимый прирост давления на базисную выработку 50% (давление 1,5 p_0).

По соответствующей кривой находим, что фронт очистных работ должен быть остановлен в 70+5=75 и перед базисной выработкой.

2. Лава первого выемочного участка (200 м) была остановлена в 50 м перед базисной выработкой. Три остальных выемочных участка отрабатываются лавами длиной также по 200 м, которые должны быть остановлены на том же расстоянии от базисной выработки. Каким будет наибольшее давление, действующее на базисную выработку?

Для ширины несущей части целика 50—5=45 м находим, что максимальное давление после отработки первого выемочного участка наклонной

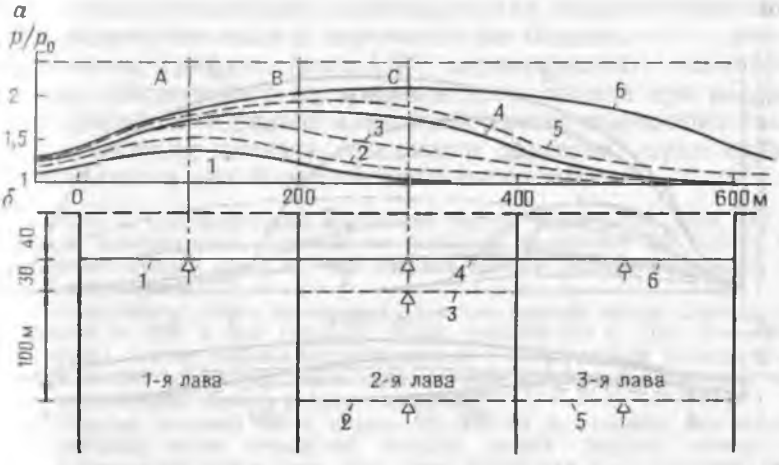


Рис. 1.47. График распределения давления по длине базисной выработки L (*а*) и схема отработки выемочных участков (*б*):
1—6 — положения лав

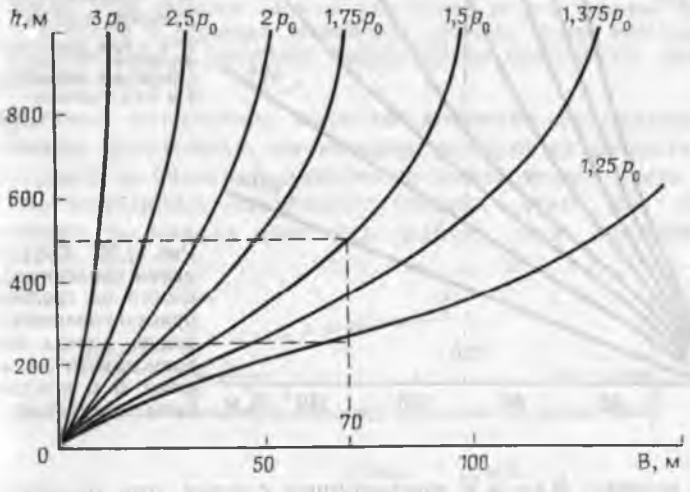


Рис. 1.48. Кривые изменения максимального давления на базисную выработку в зависимости от наклонной высоты выемочного поля h и расстояния до места остановки лав (ширины целика B)

высотой 200 м составляло 1,25 p_0, а после отработки трех остальных участков (суммарная наклонная высота 800 м) оно достигло $2p_0$.

Выясним теперь, как будет изменяться давление на середину целика, ориентированного по падению пласта, если с обеих его сторон будут последовательно отрабатываться по три выемочных участка, лавы которых перемещаются по направле-

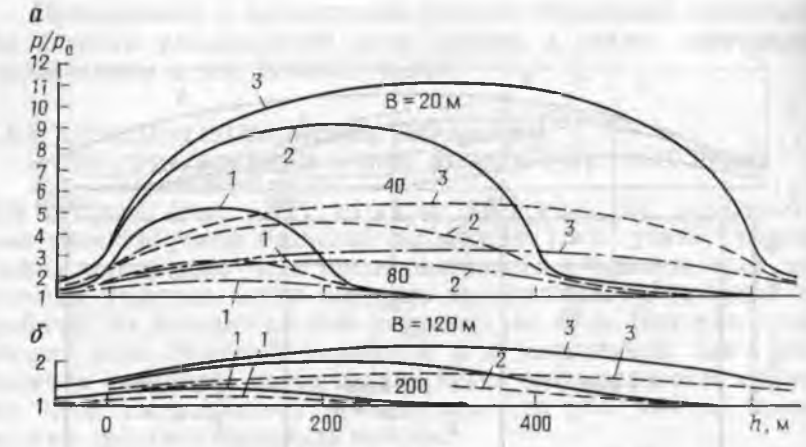


Рис. 1.49. Графики распределения давления по оси целика шириной соответственно 20, 40 и 80 м (*а*) и 120 и 200 м (*б*), ориентированного по падению пласта:

1—3 — при последовательной отработке с обеих сторон целика лав соответственно 1, 2 и 3-го участков

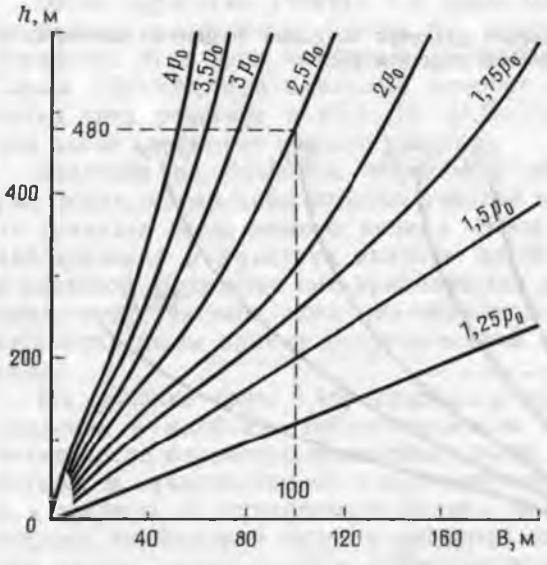


Рис. 1.50. Кривые изменения давления, действующего на среднюю часть ориентированного по падению пласта целика в зависимости от его ширины B и наклонной высоты выемочного поля h

нию к целику. Как и в предыдущем случае, при расчетах давления не учитывается влияние самой базисной выработки, проходящей по оси целика.

Распределение давления над осевой линией такого целика при различной расчетной его ширине характеризуется графиками (рис. 1.49). Сплошными линиями показаны кривые давления для ширины целика 20 и 120 м, штриховыми — для 40 и 200 м и штрих-пунктирными — для 80 м. Значения ширины целика относятся к его несущей части. Фактическая же его ширина с учетом 5-метровых раздавленных зон с обеих сторон должна быть на 10 м больше. По характеру кривых можно

видеть, что с уменьшением ширины целика влияние наклонной высоты выемочного поля h становится все больше.

Кривые на графике (рис. 1.50) характеризуют изменение давления, действующего на среднюю часть целика при различной его ширине B и разной наклонной высоте выемочного поля h. Они позволяют оценить ожидаемое давление при любой ширине целика и любой высоте выемочного поля.

Примеры. 1. Проектируемая наклонная высота выемочного поля 480 м. Допустимое максимальное давление на базисную выработку 2,5 p_0. По соответствующей кривой находим, что ширина целика должна составлять не менее 100+10=110 м.

2. При отработке обоих выемочных участков первого этажа (яруса) лавами длиной по 200 м был оставлен целик шириной 90 м. Два остальных этажа (яруса) также должны отрабатываться с обеих сторон целика лавами длиной по 200 м. Каково будет максимальное давление на базисную выработку, если ширину целика оставят такой же?

Для ширины несущей части целика 90—10=80 м находим, что максимальное давление после отработки первого этажа (яруса) составляло 1,75 p_0, а после отработки двух остальных подэтажей оно возрастет примерно до 3,3 p_0.

Примечание. Расчетные значения давления справедливы для вынимаемой мощности пласта 1,5 м и глубины 800 м. Их вполне достаточно для оценки ожидаемого давления на базисные выработки для тех частей шахтных полей, на которых в настоящее время ведутся очистные работы в Рурском бассейне. При большей глубине разработки и для пластов большей мощности, а также в условиях воздействия краевых частей соседних пластов и при разработке с закладкой выработанного пространства необходимы специальные расчеты.

Допустимая предельная величина давления (например, для установления расстояния, на котором следует остановить приближающуюся к базисной выработке лаву) может быть определена по поведению выемочного штрека того же пласта (пройденного до начала очистных работ) под воздействием

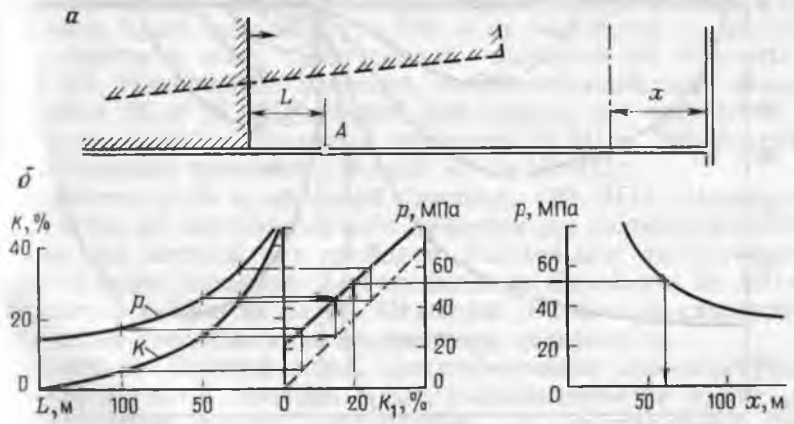


Рис. 1.51. Схема (*а*) и графики (*б*) к определению оптимального места остановки лав перед базисной выработкой по результатам измерения конвергенции в выемочном штреке

опережающего опорного давления. Для этого следует использовать результаты производственных наблюдений за состоянием выемочных штреков и установить заранее характер изменения давления перед забоем лавы (рис. 1.51).

По двум кривым, которые отображают нарастание измеренной конвергенции K и расчетного давления p в точке A выемочного штрека, находящейся на расстоянии L от лавы, по мере приближения к ней забоя (см. рис. 1.51, *б*, слева) можно графическим путем построить характеристику состояния выемочного штрека, которая, как принято считать, справедлива и для базисной выработки того же пласта. Если известна расчетная зависимость давления на базисную выработку от расстояния до приближающейся лавы (см. рис. 1.51, *б*, справа), то для предельно допустимой конвергенции базисной выработки (например, $K_1 = 20\%$) можно определить расстояние x, на котором должна быть остановлена лава (в данном случае 60 м).

1.6.4. ШТРЕК ПОД КРАЕВОЙ ЧАСТЬЮ ПЛАСТА

Из графика (рис. 1.52) видно, что слева от линии $p_0 = 20$ МПа давление ниже, а справа — выше геостатического давления p_0 (при глубине разработки 800 м).

Известно, что с увеличением расстояния от краевой части пласта L давление уменьшается, но глубина зоны влияния надработки h_1 увеличивается. По мере удаления от пласта максимумы давления все более смещаются под неотработанный угольный массив. Эти обстоятельства позволяют достаточно просто

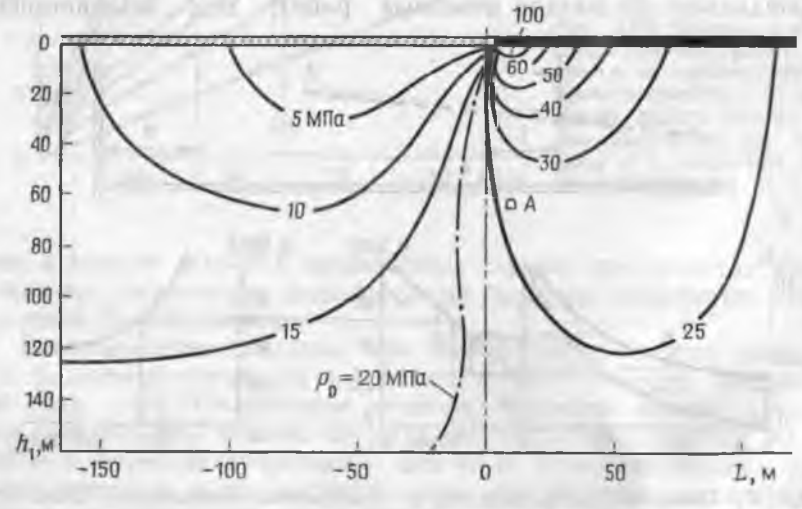


Рис. 1.52. Линии равного горного давления (изобары) под краевой частью вышерасположенного пласта (глубина разработки 800 м)

определять наиболее благоприятное расположение полевых штреков или наклонных пластовых выработок, параллельных краевой части угольного массива по вышележащему пласту.

Случай 1. Полевая выработка *А* пройдена после окончания очистных работ на вышележащем пласте (см. рис. 1.52). Интерполируя между ближайшими изобарами, находим, что давление в этой точке составляет 26 МПа. Поскольку выработка *А* находится на глубине 865 м, а изобары рассчитаны для глубины 800 м, к нему необходимо добавить давление от веса столба породных слоев, находящихся между пластом и полевой выработкой (около 2 МПа). Кроме того, нужно учесть, что проходка выработки повышает давление в примыкающей к ней 10-метровой полосе примерно на 30%. Следовательно, на рассматриваемую выработку будет действовать давление, равное 28·1,3=36 МПа. Таким образом, давление, действующее на полевую выработку *А*, примерно на (28—22) :.22=27% выше, чем на аналогичную выработку, пройденную в нормальных условиях, т. е. при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта.

Случай 2. Полевая выработка *А* пройдена до начала очистных работ по вышележащему пласту и к ней, следовательно, приложено давление 22·1,3=29 МПа. Так как давление на эту выработку после завершения очистных работ, фронт которых в данном случае движется в направлении, параллельном выработке *А*, повысится до 36 МПа, прирост давления (27%) будет воздействовать на уже пройденную выработку. В результате конвергенция в ней превысит аналогичный показатель в случае 1 (даже при достаточно прочных вмещающих породах).

Случай 3. Полевая выработка *А* надрабатывается вышележащим пластом, причем фронт очистных работ, параллельный выработке *А*, перемещается слева направо. Когда проекция линии забоя будет находиться в 100 м от выработки *А*, последняя окажется в зоне, оконтуренной изобарой 25 МПа (см. рис. 1.52). Наибольшее давление, соответствующее зоне между изобарами 25 и 30 МПа, будет действовать на выработку в 20 м перед лавой и равняться примерно 28 МПа. Это соответствует приросту давления (28—20)×1,3=10 МПа.

Примерно в 15 м за лавой (изобара 20 МПа) выработка разгрузится до первоначального давления p_0, соответствующего глубине, на которой она пройдена. Наименьшее давление, соответствующее половине первоначального (изобара 10 МПа), установится в 60 м за лавой. Примерно в 100 м за лавой давление снова увеличится, но не достигнет величины p_0.

Случай 4. Полевой штрек, ориентированный перпендикулярно к выработке *А* (см. рис. 1.52), надрабатывается лавой по вышележащему пласту, двигающейся по направлению оси штрека. В этом случае штрек подвергается такому же давлению, что и в предыдущем случае. Различие заключается в том, что в случае 3 оно действует на выработку одновременно по

всей ее длине, а в случае 4 — на отдельные ее участки, по которым последовательно проходит волна давления.

Случай 5. Наклонная выработка (полевой уклон) расположена под отрабатываемым пластом перпендикулярно к линии очистных забоев. Расчет давления производится так же, как и в предыдущих случаях; величину давления определяют точки пересечения выработки с изобарами.

Случай 6. Квершлаг надрабатывается наклонным пластом. Расчет давления производится так же, как в предыдущем случае.

Замечание к рис. 1.52. Как видно из графика (см. рис. 1.52), давление под краевой частью пласта уменьшается от весьма высоких значений вначале очень быстро. Уже в 30 м под пластом (изобара 40 МПа) давление только вдвое превышает нормальное для данной глубины давление p_0. Однако по мере удаления от пласта интенсивность затухания давления снижается; то же относится и к расстоянию по напластованию от краевой части пласта. Это подтверждается практическим опытом, согласно которому влияние находящейся на значительном удалении краевой части пласта (100—200 м) может ощущаться в пройденных по склонным к деформации породам выработках в виде заметного увеличения конвергенции.

Примечания: 1. Приведенные на рис. 1.52 значения давления справедливы лишь для «нормального» случая — краевой части пласта неограниченной протяженности. Любая другая геометрия выработанного пространства обусловит изменение величин давления. Кроме того, давление будет другим, если породный массив над- или подработан другими пластами. В таких случаях требуются особые расчеты.

2. Приведенные на рис. 1.52 значения давления справедливы также и для зоны, находящейся над краевой частью пласта, т. е. для случая подработки (но в этом случае требуется уменьшать давление на величину, соответствующую весу столба пород между пластом и выработкой). Однако при подработке выработки конвергенция может наблюдаться и в зоне пониженного давления; такая конвергенция, как известно, объясняется не только изменением давления.

3. Показанные на рис. 1.52 изобары могут быть использованы и для глубины, отличающейся от 800 м, при условии умножения полученного значения давления на отношение $H/800$, где H — глубина залегания рассматриваемого пласта.

1.6.5. ВЫРАБОТКА ПОД ВЫСТУПАЮЩИМ УГЛОМ КРАЕВОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА

На рис. 1.53 показаны линии равного горного давления (изобары). Между изобарами 20 МПа давление меньше, а за ними больше нормального для данной глубины ($H=800$ м) давления $p_0=20$ МПа. По изобаре 30 МПа проходят точки, в которых давление в породном массиве превышает нормальное в 1,5 раза.

Для глубины H, отличающейся от 800 м, соответствующие значения давления необходимо умножить на отношение $H/800$.

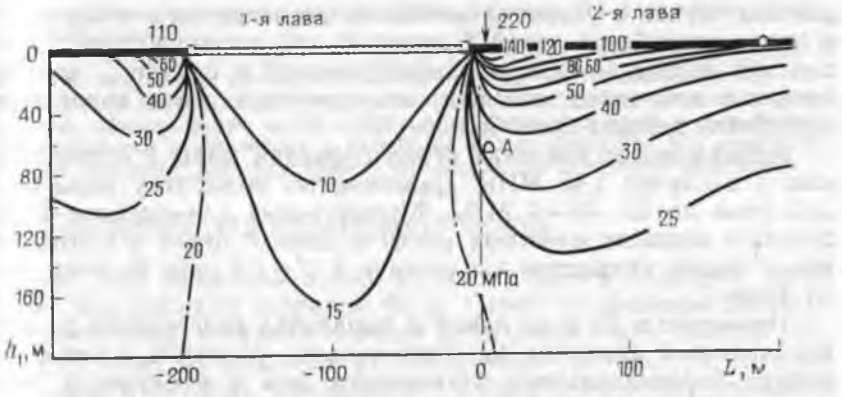


Рис. 1.53. Линии равного горного давления под выступающим углом краевой части пласта между 1-й и 2-й лавами (глубина разработки 800 м)

Рассмотрим, какая величина давления будет определять состояние полевой выработки, пройденной, например, через точку *А*. При этом необходимо различать давление, устанавливающееся при проведении штрека, и давление, вызываемое очистными работами на вышележащем пласте.

Случай 1. Лава *2* остановлена вблизи показанного на рис. 1.53 сечения. Выработка *А* пройдена после остановки лавы. Интерполируя между ближайшими изобарами, получаем что давление у выработки составляет 33 МПа. Так как она пройдена на глубине 865 м, а давление рассчитано для глубины 800 м, к 33 МПа следует приплюсовать давление от веса столба пород между пластом и выработкой, т. е. около 2 МПа. Следует также учесть, что проведение выработки повышает давление примерно на 30%. Значит, на рассматриваемую выработку будет действовать давление, равное $35 \cdot 1{,}3 = 45$ МПа. При нормальных условиях (без надработки) давление составило бы $(20 + 2) \cdot 1{,}3 = 29$ МПа. Давление под выступающим углом краевой части пласта на 45—29=16 МПа, или на 55%, больше, чем давление, действующее на такую же выработку, пройденную в нормальных условиях. Однако повышенное давление при проведении выработки может проявляться лишь при пересечении слабых пород.

Случай 2. Выработка *А* пройдена до начала очистных работ по вышележащему пласту, т. е. в условиях давления $22 \cdot 1{,}3 = 29$ МПа, и позже подверглась их воздействию при отработке лав *1* и *2*. Максимальное давление после прохода лавы *1* можно определить по левой половине рисунка: точка, соответствующая выработке *А*, находилась бы на изобаре 26 МПа (на рис. 1.53 не показана). Давление в этой точке составило бы при проведении выработки $(26 + 2) \cdot 1{,}3 = 36$ МПа, а прирост давления — 36—29=7 МПа. Хотя выработка проводилась в

данном случае в условиях меньшего давления, чем в случае 1, и после надработки лавой *1* давление при проведении не достигло той величины, которая зафиксирована в случае 1, конвергенция в ней вследствие прироста давления после проведения выработки должна быть больше.

Максимальное давление перед подходом лавы *2* составляет, как и в случае 1,45 МПа. Давление на выработку повысится при этом на 45—36=9 МПа. Конвергенция в выработке в результате влияния очистных работ в лаве *2* будет в соответствии с таким приростом давления в 9 : 7=1,3 раза больше, чем от лавы *1*.

Примерно в 20 м за лавой *2* выработка разгрузится до первоначального давления p_0. Минимальное давление, равное половине первоначального, установится, как и в случае 4, примерно в 60 м за лавой. После этого давление снова несколько увеличится, однако уже не достигнет p_0.

Случай 3. Полевая выработка, пройденная перпендикулярно к рассматриваемой ранее выработке (т. е. в плоскости рис. 1.53), надрабатывается обеими лавами. Отдельные участки выработки будут подвергаться при приближении очистных работ различным давлениям в соответствии с точками пересечения выработки изобар. Наибольшее давление будет наблюдаться на участке выработки в 10—50 м под выступающим углом пласта, справа от него. После прохода лавы произойдет разгрузка выработки — на отдельных участках по-разному. Справа от лавы *2* давление на выработку повышается по мере подвигания очистных работ примерно на такую же величину, как и слева от лавы *1*.

Случай 4. Наклонная полевая выработка (уклон) пройдена в плоскости рис. 1.53. Расчет давления производится так же, как и в предыдущем случае. Действующие его величины определяются точками пересечения выработки с изобарами.

Случай 5. Квершлаг надрабатывается при выемке наклонного пласта. Давление рассчитывается так же, как в предыдущих случаях.

Замечание к рис. 1.53. Как и под краевой частью, под выступающим углом пласта давление уменьшается с увеличением расстояния от пласта вначале очень быстро. Уже в 55 м под пластом оно лишь в два раза превышает нормальное для данной глубины давление p_0 (изобара 40 МПа). При дальнейшем удалении от пласта интенсивность снижения давления уменьшается; то же относится к расстоянию по напластованию от угловой части пласта. В 130 м под пластом давление все еще превышает нормальное на 25%. Даже в 200 м под пластом влияние выступающей углом краевой части пласта все еще ощущается повышенным горным давлением.

Примечания: 1. Приведенные на рис. 1.53 изобары справедливы лишь для «нормального» случая: длина лав 200 м, отставание лавы *2* от лавы *1* 350 м. При другой геометрии горных работ или в условиях над-

или подработки величины давления будут другими. Их определение требует особого расчета.

2. Приведенные на рис. 1.53 значения давления справедливы также и для зоны породного массива, находящейся над выступающим углом пласта, т. е. для случая подработки выработки. Но их требуется уменьшать на величину, обусловленную весом столба пород между пластом и выработкой. При подработке конвергенция в выработке может произойти и в зоне пониженного давления, ибо она зависит не только от изменения давления.

1.6.6. ВЫРАБОТКА ПОД УГОЛЬНЫМ ЦЕЛИКОМ

На рис. 1.54 показаны линии равного горного давления (изобары) под целиком шириной 60 м. Слева от изобары 20 МПа давление ниже, а справа — выше нормального для данной глубины ($H=800$ м) давления p_0. По изобаре 30 МПа расположены точки, в которых давление в 1,5 раза превышает нормальное давление p_0. Для других значений глубины H полученные по изобарам величины следует умножить на отношение $H/800$.

Рассмотрим, какое давление будет определять состояние выработки, пройденной, например, через точку A. При этом необходимо различать давление, действующее в период проведения выработки, и давление, обусловленное влиянием очистных работ.

Случай 1. Выработка A пройдена после окончания очистных работ. Интерполируя между ближайшими изобарами, получаем давление 33 МПа. Поскольку выработка A находится на глубине 865 м, а изобары рассчитаны для глубины 800 м, необходимо добавить давление, обусловленное весом столба породных слоев между целиком и выработкой, т. е. около

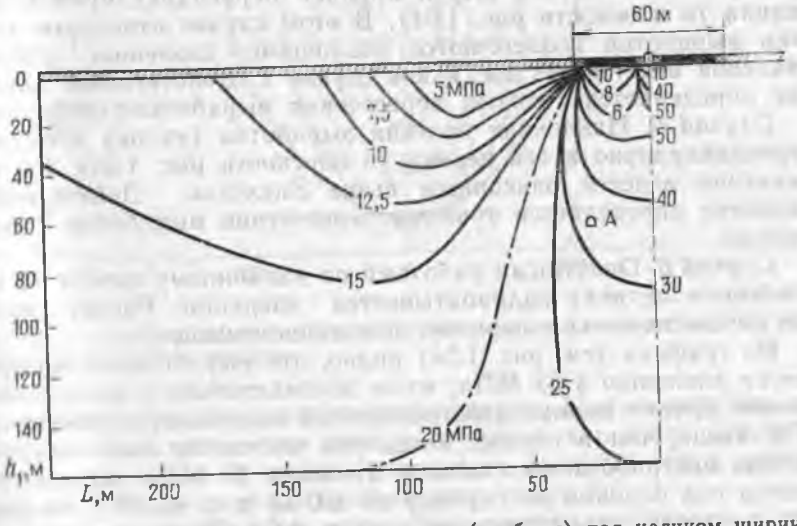


Рис. 1.54. Линии равного горного давления (изобары) под целиком шириной 60 м («несущая» часть ширины целика 50 м)

2 МПа. Кроме того, необходимо учесть, что проведение выработки повышает давление в примыкающей к ней 10-метровой полосе примерно на 30%. Следовательно, на рассматриваемую выработку будет действовать давление, равное $35 \cdot 1{,}3 = 45$ МПа. Это давление на $(45—29) : 29 = 55\%$ выше, чем давление, действующее на аналогичную выработку, пройденную в нормальных условиях, т. е. при отсутствии влияния целика или других краевых частей пласта. Однако повышенное давление при проведении выработки может быть заметно ощутимым только при слабых боковых породах.

Случай 2. Выработка *А* пройдена до момента оставления целика, и на нее, следовательно, действовало давление $22 \cdot 1{,}3 = 29$ МПа. Так как давление на выработку после завершения очистных работ, фронт которых в данном случае перпендикулярен к оси выработки, повысится до 45 МПа, прирост давления в $45—36 = 16$ МПа будет действовать на уже пройденную выработку. Он вызовет конвергенцию в выработке, размещенной даже в прочных породах, и притом большую, чем в случае 1.

Случай 3. Очистные работы с правой стороны целика еще не завершены, а с левой уже подошли к проектной границе. В таких условиях пройдена выработка *А*. Полное давление на выработку составит $(26 + 2) \cdot 1{,}3 = 36$ МПа. После окончания очистных работ с правой стороны целика давление возрастет до 45 МПа. Прирост давления, действующий на уже пройденную выработку, будет равным $45—36 = 9$ МПа. Величина конвергенции в выработке будет примерно вдвое меньшей, чем в случае 2.

Случай 4. Полевой штрек пройден перпендикулярно к оси целика (в плоскости рис. 1.54). В этом случае отдельные участки выработки подвергаются различному давлению. Расчет давления ведется так же, как в случае 1. Действующее давление определяется точками пересечения выработки с изобарами.

Случай 5. Наклонная полевая выработка (уклон) пройдена перпендикулярно к оси целика (в плоскости рис. 1.54). Расчет давления ведется описанным выше способом. Действующее давление определяется точками пересечения выработки с изобарами.

Случай 6. Очистными работами по наклонному пласту (с оставлением целика) надрабатывается квершлаг. Расчет давления осуществляется в порядке, изложенном выше.

Из графика (см. рис. 1.54) видно, что выработка *А* подвергается давлению в 33 МПа; из-за дополнительного воздействия правой кромки целика действующее на выработку давление на 27% выше, чем в случае, когда она находится под краевой частью неотработанного пласта. Изобара 25 МПа распространяется под целиком на глубину до 160 м, т. е. на 33% глубже, чем в случае, рассмотренном в разд. 1.6.4. В отличие от случая воздействия краевой части массива под целиком расстоя-

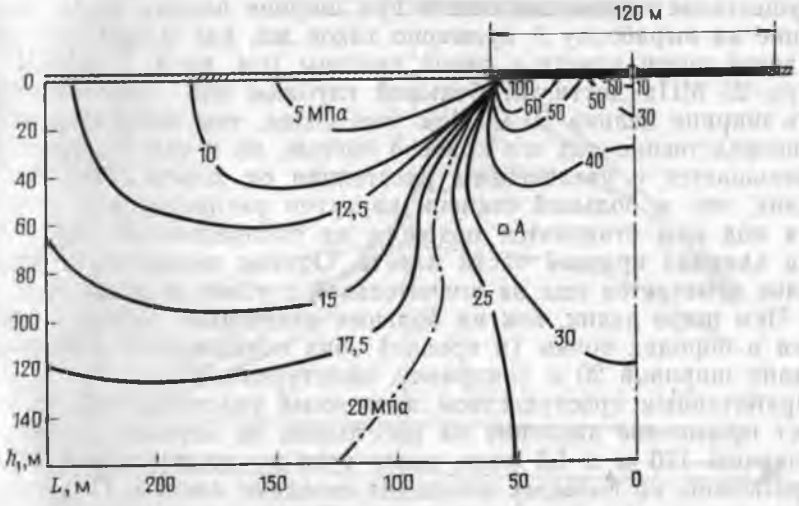


Рис. 1.55. Линии равного горного давления под целиком шириной 120 м («несущая» часть ширины целика 110 м)

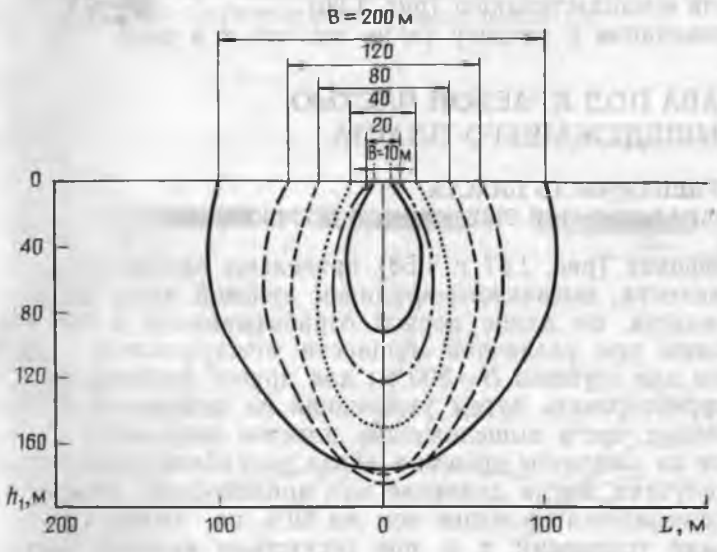


Рис. 1.56. Распространение зоны повышенного горного давления под целиками при различной их ширине

ние между изобарами значительно меньше. Под выработанным пространством они имеют несколько другой характер: давление по мере удаления от целика возрастает быстрее, чем в случае влияния с одной стороны краевой части пласта.

Распределение изобар под целиком шириной 120 м характеризуется графиком (рис. 1.55). Расчет давления на выработку

осуществляется так же, как и при ширине целика 60 м. Давление на выработку A примерно такое же, как и при влиянии краевой части пласта с одной стороны (см. разд. 1.6.4). Изобара 25 МПа достигает большей глубины под пластом, чем при ширине целика 60 м. Чем уже целик, тем выше давление непосредственно под его краевой частью, но и тем быстрее оно уменьшается с увеличением расстояния от пласта. Чем шире целик, тем в большей степени характер распределения давления под ним становится похожим на распределение давления при влиянии краевой части пласта. Однако повышенное давление отмечается еще на значительной глубине под целиком.

Чем шире целик, тем на большее расстояние распространяется в породах почвы (и кровли) зона повышенного давления. Целик шириной 20 м (например, оконтуренный с обеих сторон выработанным пространством выемочный участок-столб) вызывает повышение давления на расстоянии по нормали к напластованию 170 м в 1,5 раза, даже если в последующем были отработаны на больших площадях соседние пласты. Под узкими целиками (шириной, например, 20 м) зона повышенного давления (1,5 p_0) распространяется не более чем на 120 м по нормали к напластованию (рис. 1.56).

Примечания к разделу такие же, что и к разд. 1.6.4.

1.7. ЛАВА ПОД КРАЕВОЙ ЧАСТЬЮ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА

1.7.1. КРАЕВАЯ ЧАСТЬ ПЛАСТА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЫЕМОЧНЫМ ШТРЕКАМ [56]

На графиках (рис. 1.57 и 1.58) приведены кривые распределения давления, вызванного влиянием краевой части вышележащего пласта, по длине первой отрабатываемой в выемочном поле лавы при различной мощности междупластья. Они рассчитаны для глубины H=800 м; для другой глубины их следует скорректировать путем умножения на отношение H/800.

Краевые части вышележащих пластов оказывают заметное влияние на состояние кровли в лавах разрабатываемых пластов в тех случаях, когда давление на призабойное пространство лавы повышается не менее чем на 30% по сравнению с нормальными условиями, т. е. при отсутствии краевой части вышележащего пласта. Такое повышение давления наблюдается тогда, когда перпендикулярная к линии забоя краевая часть вышележащего пласта находится на расстоянии по нормали к напластованию не более чем в 60 м. Если лава приближается к краевой части вышележащего пласта, расположенной параллельно линии очистного забоя, со стороны выработанного пространства или находится под выступающей краевой частью пласта либо под целиком, повышенное давление на призабойное пространство может проявиться и при большем расстоя-

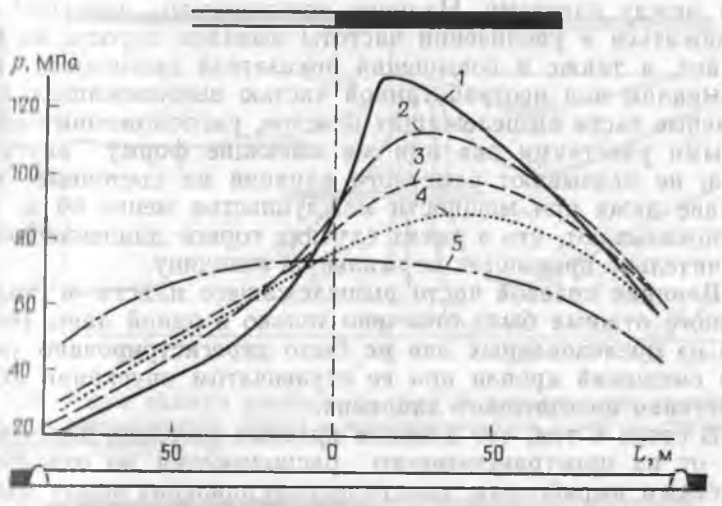


Рис. 1.57. График распределения горного давления по длине лавы, расположенной под краевой частью вышележащего пласта, на глубине 800 м при мощности междупластья 20 (*1*), 40 (*2*), 60 (*3*), 80 м (*4*) и при отсутствии вышележащего пласта (*5*)

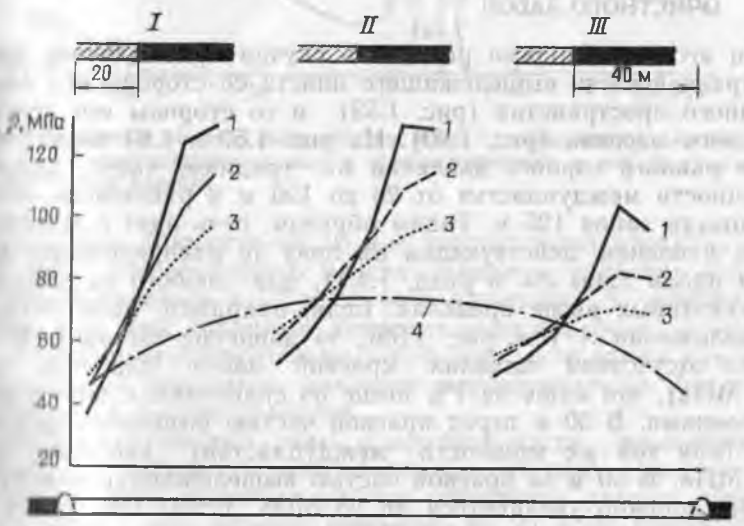


Рис. 1.58. График распределения горного давления при расположении краевой части вышележащего пласта под концами (*I*, *III*) и в середине (*II*) лавы на глубине 800 м:

1—*3* — при мощности междупластья соответственно 20, 40 и 60 м; *4* — при отсутствии вышележащего пласта

нии между пластами. Наличие повышенного давления может выражаться в увеличении частоты вывалов породы из кровли в лаве, а также в повышении показателя склонности кровли к вывалам под неотработанной частью вышележащего пласта. Краевые части вышележащих пластов, расположенные над концевыми участками лав или же имеющие форму внутреннего угла, не оказывают заметного влияния на состояние кровли в лаве даже при мощности междупластья менее 60 м. Расчеты показывают, что в таких случаях горное давление лишь незначительно превышает нормальную величину.

Влияние краевой части вышележащего пласта в виде усиленного отжима было отмечено только в одной лаве. Ни в одной из обследованных лав не было зарегистрировано увеличения смещений кровли при ее ступенчатом опускании под воздействием повышенного давления.

В связи с тем, что влияние краевых соседних пластов зависит от их пространственного расположения по отношению к очистным выработкам, распределение давления может быть установлено только при помощи специальных вычислительных программ. Но знания лишь величины горного давления недостаточно. Для учета возможного влияния очистных работ по соседним пластам на состояние кровли в лаве по разрабатываемому пласту необходимы шахтные наблюдения за реакцией пород кровли на повышенное горное давление.

1.7.2. КРАЕВАЯ ЧАСТЬ ПЛАСТА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

При этом необходимо различать случаи приближения лавы *А* к краевой части вышележащего пласта со стороны его выработанного пространства (рис. 1.59) и со стороны его неотработанного массива (рис. 1.60). На рис. 1.59 и 1.60 показаны линии равного горного давления па среднюю часть лавы при мощности междупластья от 20 до 120 м и расстоянии впереди и позади забоя 125 м. Таким образом, речь идет о максимальном давлении, действующем на лаву (о распределении давления вдоль лавы см. в разд. 1.4.1), для любого ее положения в указанных выше пределах. Если, например, лава находится в положении *А* (см. рис. 1.59), то давление составит 90 МПа (при отсутствии влияния краевой части давление равно 84 МПа), что лишь на 7% выше по сравнению с нормальными условиями. В 50 м перед краевой частью вышележащего пласта (при той же мощности междупластья) давление равно 53 МПа. В 50 м за краевой частью вышележащего пласта давление должно увеличиться до 95 МПа. Если бы расстояние между пластами составляло 100 м, то давление в этих точках соответствовало бы 60, 82 и 86 МПа.

Из графика (см. рис. 1.59) видно, что давление перед лавой не превышает нормального значения до тех пор, пока лава не

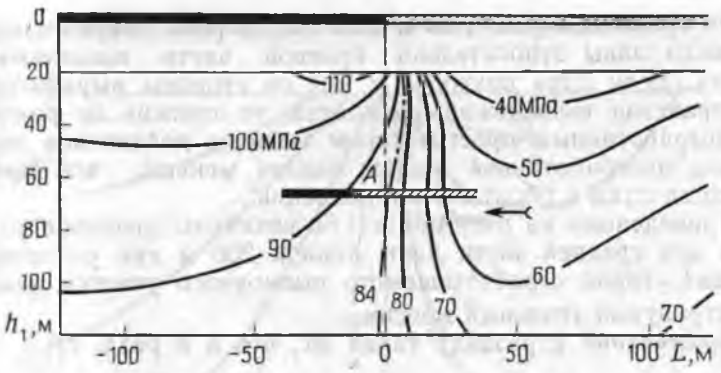


Рис. 1.59. Линии равного давления на лаву *A*, параллельную кромке краевой части вышележащего пласта и приближающуюся к ней со стороны выработанного пространства

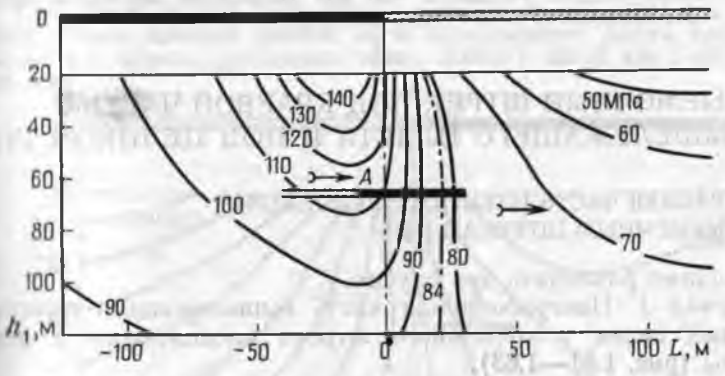


Рис. 1.60. Линии равного давления на лаву *A*, параллельную кромке краевой части вышележащего пласта и приближающуюся к ней со стороны неотработанного массива

приблизится примерно на 10 м к вертикальной проекции краевой части вышележащего пласта. Минимум давления находится приблизительно в 50 м от этой проекции, а максимум — в 100 м за ней. Минимум давления выражен более отчетливо, но захватывает относительно узкую зону, в то время как менее выраженный максимум давления характеризуется более широкой зоной распространения.

При приближении лавы к краевой части вышележащего пласта со стороны его неотработанного массива (см. рис. 1.60) давление перед очистным забоем становится равным нормальному, когда лава отойдет примерно на 25 м за вертикальную проекцию краевой части вышележащего пласта. В положении *A* давление на забой составляет 112 МПа, что на 25% больше давления, характерного для нормальных условий (т. е. без влияния краевой части вышележащего пласта).

Из сравнения рис. 1.59 и 1.60 видна роль направления подвигания лавы относительно краевой части вышележащего пласта. Если лава подходит к ней со стороны выработанного пространства вышележащего пласта, то степень ее разгрузки под выработанным пространством выше, а добавочная нагрузка под неотработанной частью пласта меньше, чем при подвигании лавы в обратном направлении.

Приведенные на рис. 1.59 и 1.60 величины давления рассчитаны для средней части лавы длиной 200 м при условии, что с обеих сторон отрабатываемого выемочного участка находится нетронутый угольный массив.

Примечания к разделу такие же, что и к разд. 1.6.5.

Пояснения. Приведенные на рис. 1.59 и 1.60 кривые могут быть использованы для установления величины горного давления при надработке краевых частей пластов или подработке исследуемых очистных и подготовительных выработок, поскольку картина распределения давления симметрична. Однако следует учитывать, что при подработке выработок конвергенция в них вызывается также оседанием породного массива.

1.8. ВЫЕМОЧНЫЙ ШТРЕК ПОД КРАЕВОЙ ЧАСТЬЮ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА И ПОД ЦЕЛИКОМ УГЛЯ

1.8.1. КРАЕВАЯ ЧАСТЬ ПЛАСТА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЫЕМОЧНЫМ ШТРЕКАМ [76]

Необходимо различать два случая.

Случай 1. Неотработанная часть вышележащего пласта и угольный целик у выемочного штрека расположены с одной стороны (рис. 1.61—1.63).

Случай 2. Неотработанная часть вышележащего пласта и угольный целик у выемочного штрека расположены с разных сторон (рис. 1.64—1.66).

На рис. 1.61 приведены линии равного давления на забой машинной ниши (начальное давление для выемочного штрека, проводимого общим забоем с лавой). Нормальное давление (при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта и очистных работ на других участках или пластах) составляет для рассматриваемых здесь расчетных параметров 51 МПа. Это означает, что все выемочные штреки, расположенные правее изобары 50 МПа, пришлось бы проводить в условиях повышенного давления. Начальное давление на штрек *А*, проводимый общим забоем с лавой, на (66—51) : 51 = 29% больше нормального.

На рис. 1.62 показаны линии равного давления на участок выемочного штрека в 300 м за лавой, отрабатывающей первый в выемочном поле участок. Нормальное давление составляет в данном случае 104 МПа, давление на штрек *А* было бы на (134—104) : 104 = 29% выше нормального.

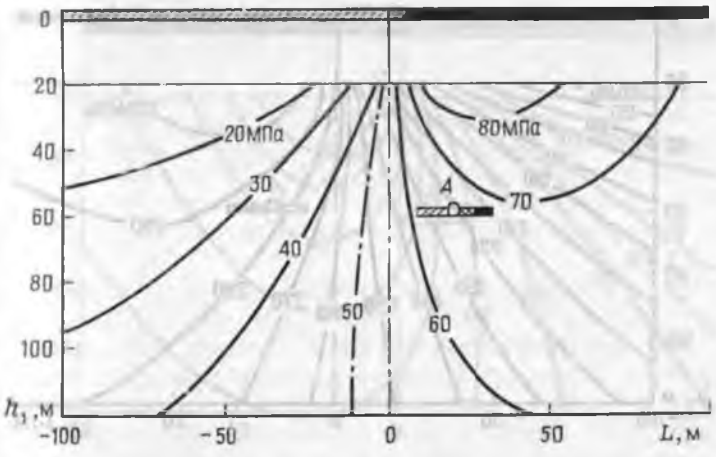


Рис. 1.61. Линии равного давления на забой машинной ниши под параллельной штреку кромкой краевой части вышележащего пласта (начальное давление для штрека, проводимого общим забоем с лавой или с отставанием от нее)

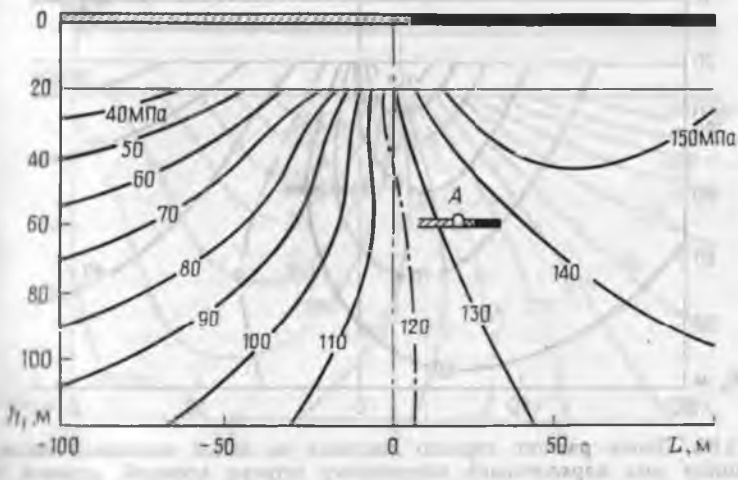


Рис. 1.62. Линии равного горного давления на участок выемочного штрека, параллельного кромке краевой части вышележащего пласта на расстоянии 400 м позади первой разрабатываемой в выемочном поле лавы

Прирост давления из штрек, пройденный общим забоем с лавой, был бы на [(134—66) — (104—51)] : (104—51) = 28% выше нормального.

На рис. 1.63 показаны линии равного давления на участок выемочного штрека, который расположен непосредственно перед второй лавой, отстающей от первой на 400 м. Нормальное давление в таких условиях (учитывается влияние выступающего угла разрабатываемого пласта) составляет 261 МПа. Для

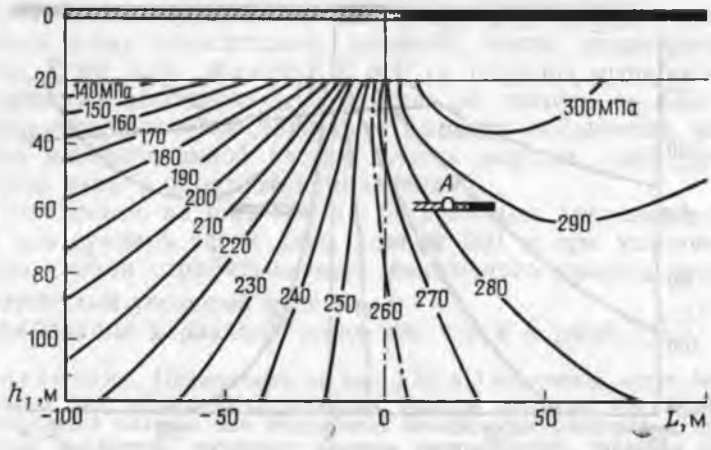


Рис. 1.63. Линии равного горного давления на участке выемочного штрека, параллельного кромке краевой части вышележащего пласта, у второй лавы, отстоящей от первой на 400 м

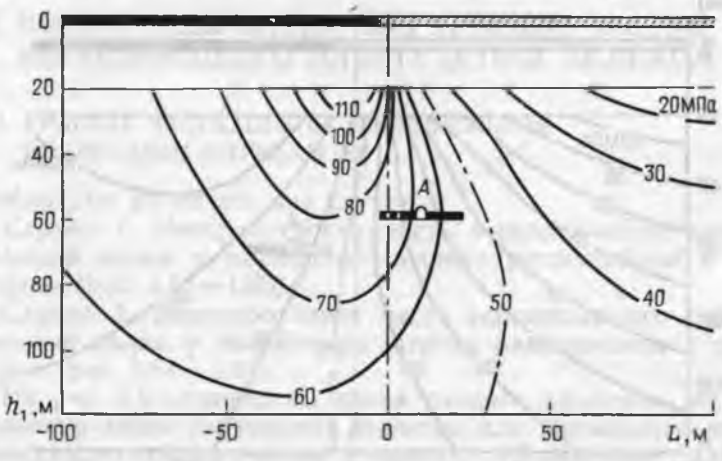


Рис. 1.64. Линии равного горного давления на забой машинной ниши, находящийся под параллельной выемочному штреку кромкой краевой части вышележащего пласта (начальное давление для штрека, проводимого общим забоем или с отставанием от лавы)

рассматриваемого случая давление на штрек A будет на (282—261) : 261 = 8% выше нормального.

Прирост давления на пройденный общим забоем с лавой штрек составил бы [(282—66) — (261—51)] : (261—51) = 3%, т. е. был бы ненамного больше, чем в нормальных условиях (без учета влияния краевой части вышележащего пласта). Таким образом, при крепких боковых породах выемочный штрек перед подходом второй лавы вряд ли подвергнется повышенной конвергенции.

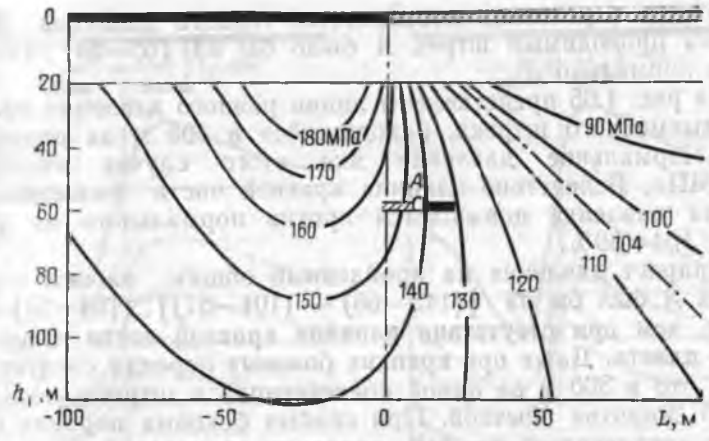


Рис. 1.65. Линии равного горного давления на выемочный штрек, находящийся под параллельной ему кромкой краевой части вышележащего пласта, в 300 м позади лавы

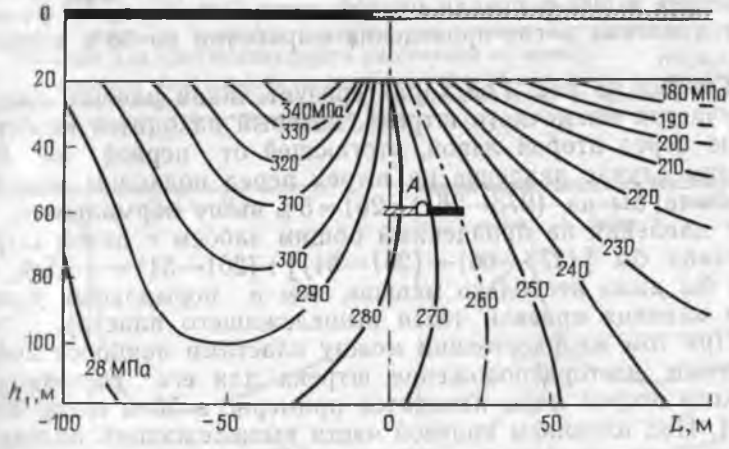


Рис. 1.66. Линии равного горного давления на участок штрека, параллельного кромке краевой части вышележащего пласта, у второй лавы, отстоящей от первой на 400 м

Для штреков, пройденных до начала очистных работ, величину прироста давления можно определить по данным, приведенным в разд. 1.6.4.

На рис. 1.64 показаны линии равного давления на забой машинной ниши (начальное давление для штрека, проводимого общим забоем или с отставанием от лавы). Нормальное давление составило бы в этих условиях 51 МПа. Штреки, находящиеся слева от изобары 50 МПа, пришлось бы, таким образом,

проходить в условиях повышенного горного давления. Давление на проводимый штрек A было бы на (65—51) : 51 = 29% выше нормального.

На рис. 1.65 представлены линии равного давления на участок выемочного штрека, находящийся в 300 м за первой лавой. Нормальное давление для этого случая составляет 104 МПа. Вследствие влияния краевой части вышележащего пласта давление повышается против нормального на (145—104) : 104 = 39%.

Прирост давления на пройденный общим забоем с лавой штрек A был бы на [(145—66) — (104—51)] : (104—51) = 49% выше, чем при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта. Даже при крепких боковых породах следует ожидать, что в 300 м за лавой конвергенция в штреке увеличится на 45 % против обычной. При слабых боковых породах вследствие увеличенного на 39% давления от краевой части вышележащего пласта конвергенция была бы еще больше.

При том же расстоянии между пластами в 60 м наиболее неблагоприятным месторасположением штрека является точка, находящаяся в 30 м влево от точки A. В этом случае давление на штрек в 300 м позади первой лавы было бы на 57%, а прирост давления после проведения выработки на 58% выше нормального.

График на рис. 1.66 характеризует линии равного давления на участок выемочного штрека, который находится непосредственно перед второй лавой, отстающей от первой на 400 м. В этом случае давление на штрек перед подходом второй лавы было бы на (273—261) : 261 = 5% выше нормального. Прирост давления на пройденный общим забоем с лавой штрек A составил бы [(273—66) — (261—51)] : (261—51) = —1,5%, т. е. был бы даже несколько меньше, чем в нормальных условиях (без влияния краевой части вышележащего пласта).

При том же расстоянии между пластами наиболее неблагоприятное месторасположение штрека для его состояния при подходе второй лавы находится примерно в 50 м влево от точки A. Под влиянием краевой части вышележащего пласта давление в этом случае было бы на 19%, а прирост давления на 11% больше нормального. Соответственно большей была бы и конвергенция в штреке.

На основании рассмотренных случаев можно сделать следующие выводы.

1. В случае 1 возможные максимальные давления на проходящий параллельно краевой части вышележащего пласта выемочный штрек должны быть меньше, чем в случае 2.

2. В случае 1 выемочные штреки можно располагать таким образом, чтобы бок штрека со стороны угольного массива находился на нормальной к напластованию проекции краевой части вышележащего пласта, не опасаясь заметного повышения давления. Но все же в подобных условиях лучше размещать

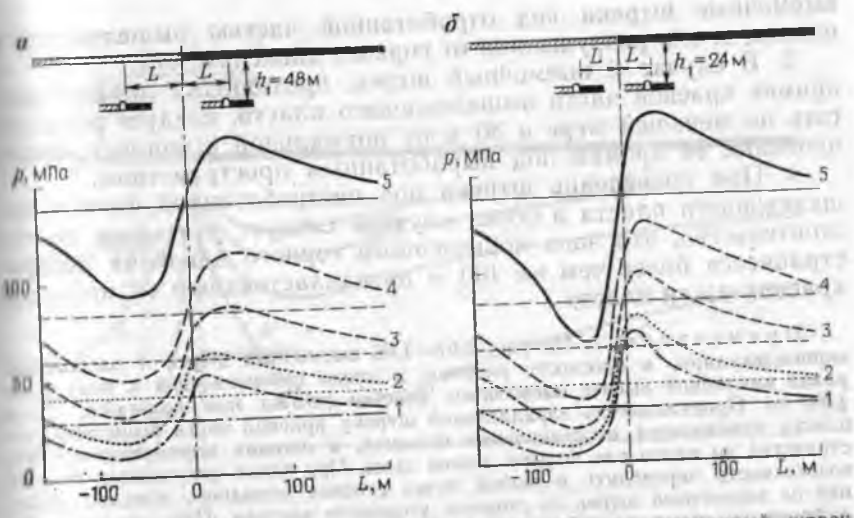


Рис. 1.67. Графики распределения горного давления на выемочный штрек стороны угольного массива на различном расстоянии от проекции кромки краевой части для случая расположения выработанных пространств по вышележащему и разрабатываемому пластам по одну сторону от краевой части (горизонтальными прямыми показано нормальное, без влияния краевой части, давление для соответствующего расстояния от лавы):

а и *б* — при мощности междупластья соответственно 48 и 24 м; *1*, *2* — на расстоянии впереди лавы соответственно 100 и 30 м; *3* — на сопряжении лавы со штреком; *4*, *5* — на расстоянии позади лавы соответственно 30 и 300 м

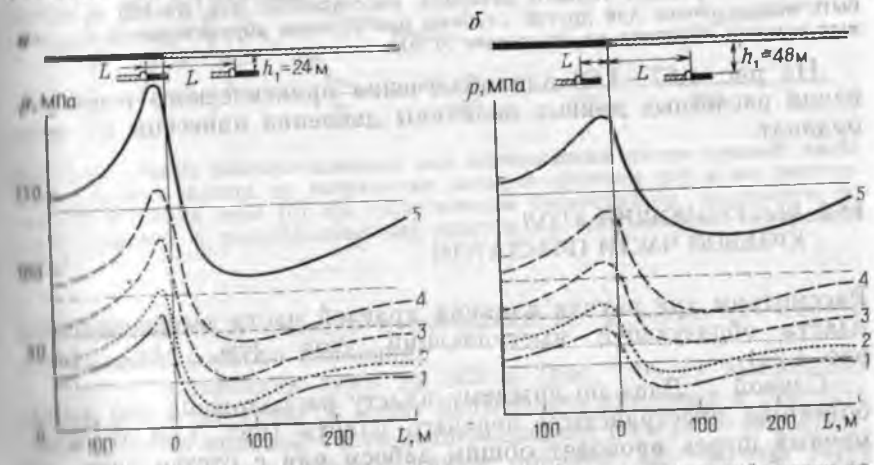


Рис. 1.68. Графики распределения горного давления на выемочный штрек со стороны угольного массива на различном расстоянии от проекции кромки краевой части для случая расположения выработанных пространств по вышележащему и разрабатываемому пластам по разные стороны от краевой части (горизонтальными прямыми показано нормальное, без влияния краевой части, давление для соответствующего расстояния от лавы):

а и *б* — при мощности междупластья соответственно 24 и 48 м; *1*, *2* — на расстоянии впереди лавы соответственно 100 и 30 м; *3* — на сопряжении лавы со штреком; *4*, *5* — на расстоянии позади лавы соответственно на 30 и 300 м

выемочные штреки под отработанной частью вышележащего пласта, т. е. в разрушенной от горного давления зоне.

3. В случае 2 выемочный штрек, проходящий параллельно кромке краевой части вышележащего пласта, следует располагать по меньшей мере в 30 м от нормальной к напластованию проекции ее кромки под выработанным пространством.

4. При проведении штрека под неотработанной частью вышележащего пласта в обоих случаях следует учитывать то обстоятельство, что зона повышенного горного давления распространяется более чем на 100 м по напластованию от проекции краевой части пласта.

Примечания: 1. На рис. 1.61—1.66 выемочный штрек *А* расположен перпендикулярно к плоскости рисунка, а длина примыкающей к нему лавы равна наклонной высоте выемочного участка (этажа или подэтажа, яруса (200 м). Протяженность параллельной штреку краевой части вышележащего пласта принимается неограниченно большой, а ширина выработанного пространства во много раз больше длины лавы. При таких допущениях имеется возможность определить в любой точке сечения породного массива давление на выемочный штрек со стороны угольного массива. При другом расположении очистных выработок или в условиях влияния очистных работ по соседним пластам горное давление будет иметь другие значения, для установления которых требуются особые расчеты.

2. Приведенные на рис. 1.61—1.66 значения давления справедливы также и для случаев проведения выемочных штреков над краевой частью нижележащего пласта. При этом полученные по изобарам величины давления следует уменьшать в соответствии с весом столба пород между пластами. При надработке в зонах пониженного давления в штреке может наблюдаться конвергенция, вызванная оседанием породного массива.

3. Линии равного горного давления, рассчитанные для $H=800$ м, могут быть использованы для другой глубины при условии корректировки полученных величин давления на отношение $H/800$.

На рис. 1.67—1.68 для облегчения практического использования расчетных данных величины давления нанесены на осях ординат.

1.8.2. ВЫСТУПАЮЩИЙ УГОЛ КРАЕВОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА [116]

Рассмотрим три случая влияния краевой части вышележащего пласта, образующей выступающий угол (см. разд. 1.4.1, рис. 1.21).

Случай 1. Лава по нижнему пласту расположена под выработанным пространством верхнего пласта (рис. 1.69, *а*). Выемочный штрек проводят общим забоем или с отставанием от лавы. Требуется определить величину горного давления, действующего на забой штрека. В точке *А* это давление составляет 60 МПа (для штрека, проводимого с опережением лавы не менее чем на 10 м, полученное по изобаре значение давления требуется увеличить в 1,3 раза). При отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта давление на забой штрека составило бы 50 МПа. Любое смещение точки *А* вправо от

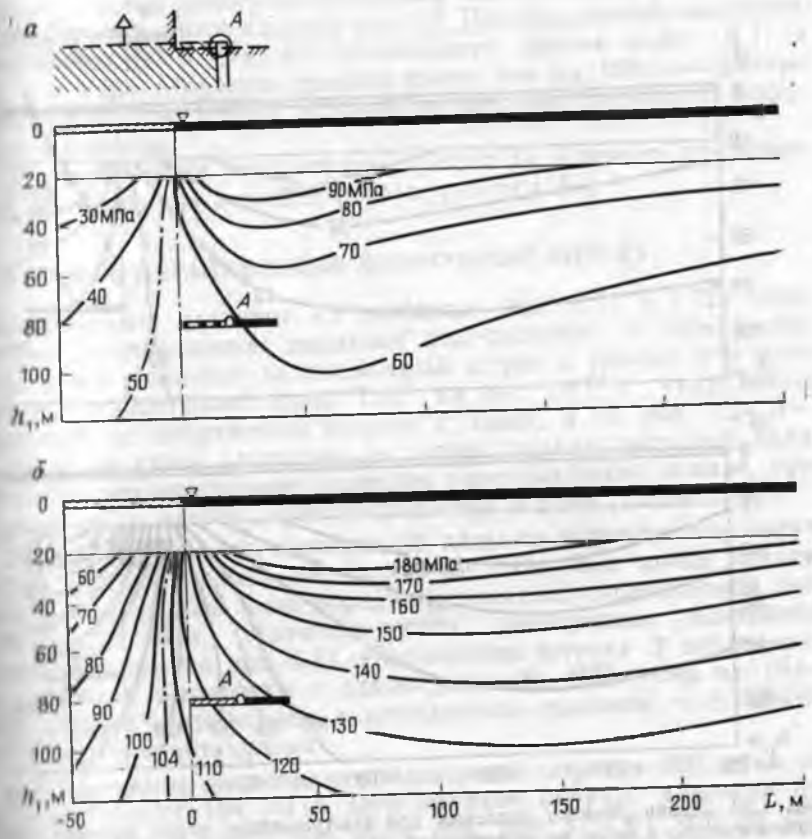


Рис. 1.69. Линии равного давления под выступающим углом краевой части вышележащего пласта на сопряжении лавы со штреком (*а*) и на расстоянии 300 м позади лавы (*б*) при расположении выработанных пространств по вышележащему и разрабатываемому пластам по одну сторону от краевой части

изобары 50 МПа связано с повышением, а влево от нее — с понижением горного давления.

После подвигания лавы на 300 м (рис. 1.69, *б*) выемочный штрек в той же точке *А* будет испытывать давление в 125 МПа (без влияния краевой части вышележащего пласта — 104 МПа). Прирост давления составит таким образом 125—60=65 МПа (при отсутствии влияния краевой части пласта 104—50=54 МПа). Следовательно, наличие краевой части вышележащего пласта обусловливает повышение прироста давления на 20%.

Случай 2. Лава по нижнему пласту расположена под неотработанной частью верхнего пласта (рис. 1.70). В положении, показанном на рис. 1.70, *а*, давление в точке *А* составит

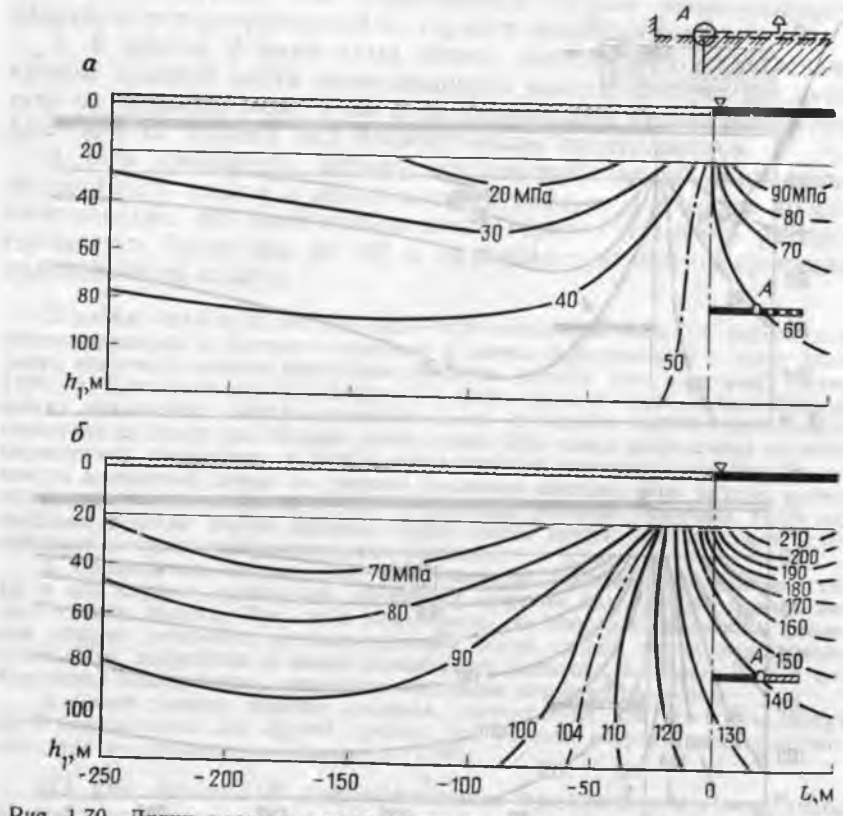


Рис. 1.70. Линии равного давления под выступающим углом краевой части вышележащего пласта на сопряжении лавы со штреком (*а*) и на расстоянии 300 м позади лавы (*б*) при расположении выработанных пространств по разные стороны от краевой части

59 МПа, а на расстоянии 300 м позади лавы — 140 МПа (рис. 1.70, *б*). Таким образом, давление возрастает на 140—59=81 МПа. Это на 25% больше, чем в первом случае, и на 50% больше, чем при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта.

Случай 3. Очистные работы по нижнему пласту остановлены. На верхнем пласте слева угольный массив отработан, а справа еще ведется очистная выемка угля. Требуется определить прирост давления на выемочный штрек по нижнему пласту. Давление на него перед отработкой правой части верхнего пласта можно установить по графикам (см. разд. 1.8.1; рис. 1.61 и 1.62). После этого прирост определится разницей между полученными величинами давления и его значениями, приведенными на графиках (см. рис. 1.69 и 1.70).

Приводимые значения давления справедливы для длины лавы 200 м при условии, что отрабатывается только один вы-

мочный участок непосредственно под выступающим углом краевой части по вышележащему пласту. При расстоянии до такого угла более 100 м следует использовать данные разд. 1.8.1, а при удалении в правую сторону более чем на 100 м — данные разд. 1.8.5. Для других условий необходимо проводить специальные расчеты.

К аналогичным результатам пришел М. Клекнер, проводивший исследования методом фотоупругости [116].

1.8.3. ЦЕЛИК, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ВЫЕМОЧНОМУ ШТРЕКУ

Линии равных давлений на графиках (рис. 1.71 и 1.72) показывают распределение давления под целиком, по ним можно определить давление на выемочный штрек в разных его положениях относительно лавы. Так, на рис. 1,71, *а* указывается давление на сопряжении штрека с лавой, а на рис. 1.71, *б* — в 300 м за лавой (давление на штрек, находящийся под целиком, без дополнительного влияния очистных работ в лаве, примыкающей к штреку, рассматривается в разд. 1.6.5).

Давление в месте сопряжения лавы со штреком при отсутствии влияния целика составляет 50 МПа. Все точки, находящиеся в пределах зоны породного массива, ограниченной изобарами 50 МПа, характеризуются повышенным давлением. В показанном на рис. 1.71, *а* положении штрека *А* давление на сопряжении выработки с лавой равно 84 МПа; оно на (84—50) : 50=68% выше, чем в нормальных условиях, т. е. при отсутствии влияния целика.

Нормальное давление на выемочный штрек в 300 м за лавой составляет 104 МПа. При влиянии целика давление под ним в точке *А* равно 154 МПа (см. рис. 1.71, *б*), что на 48% больше нормального случая.

Прирост давления, определяющий конвергенцию штрека, можно установить как разность давлений, приведенных на графиках (см. рис. 1.71, *а* и *б*). Для точки *А* он составляет 154—84=70 МПа. При отсутствии влияния целика он был бы равен 104—50=54 МПа, т. е. примерно на 30% меньше.

Начальное давление на штрек, проводимый со значительным опережением лавы, составляет согласно разд. 1.6.6, случай *1*, для точки *А* около 45 МПа. Прирост давления по мере приближения лавы составит в указанном случае 84—45= =39 МПа. Это означает, что в таких штреках еще до подхода лавы прирост давления примерно соответствует половине общего прироста давления от забоя участка, находящегося в 300 м за лавой, при условии отсутствия влияния целика.

С отставанием на 350 м от первой лавы с другой стороны штрека движется вторая лава, образующая выступающий угол краевой части пласта (см. разд. 1.4.1; рис. 1.21). В точке *А*,

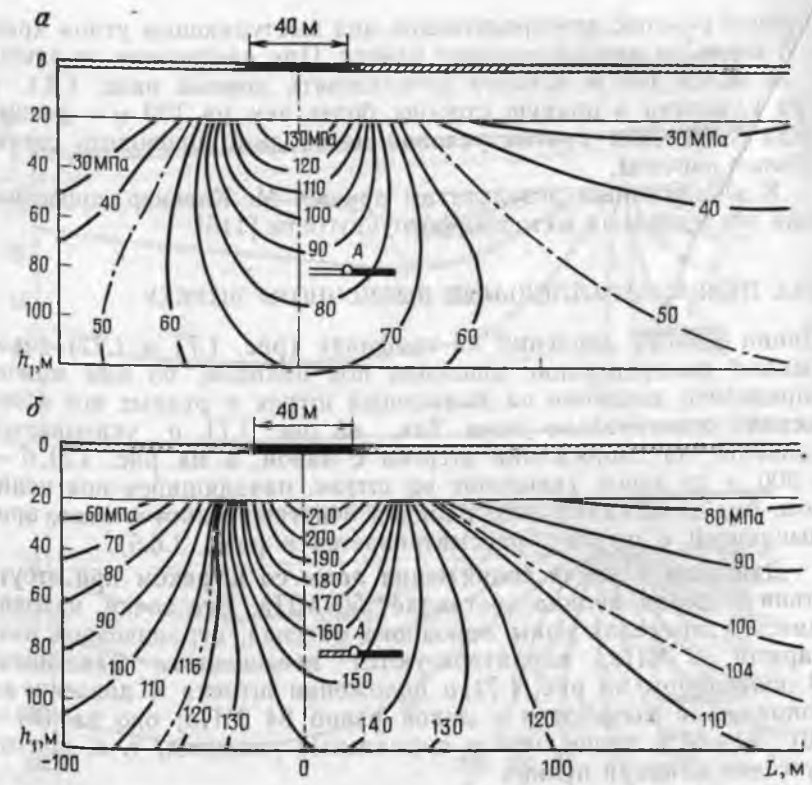


Рис. 1.71. Линии равного давления под целиком по вышележащему пласту на выемочный штрек при длине лазы 200 м:

а — на сопряжении лавы со штреком (начальное давление для выработок, проводимых общим забоем или с отставанием от лавы); *б* — в 300 м позади лавы

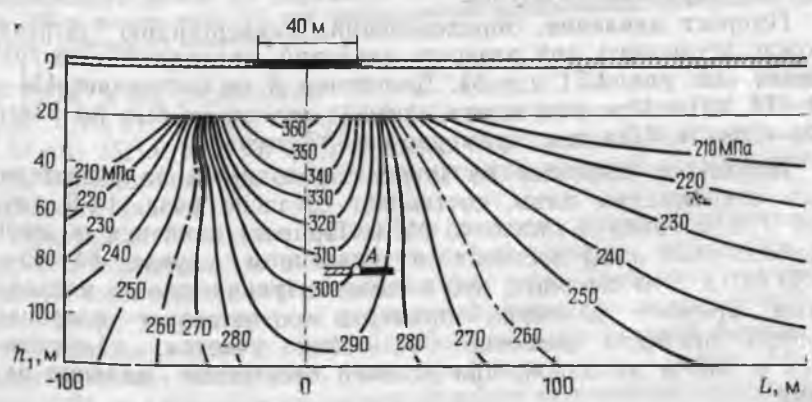


Рис. 1.72. Линии равного горного давления под целиком по вышележащему пласту на выемочный штрек при подходе второй лавы (на расстоянии 300 м от первой)

находящейся непосредственно перед второй лавой, штрек испытывает давление 300 МПа (рис. 1.72). На сопряжении с первой лавой давление на штрек было равно 84 МПа (см. рис. 1.71). Следовательно, прирост давления до подхода второй лавы составляет 300—84=216 МПа.

При отсутствии влияния целика давление возросло бы с 50 до 260 МПа. Таким образом, хотя влияние целика и приводит к увеличению давления (300 против 260 МПа), но его прирост в течение срока службы штрека остается почти таким же. Подобные количественные соотношения можно считать справедливыми для всего поля изобар, показанных на рис. 1.72.

Целики, оставленные на верхних пластах, оказывают большое влияние на выемочные штреки, проводимые с опережением лавы, и способствуют значительному повышению давления на сопряжениях таких штреков с очистными забоями. Однако при дальнейшей эксплуатации таких штреков вплоть до подхода второй лавы, прирост давления ненамного выше, чем в нормальных условиях, т. е. без влияния целиков.

Примечания к данному разделу такие же, что и для разд. 1.6.5.

1.8.4. КРАЕВАЯ ЧАСТЬ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Необходимо различать следующие случаи:

случай 1 — лава приближается к краевой части вышележащего пласта со стороны его выработанного пространства (рис. 1.73, 1.74 и 1.77);

случай 2 — лава приближается к краевой части вышележащего пласта со стороны неотработанного массива (рис. 1.75—1.77);

На графике (рис. 1.73) показаны линии равного горного давления на забой машинной ниши (начальное давление при проведении штрека общим забоем с лавой или с опережением ее не более чем на 5 м). При отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта давление в этом месте составляло бы при прочих равных условиях около 50 МПа. Выемочный штрек, расположенный слева от изобары 50 МПа, находится в зоне повышенного давления, величина которого в точке *А* при расстоянии между пластами 60 м достигает 65 МПа, что на 65—50=15 МПа, или 30%, выше нормального случая. При мощности междупластья 100 м максимальное давление на забой штрека на 15% выше, а минимальное — на 25% ниже, чем в случае отсутствия влияния краевой части вышележащего пласта.

На графике (рис. 1.74) показаны линии равного горного давления на краевую часть разрабатываемого пласта в 10 м за очистным забоем (начальное давление для штрека, проводимого с отставанием от лавы на 10 м). Давление в нормаль-

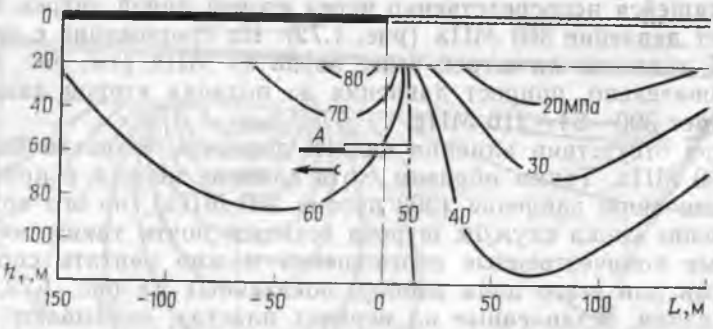


Рис. 1.73. Линии равного горного давления на забой машинной ниши под параллельной лаве краевой частью вышележащего пласта (начальное давление на штрек, проводимый общим забоем с лавой или с опережением ее не более чем на 5 м) при подвигании очистного забоя со стороны выработанного пространства

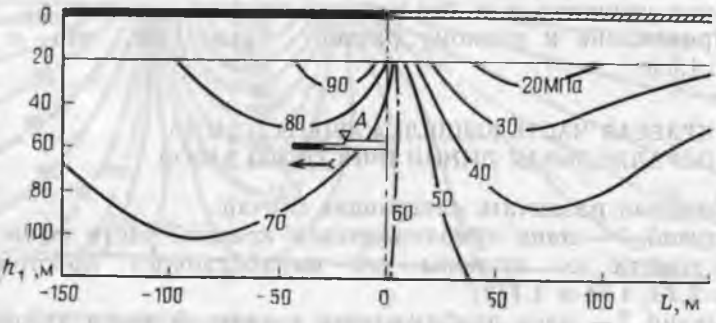


Рис. 1.74. Линии равного горного давления на краевую часть разрабатываемого пласта в 10 м за лавой, параллельной краевой части вышележащего пласта (начальное давление для штрека, проводимого с отставанием от лавы), при подвигании очистного забоя со стороны выработанного пространства

ных условиях составляло бы в данном случае около 60 МПа. Под влиянием краевой части вышележащего пласта давление в забое штрека *А* увеличивается до 75 МПа, т. е. повышается на 75—60 = 15 МПа (25%) по сравнению с нормальными условиями.

Прирост давления на штрек, проводимый общим забоем с лавой, на 10-метровом участке за лавой равен 75—65 = 10 МПа и является, таким образом, точно таким же, как при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта.

При расстоянии между пластами 100 м максимальное давление в 10 м за лавой на 17% выше, а минимальное (в разгруженной зоне) на 30% ниже, чем в условиях отсутствия краевой части вышележащего пласта.

На графике (рис. 1.75) показаны линии равного горного давления на забой машинной ниши (начальное давление для

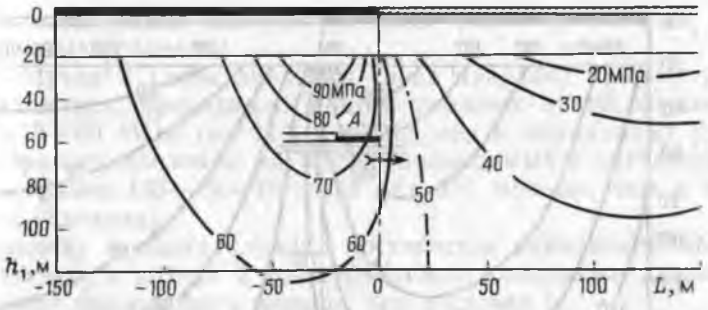


Рис. 1.75. Линии равного горного давления на забой машинной ниши под параллельной лаве краевой частью вышележащего пласта (начальное давление для штрека, проводимого общим забоем с лавой или с опережением ее не более чем на 5 м) при подвигании очистного забоя в сторону выработанного пространства

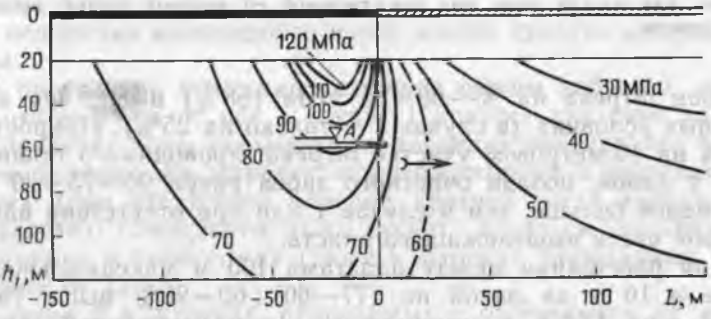


Рис. 1.76. Линии равного горного давления на краезую часть разрабатываемого пласта в 10 м за лавой, параллельной краевой части вышележащего пласта (начальное давление для штрека, проводимого с отставанием от лавы), при подвигании очистного забоя в сторону выработанного пространства

штрека, проводимого общим забоем с лавой или с опережением ее не более чем на 5 м). Слева от изобары 50 МПа забой штрека будет находиться в зоне повышенного давления. В точке *А* оно равно 75 МПа, что на 75—50=25 МПа (50%) выше нормального (при подвигании лавы в противоположном направлении — только на 30%).

При расстоянии между пластами 100 м максимальное давление на забой штрека под краевой частью вышележащего пласта на 30% выше (в случае 1 — на 15%), а минимальное на 20% ниже (в случае 1 — на 25%), чем в нормальных условиях.

На графике (рис. 1.76) показаны линии равного горного давления на краевую часть разрабатываемого пласта в 10 м за лавой (начальное давление для штрека, проводимого с отставанием на 10 м от лавы). Слева от изобары 60 МПа штрек проводился бы при повышенном давлении. В точке *А* давление

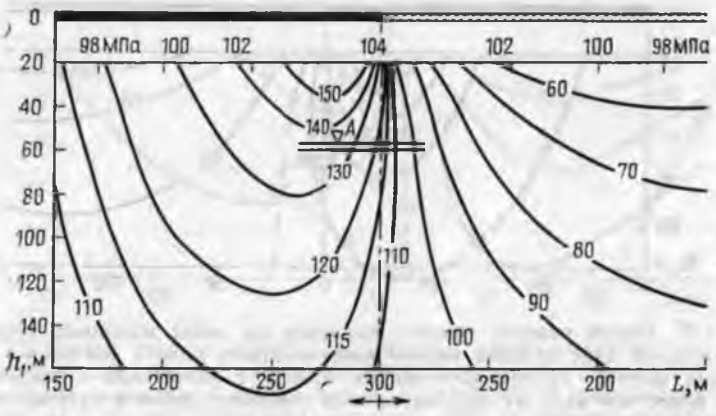


Рис. 1.77. Линии равного горного давления на выемочный штрек в 300 м впереди или позади лавы под параллельной ей краевой частью вышележащего пласта

у забоя штрека на 95—60=35 МПа (58%) выше, чем в нормальных условиях (в случае 1 — только на 25%). Прирост давления на 10-метровом участке штрека, проводимого общим забоем с лавой, позади очистного забоя равен 95—75=20 МПа, т. е. вдвое больше, чем в случае 1 или при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта.

При расстоянии между пластами 100 м максимальное давление в 10 м за лавой на (77—60) : 60=28% выше (в случае 1 — на 17%), а минимальное (в разгруженной зоне) на 22% ниже (в случае 1 — на 30%), чем при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта.

На рис. 1.77 показаны линии равного горного давления, которое действует на выемочный штрек, находящийся под параллельной лаве краевой частью вышележащего пласта, при условии, что лава располагается по правую или левую сторону в 300 м от краевой части. Цифры над ординатой 20 м соответствуют нормальному давлению над таким штреком при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта. Изобары справедливы как для случая 1, так и для случая 2. В точке *A* давление на штрек со стороны угольного массива равно 135 МПа, оно на 135—104=31 МПа (30%) выше нормального.

Прирост давления на штрек при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта составляет 104—50=54 МПа для штрека, проводимого общим забоем с лавой, и 104—60= =44 МПа для штрека, проводимого с отставанием от лавы.

Для случая 1 (лава движется справа налево) прирост давления на штрек, проводимый общим забоем с лавой, составляет 135—65=70 МПа (на 30% больше, чем в нормальных условиях); прирост давления на штрек, проводимый с отстава-

нием от лавы, равен 135—75=60 МПа (на 36% больше, чем в нормальных условиях).

Для случая 2 (лава движется слева направо) прирост давления на штрек, проводимый общим забоем с лавой, составляет 135—75=60 МПа (на 11% больше, чем в нормальных условиях); прирост давления на штрек, проводимый с отставанием от лавы, равен 135—95=40 МПа (на 9% меньше, чем в нормальных условиях).

Поскольку в обоих случаях достигается одинаковое конечное давление, в случае 2 из-за большего начального давления его прирост должен быть меньше, чем в случае 1.

При мощности междупластья 100 м наибольшее давление на штрек со стороны угольного массива в 300 м за лавой при влиянии краевой части вышележащего пласта составляет 135 МПа, а при расстоянии между пластами 150 м — 117 МПа, т. е. в первом случае на 32%, а во втором на 15% больше нормального.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

при проведении выемочных штреков общим забоем с лавой или с отставанием от нее в случае 1 прирост давления за лавой в пределах зоны повышенного давления значительно больше, чем в таких же штреках, поддерживаемых в нормальных условиях (при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта). Следствием этого может являться повышенная конвергенция в выработках (даже в штреках, проводимых с отставанием от лавы);

в случае 2 в штреках, проводимых с отставанием от лавы, прирост давления в пределах зоны повышенного давления должен быть даже ниже, чем в штреках, поддерживаемых в нормальных условиях (при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта). Следовательно, в выработках, расположенных в крепких вмещающих породах, несмотря на повышенное давление можно не опасаться значительной конвергенции. При слабых боковых породах из-за высокого давления конвергенция может быть довольно большой;

в штреках, проводимых с опережением лавы (которые здесь специально не рассматривались), прирост давления на участке перед лавой в случае 1 лишь ненамного больше, а в случае 2 намного больше нормального.

1.8.5. ЦЕЛИК, ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ЛАВЕ

Необходимо различать следующие случаи:

случай 1 — штрек проводят с отставанием от лавы (рис. 1.78 и 1.79);

случай 2 — штрек проводят с опережением лавы на 30 м (рис. 1.80 и 1.81).

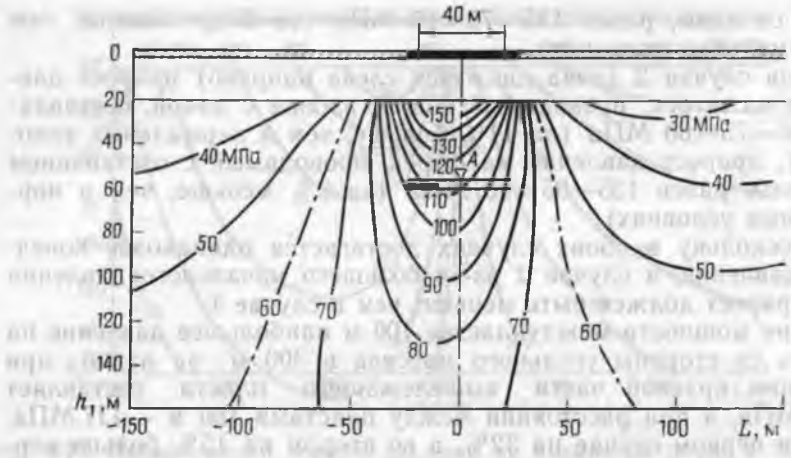


Рис. 1.78. Линии равного горного давления на краевую часть разрабатываемого пласта в 10 м за лавой под параллельным очистному забою целиком вышележащего пласта

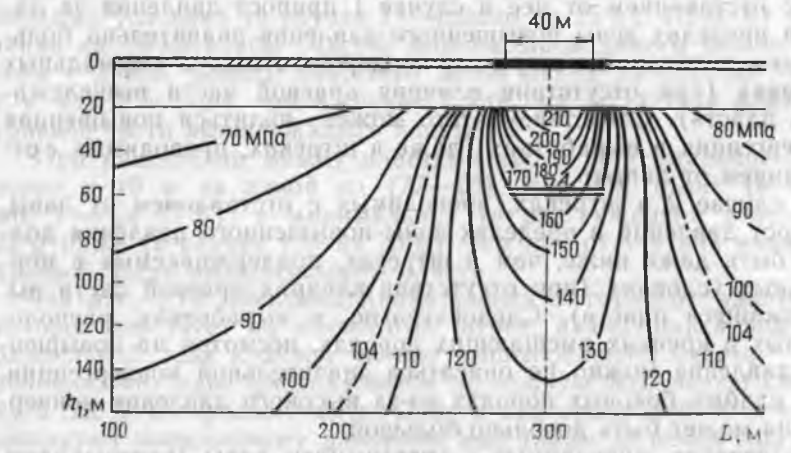


Рис. 1.79. Линии равного горного давления на краевую часть разрабатываемого пласта в 300 м за лавой под параллельным очистному забою целиком вышележащего пласта

На рис. 1.78 показаны линии равного горного давления на краевую часть угольного массива в 10 м за лавой (начальное давление для выемочного штрека, проводимого с оставанием на 10 м от лавы). При отсутствии влияния целика давление в этой точке составило бы примерно 60 МПа. Таким образом, в пределах зоны, ограниченной изобарами 60 МПа, штрек должен проходиться в условиях повышенного давления, а за ее пределами — пониженного.

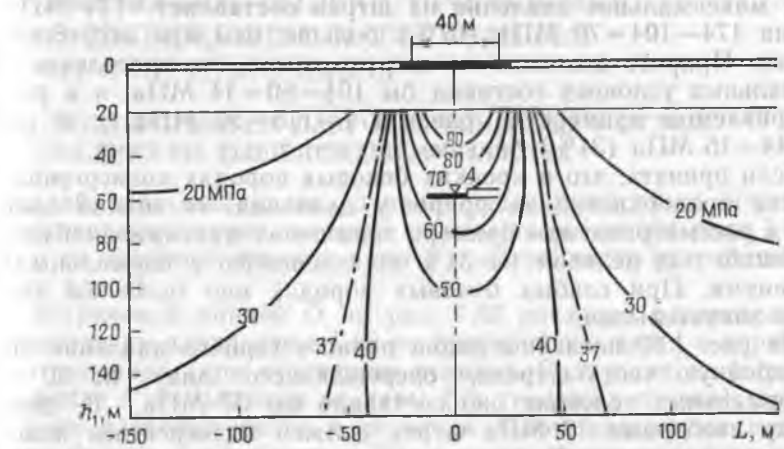


Рис. 1.80. Линии равного горного давления на забой штрека, опережающий лаву на 30 м, под параллельным очистному забою целиком вышележащего пласта

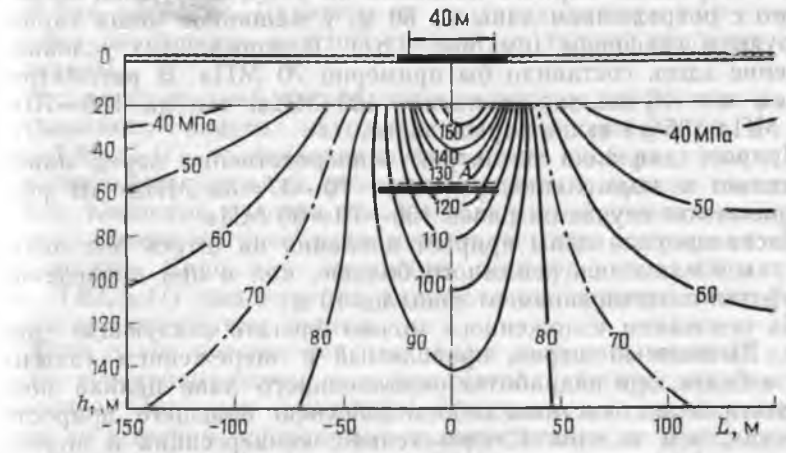


Рис. 1.81. Линии равного горного давления на забой машинной ниши при проведении выемочного штрека с опережением лавы на 30 м под параллельным ей целиком вышележащего пласта

В точке *A* штрека максимальное давление составляет около 115 МПа. Оно на 115—60=55 МПа (92%) больше, чем в нормальных условиях.

График (см. рис. 1.79) характеризует линии равного горного давления на выемочный штрек, пройденный под параллельным лаве целиком, при отходе очистного забоя от вертикальной проекции целика на 300 м. В нормальных условиях (при отсутствии целика) давление на штрек составило бы здесь 104 МПа. В зоне, ограниченной изобарами 104 МПа, штрек испытывает повышенное, а за ее пределами — пониженное давление. В точ-

ке *А* максимальное давление на штрек составляет 174 МПа, что на 174—104=70 МПа (67%) больше, чем при отсутствии целика. Прирост давления на штрек после его проведения в нормальных условиях составил бы 104—60=44 МПа, а в рассматриваемом примере он равен 174—115=59 МПа, т. е. на 59—44=15 МПа (34%) больше.

Если принять, что в крепких боковых породах конвергенция штрека пропорциональна приросту давления, то можно ожидать в рассматриваемом примере повышения максимальной конвергенции под целиком на 34% по сравнению с нормальными условиями. При слабых боковых породах оно было бы еще более значительным.

На рис. 1.80 показаны линии равного горного давления на призабойную часть штрека, опережающего лаву на 30 м. В нормальных условиях оно составило бы 37 МПа. В зоне между изобарами 37 МПа штрек должен подвергаться повышенному давлению. В рассматриваемом случае максимальное давление при проведении штрека под целиком равно примерно 70 МПа, что на 70—37=33 МПа (89%) выше нормального.

Линии равного горного давления на участок штрека, проводимого с опережением лавы на 30 м, у машинной ниши характеризуются графиком (см. рис. 1.81). В нормальных условиях давление здесь составило бы примерно 70 МПа. В рассматриваемом же случае оно достигает 130 МПа, что на 130—70= =60 МПа (86%) выше нормального.

Прирост давления на штрек непосредственно перед лавой составляет в нормальных условиях 70—37=33 МПа. В рассматриваемом случае он равен 130—70=60 МПа.

После прохода лавы прирост давления на штрек под целиком таков или лишь ненамного больше, как и при проведении выработки с отставанием от лавы на 10 м.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Выемочный штрек, проводимый с опережением лавы на 30 м и более, при подработке параллельного лаве целика подвергается перед очистным забоем действию большего прироста давления, чем за ним. Следовательно, конвергенция в штреке перед лавой более интенсивна, чем за лавой.

В тех случаях, когда вмещающие породы склонны к смятию или отличаются незначительной прочностью, они под действием повышенного горного давления могут выдавливаться внутрь штрека. В связи с этим в зонах повышенного давления рекомендуется проводить выемочные штреки с отставанием от лавы или же, при невозможности указанного по производственным условиям, — с опережением лавы не больше чем на 10 м. Иначе придется производить еще до подхода лавы подрывку почвы или даже кровли.

Примечания к этому разделу такие же, что и к разд. 1.6.5.

1.9. ВЫЕМОЧНЫЕ ШТРЕКИ, ПРОВОДИМЫЕ С ОПЕРЕЖЕНИЕМ И ОТСТАВАНИЕМ ОТ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

1.9.1. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЛАВУ И ЕЕ КОНЦЕВЫЕ УЧАСТКИ ЦЕЛИКА ПО ВЫШЕЛЕЖАЩЕМУ ПЛАСТУ

Подрабатываемый целик, параллельный выемочным штрекам, вызывает повышение давления не только на них (см. разд. 1.8.3), но и на концевые участки лавы и краевую часть разрабатываемого пласта.

Штриховой линией *О* на рис. 1.82 показано распределение давления по длине лавы *l* на ее призабойную часть в нормальных условиях (при отсутствии целика). Если один из штреков проводят с отставанием от лавы (на графиках справа), давление от расположенного в середине забоя максимума плавно уменьшается и примерно в 70 м за концевым участком лавы достигает нормальной для данной глубины величины. Если же выемочный штрек проводят с опережением лавы (на графиках слева), на концевом участке очистного забоя образуется небольшой пик давления. Давление на противоположную ему сторону штрека со стороны массива составляет только половину этой величины.

Если над средней частью лавы на расстоянии 24 м от разрабатываемого пласта находится целик шириной 50 м (см. рис. 1.82, *а*, *II*), то давление в этом месте в 2,6 раза выше, чем в нормальных условиях, резко уменьшаясь к концам очистного забоя. Концевые участки лав располагаются в зонах пониженного давления, которое даже меньше, чем при отсутствии влияния целика. Лишь при мощности междупластья 48 м (см. рис. 1.82, *б*, *II*) давление на концах лавы примерно такое же, как и при отсутствии целика.

Если целик расположен над одним из концов лавы (*I* и *II*), то на противоположном ее конце всегда действует пониженное давление. При всех мощностях междупластья на сопряжении лавы со штреком, проводимым с опережением, в условиях воздействия целика (*I*) давление на 70% выше, чем на находящемся также под целиком сопряжении лавы со штреком, проводимым с отставанием от очистного забоя (*III*). Кроме того, значительно возрастает разность величин давления, действующих на бока штрека, находящегося под целиком (*I*), что приводит к значительному увеличению давления на штрек со стороны кровли. Однако местное повышение давления в угловой части забоя лавы не оказывает влияния на конвергенцию в штреке.

Максимальные величины давления на призабойную часть пласта для всех трех случаев расположения целика над лавой (*I*, *II* и *III*) различаются незначительно. Из этого следует, что если целик должен быть подработан лавой при мощности меж-

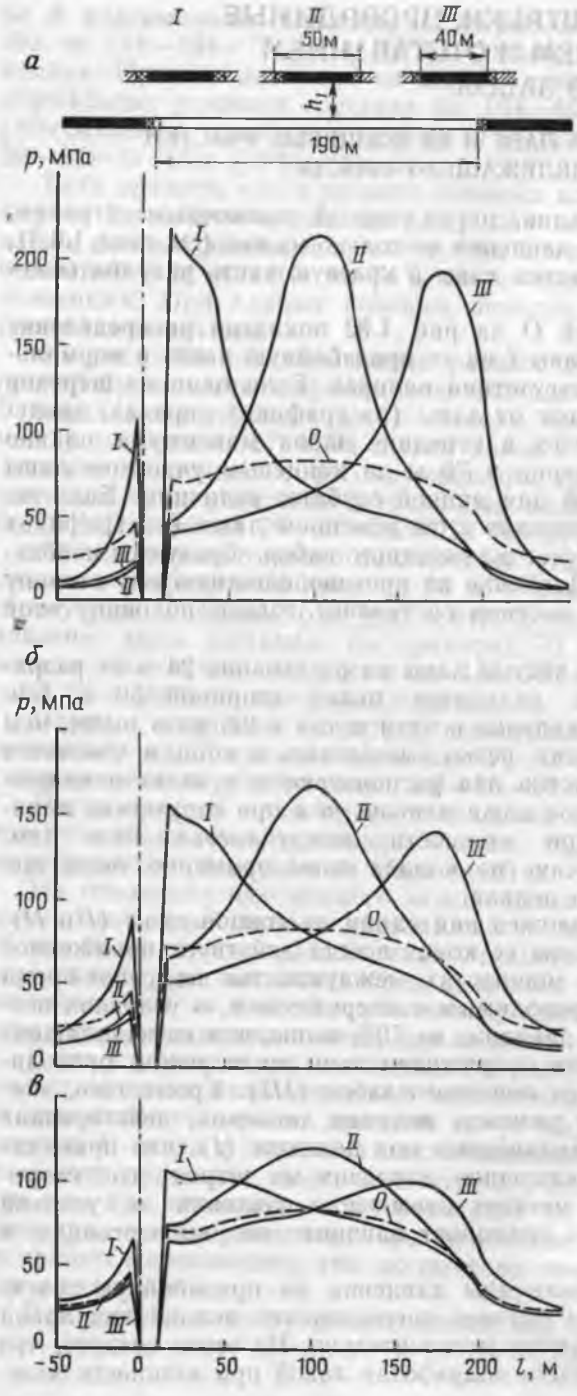


Рис. 1.82. Графики распределения давления на призабойную часть угольного массива по длине лавы l при различных положениях целика по вышележащему пласту (*I*, *II* и *III*):

а, *б* и *в* — при мощности междупластья соответственно 24, 48 и 96 м

дупластья менее 100 м и если невозможно спроектировать очистные работы таким образом, чтобы целик находился по меньшей мере в 50 м от очистного забоя, то располагать лаву необходимо так, чтобы целик размещался над ее средней частью. Если это невозможно, то выемочный штрек под целиком следует проводить с отставанием от лавы.

Примечание. Приведенные на графиках кривые справедливы только для показанного на них взаимного расположения лавы и целиков при длине лавы около 200 м. Для других случаев расчеты должны производиться заново, поскольку с изменением геометрии очистных выработок распределение давления может существенно измениться.

1.9.2. ДАВЛЕНИЕ НА ВЫЕМОЧНЫЙ ШТРЕК ПРИ ОТСУТСТВИИ ВЛИЯНИЯ КРАЕВОЙ ЧАСТИ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА [72]

В штреке, проводимом с опережением лавы, уже на участке перед очистным забоем происходит конвергенция, которая не наблюдается в штреке, проводимом с отставанием от лавы. Непосредственно на сопряжении с лавой конвергенция может значительно возрасти. На эту величину уменьшается конечная конвергенция штрека, пройденного в тех же условиях с достаточно большим отставанием от лавы. Величина такого уменьшения зависит от обусловленного очистными работами прироста горного давления, а также от характеристик пород и крепи. В большинстве случаев сохраняется линейная зависимость между приростом давления и конвергенцией, так что по результатам расчетов давления можно сделать вывод о соотношении между конечной конвергенцией штрека, пройденного общим забоем с лавой или с отставанием от нее, и конвергенцией штрека, пройденного с опережением лавы. Справедливость такой линейной зависимости для данных конкретных условий, а также величину прироста конвергенции на единицу прироста давления можно установить лишь на основании шахтных наблюдений в выработках соответствующего пласта и расчетов горного давления.

В случае подтверждения линейной зависимости между приростом давления и конвергенцией можно руководствоваться следующими положениями. Конечная величина конвергенции выемочного штрека примерно в 500 м за лавой при отсутствии влияния очистных работ по разрабатываемому и соседним пластам уменьшается по сравнению со штреком, пройденным с достаточно большим опережением лавы (рис. 1.83), примерно на 30% при проведении штрека общим забоем с лавой (рис. 1.84) и на 50% при проведении его с отставанием на 25 м от лавы (рис. 1.85). Эти данные относятся к условиям отработки первого в выемочном поле участка. В откаточном штреке третьего отрабатываемого в выемочном поле участка при дополнительном воздействии параллельной штреку краевой части вышележащего пласта конвергенция снижается соответственно на 38 и 60%

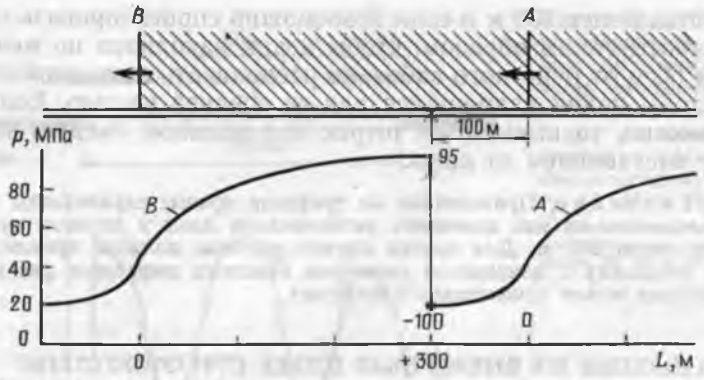


Рис. 1.83. График изменения давления p в месте измерения конвергенции в штреке, проводимом с опережением лавы на 100 м, между забоем штрека (кривая A) и точкой, находящейся в 300 м за очистным забоем (кривая B), на глубине 800 м; $\Delta p = 75$ МПа

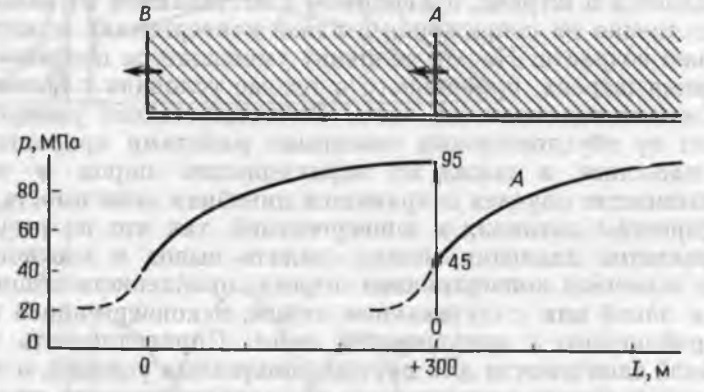


Рис. 1.84. График изменения давления p в месте измерения конвергенции в штреке, проводимом общим забоем с лавой, между забоем штрека (кривая A) и точкой, находящейся в 300 м за лавой; $\Delta p = 50$ МПа

по сравнению со штреком, пройденным с опережением, а при наличии в 30 м подрабатываемого узкого целика, расположенного перпендикулярно к штреку, — соответственно на 19 и 56%.

При повторном использовании выемочного штрека непосредственно перед подходом второй лавы штрек подвергается усиленной конвергенции, величина которой (опять-таки при условии существования линейной зависимости между приростом давления и конвергенцией) на 150% больше конечной конвергенции в первично используемом штреке, проводимом со значительным опережением лавы. Три четверти этой дополнительной конвергенции приходятся на последние 40 м перед второй лавой (рис. 1.86).

Если для второй лавы проводить новый штрек без оставления целика между ним и старой выработкой, то конвергенция

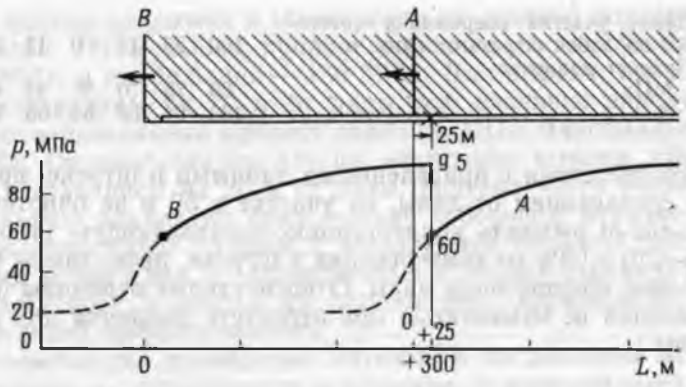


Рис. 1.85. График изменения давления p в месте измерения конвергенции в штреке, проводимом с отставанием от лавы на 25 м, между породным забоем штрека (кривая A) и точкой, находящейся в 300 м за лавой (кривая B); $\Delta p = 35$ МПа

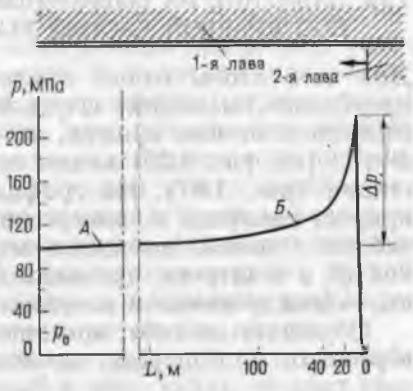


Рис. 1.86. График распределения давления на повторно используемый выемочный штрек по его длине (глубина 800 м):
А — после прохода 1-й лавы; *Б* — перед подходом 2-й лавы

на участке опережения нового штрека уменьшается на 25 и 50% при длине указанного опережения соответственно 40—20 м. Дальнейшая конвергенция после прохода второй лавы будет уже определяться не давлением, а происходящим без повышения давления опусканием кровли. Проведение нового штрека с отставанием от забоя второй лавы весьма эффективно при неблагоприятных условиях взаимодействия очистных выработок, в других же случаях оно дает лишь незначительный эффект.

Значения прироста давления, определяющие величину конвергенции, могут быть получены из распределения давления по длине выемочного штрека при расположении с одной его стороны выработанного пространства протяженностью по простиранию 800—1000 м. При расстоянии перед лавой 10, 25 и 15 м давление составляет соответственно 20, 25 и 30 МПа, а позади лавы на расстоянии 0, 15, 25, 100, 200, 300 и 500 м — соответственно 45, 55, 60, 80, 90, 95 и 100 МПа (для глубины 800 м). Разница между давлением на конечном участке штрека (например, в 500 м за лавой) и начальным давлением дает прирост давления:

Длина участка опережения (отставания) забоя штрека от лавы, м . .	100	25	15	0	15	25
Прирост давления:						
МПа	80	75	70	55	45	40
%	100	94	88	69	56	50

В соответствии с приведенными данными в штреке, проводимом с отставанием от лавы, на участке в 50 м за очистным забоем можно ожидать конвергенцию, составляющую (100—45) : : (100—20) = 69% от конвергенции в штреке, проводимом со значительным опережением лавы. Относительные величины прироста давления не изменяются при пересчете давления для другой глубины.

1.9.3. ДАВЛЕНИЕ НА ВЫЕМОЧНЫЙ ШТРЕК, НАХОДЯЩИЙСЯ ПОД КРАЕВОЙ ЧАСТЬЮ ВЫШЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА [72]

Для того чтобы лучше представить себе преимущества схем проведения выемочных штреков общим забоем с лавой или с отставанием от нее, примем, что ранее рассмотренные штреки *A*, *B* и *C* (см. рис. 1.25) имеют одинаковую интенсивность конвергенции (рис. 1.87). На графике участки, которые определяют прирост давления и конвергенции в штреке, проводимом общим забоем с лавой, находятся между началом координат и точкой *O*, а в штреке, проводимом с отставанием на 20 м от лавы, — между началом координат и точкой 20 м.

Обращает на себя внимание, что приросты давления и конвергенции для штрека, проводимого с опережением лавы на

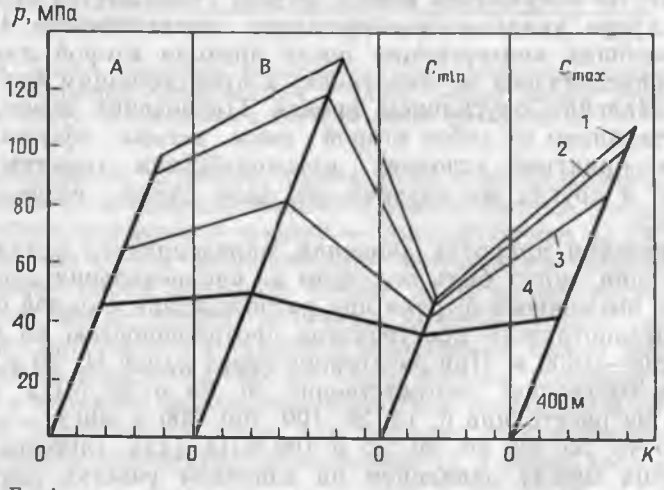


Рис. 1.87. График прироста давления и конвергенции для штреков, проводимых с опережением лавы на 100 и 30 м (*1*, *2*), общим забоем с лавой (3) и с отставанием от нее на 20 м (*4*)

100 м, весьма различны в зависимости от условий поддержания выработки. Наименьший прирост давления составляет примерно 50 МПа, а наибольший — 130 МПа. Для штрека, проводимого с отставанием на 20 м от лавы, это различие значительно меньше: минимальный прирост равен 35 МПа, максимальный — 50 МПа. Отсюда следует, что на выемочные штреки, проводимые с отставанием на 20 м от лавы, краевые части вышележащих пластов оказывают относительно небольшое влияние. Проведение выемочных штреков с отставанием от лавы дает наибольший эффект при неблагоприятных условиях взаимодействия очистных работ, в других же случаях оно характеризуется незначительной эффективностью.

Преимущества проведения штреков с отставанием от лавы в отношении их устойчивости независимо от условий выемки соседних пластов становятся все менее ощутимыми по мере приближения забоя штрека к лаве. Для штреков, проводимых общим забоем с лавой, различия в конвергенции при разных условиях надработки значительно больше. В частности, при подработке целика эффект, получаемый от проведения штрека общим забоем с лавой, не особенно велик, что объясняется крутым подъемом кривой давления C_{max} непосредственно после прохода лавы (см. рис. 1.25). Поскольку расстояние между лавой и забоем подрывки кровли в штреке по производственным условиям не может выдерживаться строго постоянным (особенно при высокой скорости подвигания лавы) из-за крутого подъема кривой давления, приходится считаться также и с большим разбросом характеристик конвергенции в одном и том же штреке.

Даже в особо неблагоприятном случае, когда над штреком в 30 м находится перпендикулярный к нему целик, за счет проведения его общим забоем с лавой, конвергенция в нем может быть сокращена на 30%.

При утверждении об уменьшении конвергенции за счет проведения штрека общим забоем с лавой или с отставанием от нее в случае линейной зависимости конвергенции от прироста давления во внимание не принимался тот факт, что сама принятая схема проведения (с опережением или отставанием) может влиять на крутизну характеристики конвергенции в выработке. Однако такое влияние вполне возможно хотя бы из-за того, что в боку штрека со стороны лавы могут образовываться параллельные ему трещины, которых не может быть при проведении выработки с отставанием от лавы. Следовательно, характеристика штрека, пройденного с отставанием от лавы, является более крутой, чем штрека, пройденного с опережением, а эффект от его проведения по указанной схеме в действительности еще выше.

1.10. ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТКИ ЗАЩИТНЫХ ПЛАСТОВ НА СНИЖЕНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

На рис. 1.88 приведено несколько вариантов отработки выемочного участка двумя лавами при наличии или отсутствии целиков угля и защитного пласта в кровле разрабатываемого пласта.

Принимается, что левый штрек первой лавы проводят с опережением, а оба других штрека — общим забоем с лавой или с отставанием от нее. Расстояние между лавами 350 м. Правый штрек первой лавы используется повторно при отработке второй лавы. Длина лав по разрабатываемому пласту 200 м, а по защитному — 270 м. Эффективная ширина целика составляет 40 м. Его расположение (над правым штреком первой лавы) неблагоприятно для общего распределения давления над указанным очистным забоем. Величина прироста давления (как разность между наибольшим и наименьшим его значениями) приведена под каждой схемой.

Сравнение вариантов *б* и *в* с *а*. Отработка защитного пласта уменьшает давление во всех точках первой лавы и ее выемочных штреков. Давление на забой второй лавы несколько увеличивается.

Сравнение вариантов *г* и *е* с *а*. Целик по верхнему пласту способствует снижению давления и его прироста в левом штреке. При этом растет давление на забой первой лавы и средний штрек. Давление на забой второй лавы уменьшается.

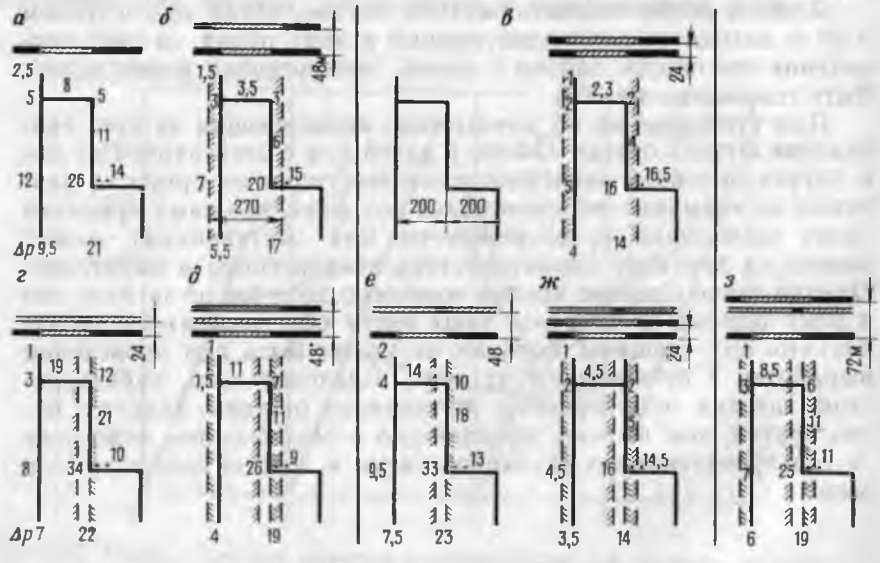


Рис. 1.88. Варианты отработки выемочных участков при различных условиях надработки защитным пластом; цифры на рисунках — давление и его прирост в МПа

Сравнение вариантов *д*, *ж* и *з* с *а*. Наблюдается уменьшение давления и его прироста в левом штреке. В варианте *д* — повышение давления на забой первой лавы и ее сопряжение со средним штреком. В варианте *з* — давление примерно такое же, как в варианте *а*. В варианте *ж* давление уменьшилось, у забоя второй лавы оно примерно такое же, как в варианте *а*.

Сравнение вариантов *д* и *б*. Давление на левый штрек уменьшилось, а на средний штрек перед выступающим углом пласта увеличилось. На забой первой лавы воздействует повышенное, а на забой второй — пониженное давление.

Сравнение вариантов *г* и *в*. Наблюдается увеличение давления и его прироста.

Сравнение вариантов *д* и *з*. Величины давления и его прироста различаются в малой степени. На основе проведенного сравнения можно сделать следующие выводы.

Отработка защитного пласта, находящегося как под целиком, так и над ним, способствует уменьшению давления.

Давление уменьшается в большей степени, если защитный пласт находится под целиком.

Давление снижается в большей степени с уменьшением расстояния между защитным пластом и целиком.

Если защитный пласт находится на небольшом расстоянии от защищаемого, то давление может быть меньше, чем при отсутствии влияния целика по вышележащему пласту.

1.11. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ

1.11.1. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ [136]

1. Необходимо сопоставить все проектные варианты, не отдавая заранее предпочтения какой-либо одной из схем подготовки выемочного поля. Следует учитывать также и те варианты, которые по каким-либо отдельным факторам (например, по проветриванию, транспорту угля, временной последовательности работ и др.) не являются оптимальными.

Сопоставление проектных вариантов с точки зрения управления горным давлением может производиться в следующем порядке.

Разработка пластов. В нисходящем порядке или наоборот; с опережающей выемкой защитных пластов или без таковой.

Подготовка выемочного поля. Квершлагами, пластовыми или полевыми наклонными выработками. Направление отработки — к участковым квершлагам или от них. Подработка или надработка квершлагов лавами по простиранию. Подработка или надработка квершлагов лавами по восстанию или падению.

Очистные работы в пределах рассматриваемого участка шахтного поля. Выемка пластов лава-

ми по простиранию, восстанию или падению. Порядок отработки участков (ярусов, этажей) — нисходящий или восходящий. Проведение выемочных штреков — с оставлением или без оставления целиков между новым штреком и старым штреком отработанного участка (подэтажа).

Очистные работы в пределах выемочного участка. В прямом или обратном порядке при различных схемах проветривания.

Проведение выемочных штреков. До начала очистных работ на участке, с опережением лавы, общим забоем с лавой или с отставанием от нее.

Способ отработки выемочного участка. Отработка участка от базисной выработки без оставления или с оставлением целика между этой выработкой и разрезной печью. Отработка участка от разрезной печи. Отработка участка с выходом лавы на базисную выработку без оставления или с оставлением целика. Отработка участка с выходом лавы к выработанному пространству ранее отработанного участка.

Геологические нарушения. Переход лавы через нарушение. Подход лавы к геологическому нарушению с последующей остановкой с оставлением или без оставления целика.

2. Необходимо проверить проектные варианты в соответствии с правилами, изложенными в разд. 1.11.2 и 1.11.3, с учетом соседних участков разрабатываемого и других пластов.

3. После этого следует произвести количественную оценку отобранных вариантов в отношении направлений горного давления с использованием данных, приведенных в разд. 1.6—1,8, а при необходимости с выполнением специальных расчетов.

4. В заключение необходимо отобрать наиболее благоприятные варианты с учетом следующих эксплуатационных и экономических критериев оптимизации: взаимное расположение очистных и подготовительных выработок; объем работ, обеспечивающий плановую добычу; затраты на проведение подготовительных выработок; расходы на поддержание подготовительных выработок; интенсивность газовыделения; климатические условия; пылеобразование; пожарная опасность; возможность доразведки выемочных участков перед фронтом очистных работ; организация очистных работ и возможность их концентрации; объем работ после завершения очистной выемки угля на участке; транспорт угля и доставка материалов; породное хозяйство.

5. Затем для выбранного варианта следует рассчитать конвергенцию в выработках.

6. Проявления горного давления должны систематически наблюдаться и регистрироваться в порядке проведения так называемых «Производственных наблюдений за состоянием очистных и подготовительных выработок», с тем чтобы:

устанавливать реакцию пород на изменение горного давления;

определять расчетные параметры для дальнейших расчетов горного давления;

получать возможность надежного прогнозирования ожидаемой конвергенции в подготовительных выработках и поведения кровли в лавах под действием горного давления при дальнейшей разработке шахтного поля;

проектировать подготовку выемочных участков и выбирать параметры крепей в соответствии с ожидаемым горным давлением;

заранее проектировать и определять объемы работ по устранению последствий проявлений горного давления в выработках.

7. Для сравнительной оценки экономичности отдельных вариантов могут быть использованы вычислительные программы отдельных угледобывающих компаний или же система программ Общества каменноугольной промышленности ФРГ, позволяющая моделировать различные проектные варианты.

8. После выбора окончательного варианта следует завершить его оценку по условиям управления горным давлением, произведя при необходимости дополнительные расчеты с учетом принятых изменений в схемах вскрытия и подготовки выемочного поля.

9. Проектирование должно вестись при постоянном согласовании отдельных вопросов со специалистами следующих отделов шахты: подземных горных работ, планового, маркшейдерского, шахтной вентиляции, подземного транспорта, рудничной крепи, экономического.

1.11.2. ОПТИМАЛЬНОЕ ПО ФАКТОРУ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК [12, 68]

Оптимальное по фактору горного давления расположение выработок на разрабатываемом пласте при отсутствии под- или надработки базируется на следующих основных положениях.

1. Штрек, находящийся в угловой части выработанного пространства (рис. 1.89), в значительной мере разгружен от давления, если он проводится с отставанием от лавы (см. разд. 1.9).

2. Штрек, с одной стороны которого находится угольный массив, а со второй — выработанное пространство, располагается в зоне наибольшего прироста давления и наибольших относительных смещений породного массива. Такой штрек может быть разгружен от давления, если его несколько сместить в сторону выработанного пространства (см. рис. 1.89).

3. Выемочный штрек, пройденный для отработки участка в обратном порядке, перед углом выработанного пространства находится в наиболее благоприятном, а перед выступающим углом пласта — в наиболее неблагоприятном положении. В последнем случае лучше всего проводить его с отставанием от лавы и несколько сместить в сторону от угловой части пласта (см. рис. 1.89).

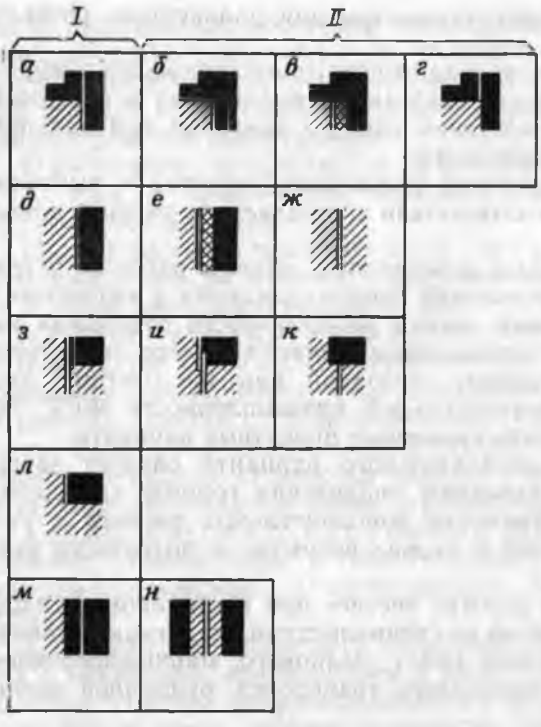


Рис. 1.89. Неблагоприятное (*I*) и благоприятное (*II*) расположение выемочных штреков по отношению к лаве и краевым частям разрабатываемого пласта:

а—г — по внутреннем углу пласта при проведении штрека с опережением лавы (*а*), одним забоем с лавой и с отставанием от нее (*б*), с отставанием от лавы и смещением в выработанное пространство (*в*), в случае отработки участка в обратном порядке (*г*); *д—ж* — у краевой части пласта без смещения (*д*) и со смещением (*е*) в выработанное пространство, с расположением в выработанном пространстве (*ж*); *з—л* — у выступающего угла угольного массива с поддержанием в выработанном пространстве для повторного использования старого (*з*), проводимого вприсечку (*и*) и со смещением (*к*) штреков, *л* — в случае отработки в обратном порядке; *м*, *н* — в пределах выемочного участка с охраной целиком угля (*м*) и бутовыми полосами (*н*)

4. При боковых породах средней устойчивости Z_R-образная схема отработки участка (с работой лавы на пройденный заранее или используемый повторно верхний штрек и проводимый по мере подвигания лавы нижний штрек) является более благоприятной, чем «чистый» прямой порядок отработки. При весьма слабых породах более выгодна схема, при которой верхний штрек, находящийся у выступающего угла пласта, проводится вслед за лавой, а нижний штрек, находящийся в зоне влияния угла выработанного пространства, пройден заранее (рис. 1.90). Штреки *1* и *2* проводятся до начала очистных работ. Штрек *2* погашается после прохода лавы (так называемая Z_R-образная схема отработки), так как при его поддержании (т. е. при Y_R-образной схеме) он подвергался бы за лавой весьма сильному нагруженню. Штрек *3* проводят с отставанием от лавы со смещением примерно на 15 м от старого штрека. Все штреки используются, таким образом, только один раз.

5. Двукратное использование рационально расположенных выемочных штреков может быть достигнуто следующими способами.

При Z_R-образной схеме отработки (рис. 1.91) штрек *1* проводят с отставанием от лавы с некоторым смещением от конца лавы. При восходящем порядке отработки участков применения

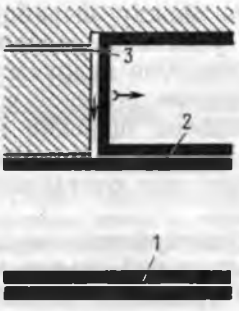


Рис. 1.90. Z_R-образная схема отработки участка при однократном использовании выемочных штреков и нисходящем порядке выемки столбов

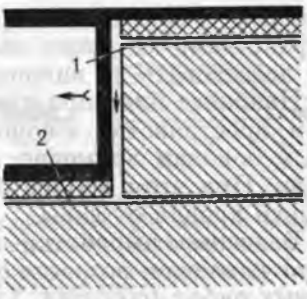


Рис. 1.91. Z_R-образная схема отработки участка при повторном использовании штреков и восходящем порядке выемки столбов

специальных выемочных и транспортных средств в околоштрековой полосе не требуется. При отработке каждого последующего выемочного столба — необходима выемка закладочного материала из околоштрековой полосы.

При Y_R-образной схеме отработки (рис. 1.92) штрек *2* проводят заранее. Все остальное аналогично предыдущему случаю [117].

6. Особо неблагоприятное влияние на выемочный штрек оказывает целик шириной 3—30 м, оставляемый со стороны выработанного пространства (см. рис. 1.89 и разд. 1.6.1).

7. Охранные околоштрековые целики эффективны лишь при их очень большой ширине. Лучше всего охранять штрек бутовой полосой, частичной или полной закладкой (см. рис. 1.89). Одна-

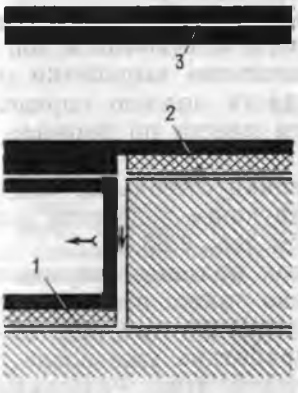


Рис. 1.92. Y_R-образная схема отработки участка при повторном использовании выемочных штреков и восходящем порядке выемки столбов

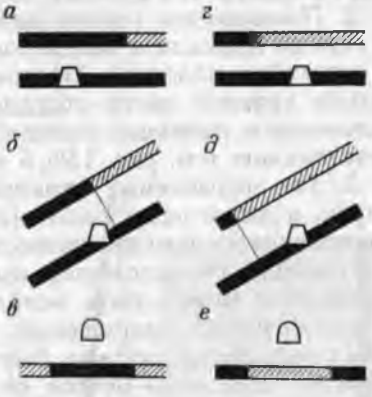


Рис. 1.93. Схемы расположения штреков относительно краевой части вышележащего пласта:

а, б и *в* — в зоне повышенного горного давления; *г, д* и *е* — в разгруженной от горного давления зоне

ко жесткие полосы нельзя оставлять между выработанными пространствами соседних выемочных участков, поскольку они будут действовать на нижние пласты подобно целикам угля.

8. Наиболее благоприятно расположение штреков в выработанном пространстве. Скорость проведения штреков по обрушенным породам примерно такая же, как и по ненарушенному массиву. При этом вполне оправдывает себя отставание забоя подрывки кровли от лавы.

9. Базисные выработки можно предохранить от действия горного давления, возрастающего в начальной стадии развития очистных работ (см. разд. 1.4.1), если применить способ шахты «Монополь». Но для этого необходимы следующие предпосылки:

на флангах выемочного поля должны иметься выработки, соединенные с вентиляционной сетью шахты;

один из выемочных штреков должен быть пройден до начала очистных работ для сбойки выработок со свежей и исходящей вентиляционными струями.

следует иметь два слепых ствола в качестве транспортных и вентиляционных соединений с общешахтными выработками;

породы кровли пласта должны обладать слеживаемостью, чтобы уже примерно через 3 мес. после прохода лавы можно было пройти по обрушенным породам новую базисную выработку.

Оптимальное по фактору горного давления расположение выработок под краевыми частями вышележащих пластов заключается в следующем [68].

1. Штрек не испытывает повышенного давления, если он находится под выработанным пространством вышележащего пласта, но вблизи его краевой части (рис. 1.93, *г*).

2. Повышенное горное давление распространяется в общем случае по нормали к напластованию (за исключением зон мульд и перегибов пластов). Поэтому положение выработки относительно краевой части соседнего пласта должно определяться положением проекций краевой части пласта по нормали к напластованию (см. рис. 1.93, *б* и *г*).

3. Так называемые охранные целики отнюдь не защищают штрек, а лишь разрушают его. Наилучшим решением является применение «защитной раскоски» (см. рис. 1.93, *е*).

Правило расположения выработок под выработанным пространством может быть использовано также при выемке угля у геологических нарушений. Показанная на рис. 1.94 полевая выработка должна быть подработана уже после отхода лавы на несколько метров от разрезной печи. Разрезную печь по нижележащему пласту нужно сместить на несколько метров под выработанное пространство вышележащего. Если нижележащий пласт отрабатывается по направлению к нарушению, то вообще-то не требуется останавливать лаву до подхода к краевой части верхнего пласта.

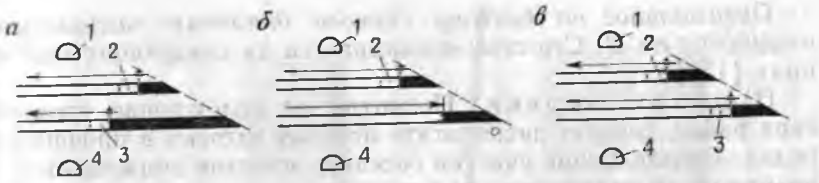


Рис. 1.94. Схемы благоприятного (*а* и *б*) и неблагоприятного (*в*) расположения разрезных печей у геологических нарушений при над- и подработке полевых выработок; стрелками показано направление подвигания лав:
1, 4 — соответственно подрабатываемая и надрабатываемая полевые выработки; *2, 3* — разрезная печь соответственно по выше- и нижележащему пласту

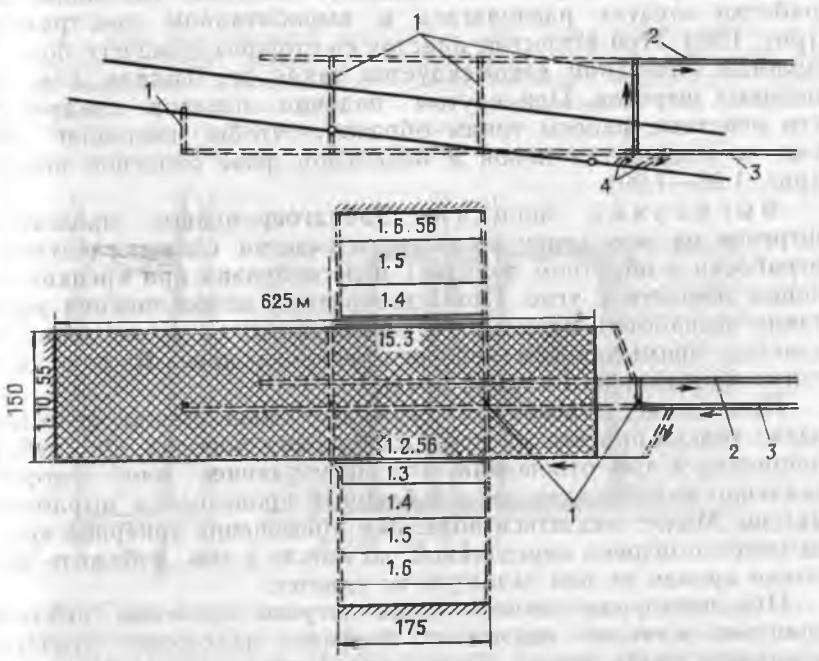


Рис. 1.95. Схема защитной отработки пластов лавой длиной 150 м по восстанию перед проведением квершлагов и слепых стволов (при последующей отработке пластов лавами по простиранию):
1 — слепые стволы; *2, 3* — квершлаги соответственно гор. 700 и 800 м; *4* — сбойки

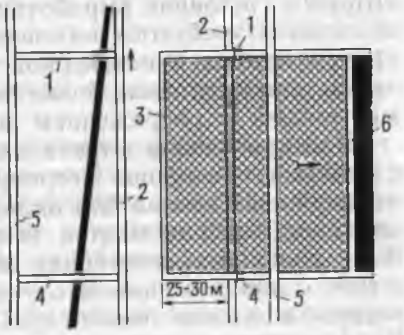


Рис. 1.96. Схема проектирования очистных работ, уменьшающая до минимума вредное воздействие их на квершлаги над и под разрабатываемым пластом:
1, 4 — соответственно воздухоподающий и воздухоотводящий слепые стволы; *2, 5* — соответственно воздухоподающий и воздухоотводящий квершлаги; *3* — разрезная печь; *6* — лава

Оптимальное по фактору горного давления расположение выработок по П. Стассену основывается на следующих положениях [150].

Полевые штреки. Несмотря на усложнение проходческих работ, следует располагать полевые штреки в прочных породах. Близлежащие участки соседних пластов должны быть по возможности отработаны как защитные.

Квершлаги. При вскрытии пласта со стороны висячего бока рекомендуется по возможности вначале восстающим забоем произвести защитную под- и надработку, а затем уже проходить квершлаги (и слепые стволы); пластовые наклонные выработки следует располагать в выработанном пространстве (рис. 1.95). При вскрытии пластов со стороны лежачего бока на пологом залегании рекомендуется такая же защита, как для полевых штреков. При крутом падении пластов следует вести очистные работы таким образом, чтобы квершлаг был над- и подработан лавой в начальной фазе очистной выемки (рис. 1.96—1.99).

Выемочные штреки. Заблаговременное проведение штреков на всю длину выемочного участка (для последующей отработки в обратном порядке) целесообразно при крепких боковых породах и угле. При однократном использовании крепь таких выработок испытывает повышенные нагрузки лишь на участке, примыкающем непосредственно к лаве. Вполне допустимо применение анкерной крепи.

Проведение штреков с опережением лавы также целесообразно только при весьма прочных боковых породах. Оно неблагоприятно в том отношении, что опережающее лаву опорное давление воздействует на ослабленный проведением выработки массив. Может оказаться полезным применение анкерной крепи на участке штрека перед лавой, но вместе с тем, избежать подрывки кровли на нем зачастую не удается.

При повторном использовании штрека особенно неблагоприятное влияние оказывает взаимное наложение давления в краевой части пласта вдоль выработанного пространства и опережающего вторую лаву опорного давления, в результате которого состояние выработки резко ухудшается. В большинстве случаев требуются интенсивные работы по ее поддержанию, причем применение анкерной крепи не дает какого-либо эффекта. В таких условиях более благоприятна отработка спаренными лавами с опережением между ними не более 3—4 м.

При проведении штрека с отставанием от лавы и сохранении с одной его стороны нетронутого угольного массива условия поддержания весьма благоприятны. Опережающее лаву опорное давление воспринимается ненарушенным породным массивом. Фаза сильной конвергенции штрека непосредственно на сопряжение с лавой в данном случае отсутствует. Разрушенные слои породы в кровле пласта удаляются при проведении штрека. Крепь устанавливается уже за пределами зоны критического

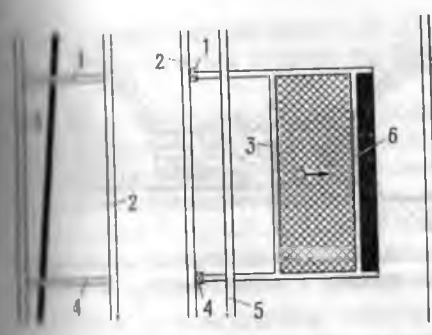


Рис. 1.97. Схема неправильного проектирования очистных работ, при которой квершлаги в течение продолжительного времени находятся в зоне повышенного горного давления:
1—6 — то же, что и на рис. 1.96

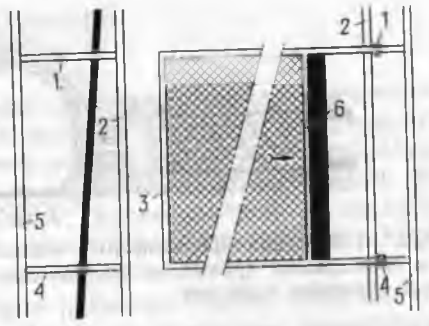


Рис. 1.98. Схема неправильного проектирования очистных работ, при которой квершлаги подвергаются влиянию опережающего лаву опорного давления:
1—6 — то же, что и на рис. 1.96

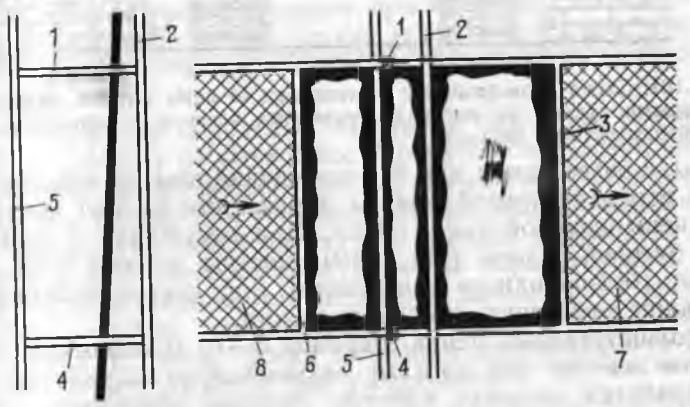


Рис. 1.99. Схема неправильного проектирования очистных работ, при которой квершлаги подвергаются влиянию опережающих лавы зон опорного давления, накладывающегося на опорное давление от ранее отработанного пространства:
1—6 — то же, что и на рис. 1.96; 7, 8 — выработанное пространство соответственно первой и второй лав

давления. Возведение жесткой околоштрековой полосы со стороны лавы может быть целесообразным только при очень крепких боковых породах.

В штреках, проводимых с отставанием от лавы и охраняемых податливой бутовой полосой (в верхней или нижней раскоске), обеспечивается симметричное оседание породных слоев. Трещины в кровле образуются до момента подрывки пород в забое штрека. Давление, действующее на забой лавы, не передается на почву штрека.

При проведении штреков с отставанием от лавы и их креплении шарнирными арками, устанавливаемыми на деревянные

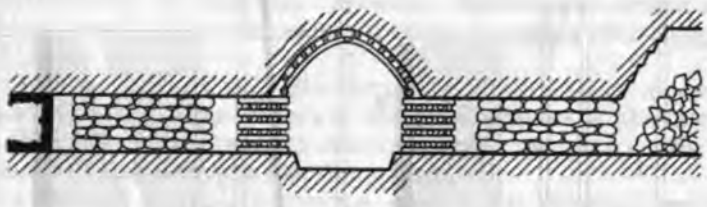


Рис. 1.100. Схема проводимого с отставанием от лавы штрека, закрепленного шарнирными арками на деревянных кострах и охраняемого с обеих сторон бутовыми полосами

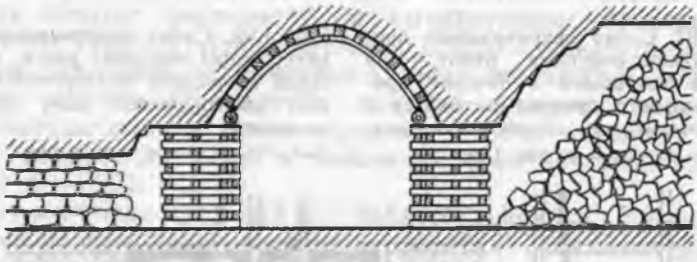


Рис. 1.101. Схема проводимого с отставанием от лавы штрека, закрепленного шарнирными арками на высоких деревянных кострах и охраняемого с одной стороны бутовой полосой

костры, с возведением или без возведения нижней или соответственно верхней бутовой полосы деревянные костры могут быть заполнены породой (рис. 1.100). При отсутствии с одной стороны бутовой полосы (рис. 1.101) костры должны быть податливыми (без породного заполнения), а их первоначальная высота должна превышать мощность пласта.

Околоштрековый целик шириной 5—10 м оказывает весьма вредное влияние как на саму «охраняемую» выработку, так и на выработки соседних пластов. Влияние одиночных целиков, оставленных в выработанном пространстве, проявляется почти во всех случаях повышенной конвергенцией и смещением боковых стенок выработок соседних пластов.

Влияния краевой части разрабатываемого пласта можно избежать, если проводить выемочные штреки вприсечку к выработанному пространству или же на достаточно большом расстоянии от кромки пласта, за пределами зоны повышенного давления. Краевые части соседних пластов во всех случаях ведут к повышенной конвергенции.

Вблизи геологических нарушений породы, как правило, перемяты, в связи с чем штреки следует проводить на достаточно большом удалении от нарушения. Участки угольного массива между штреком и нарушением следует отрабатывать короткими забоями. Условия проведения штреков под нарушениями крайне неблагоприятны. В качестве штрековой крепи рекомендуется применять шарнирные арки, устанавливаемые на деревянных кострах.

1.11.3. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ ВЫЕМОЧНЫХ ПОЛЕЙ [82, 141]

Общие положения. Пласты должны отрабатываться в нисходящем порядке, чтобы выработки основного откаточного горизонта как можно позже подверглись повышенному давлению. Подработка породного массива, еще не пересеченного горными выработками, ощущается на глубине, превышающей 20-кратную мощность вынутого пласта, но не оказывает вредного воздействия при последующем проведении выработок.

При проектировании очистных работ по какому-либо пласту следует принимать во внимание не только влияние выработанного пространства вышележащих пластов, но и взаимное влияние проектируемых очистных забоев, а также их влияние на ведение очистных работ в последующем.

Выработка будет находиться в зоне пониженного давления, если она проводится в выработанном пространстве или же пройдена под или над выработанным пространством соседнего пласта, являющегося в данном случае защитным. Однако при этом следует учитывать также и опасность, вызываемую пониженным давлением.

Для разгрузки породного массива в зоне уже пройденной выработки следует по возможности отработать участок вышележащего, а не нижележащего пласта, так как конвергенция в выработке при надработке меньше, чем при подработке. Для сведения к минимуму неблагоприятного влияния надработки очистные работы по защитному пласту следует спроектировать таким образом, чтобы защищаемая выработка находилась в зоне влияния лавы, только что отошедшей от разрезной печи (см. разд. 1.11.4). С точки зрения снижения удароопасности подработка более благоприятна, чем надработка.

Следует избегать оставления в выработанном пространстве одиночных или протяженных целиков. Даже широкие (свыше 200 м) охранные целики неблагоприятно влияют на расположенные над и под ними выработки, в том числе и при достаточно большом расстоянии по вертикали (до 10 м и более) и после под- или надработки на большой площади несколькими пластами.

Проведение выработки в зоне повышенного давления менее неблагоприятно, чем воздействие на уже пройденную выработку прироста давления, вызванного очистными работами.

Штреки, пройденные по разрабатываемому пласту или пластам-спутникам в кровле или почве разрабатываемого пласта (при мощности междупластья до 6 м), и участки квершлагов в местах их пересечения с пластами целесообразно не только размещать в зонах пониженного давления, но и предусматривать всемерное сокращение срока службы (за счет повышения скорости подвигания очистных забоев).

Зоны геологических нарушений, а также перегибов пластов следует по возможности пересекать выработками под прямым углом, чтобы сократить протяженность участков, подверженных высокому давлению.

Выработки, параллельные геологическим нарушениям, необходимо проводить на достаточно большом удалении от них. В особенности не рекомендуется проводить выработки в лежачем боку пологих надвигов.

Полевые штреки, квершлаги и полевые уклоны. Эти выработки следует располагать по возможности в устойчивых породах и проводить параллельно напластованию (полевые уклоны) или под возможно бо́льшим углом к напластованию.

На участках шахтного поля со многими сближенными пластами полевые штреки и квершлаги следует располагать по возможности под нижним пластом. При небольшом числе пластов необходимо предусматривать их проведение на возможно большем расстоянии по нормали к напластованию над самым нижним пластом свиты.

Расстояние между полевыми штреками, квершлагами, выработками околоствольного двора следует принимать равным не менее 3-кратной ширины или высоты выработки с наибольшей площадью поперечного сечения, а ответвления от указанных выработок должны располагаться по возможности под прямым углом.

Этажные квершлаги следует располагать по вертикали один под другим, с тем чтобы ограничить влияние очистных работ и оставляемых при необходимости целиков небольшой зоной породного массива.

При отработке пласта от квершлага (рис. 1.102) разрезную печь следует проводить на расстоянии 20—40 м от его проекции (в зависимости от нормального к напластованию расстояния между квершлагом и пластом). При этом следует обращать внимание на порядок отработки участков (рис. 1.103). Исключением из указанного правила может быть случай разработки пласта, опасного по горным ударам.

При выемке только одного пласта, находящегося над или под квершлагом, участки следует отрабатывать от конца квершлага к его началу, т. е. применять восходящий порядок отработки этажей (подэтажей), ярусов.

При выемке в нисходящем порядке нескольких пластов, находящихся над или под квершлагом, рекомендуется располагать дополнительные выработки, обслуживающие очистные забои, по возможности в лежачем боку свиты пластов.

Пластовые уклоны, базисные выработки. Пластовые уклоны следует проводить вне зон повышенного давления от очистных работ по соседним пластам.

При двукрылой отработке пласта от уклона следует избегать оставления целика, если над или под разрабатываемым пластом находятся другие пригодные к выемке пласты. Поэтому



Рис. 1.102. Неблагоприятное (*а*) и благоприятное (*б*) по отношению к квершлагу расположение разрезной печи

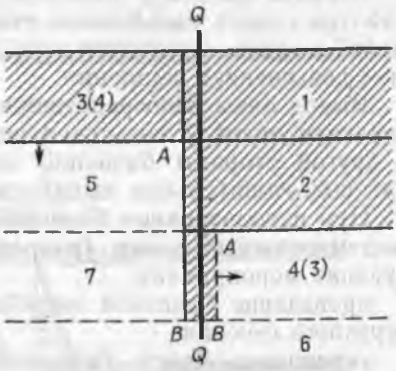


Рис. 1.103. Рациональная последовательность отработки выемочных участков (показана цифрами) от оси квершлага *Q*—*Q*:
A — выступающий угол пласта; *B* — внутренний угол выработанного пространства

лавы обоих крыльев выемочного поля должны подготавливаться непосредственно из уклона в определенной последовательности (рис. 1.104).

Использование группового пластового транспортного уклона при разработке нескольких пластов рекомендуется только в том случае, если он может быть пройден по самому нижнему пласту, кровля и почва которого должны быть представлены особо прочными породами.

Оставление целиков для охраны базисных выработок допустимо только тогда, когда на расстоянии по нормали к напластованию до 100 м не имеется других пригодных к разработке пластов. При отработке выемочных участков в обратном порядке (по направлению к базисной выработке) ширину целика можно определить на основании результатов шахтных наблюдений. В связи с тем, что наличие краевых частей вышележащих пластов усложняет ситуацию, рекомендуется произвести предварительную оценку ожидаемой конвергенции в базисной выра-

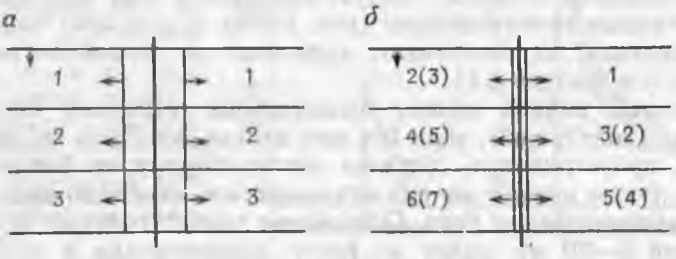


Рис. 1.104. Неблагоприятная (*а*) и благоприятная (*б*) последовательность отработки выемочных участков (указана цифрами) от пластового уклона

ботке путем измерения конвергенции в выемочном штреке в 200 м от базисной выработки (см. разд. 1.6.3; рис. 1.51). Следует принимать во внимание также условия с другой стороны базисной выработки — наличие нетронутого угольного массива или выработанного пространства.

Ширина целика у базисной выработки, достаточная для отработки одного выемочного участка, может оказаться слишком малой в случае отработки двух и более смежных участков в связи с повышением давления.

Выход лавы непосредственно в базисную выработку (без оставления целика) возможен во многих случаях, особенно если с другой стороны базисной выработки отсутствуют очистные или подготовительные выработки.

При использовании базисных выработок в качестве монтажно-демонтажных камер (разрезных печей) рекомендуются следующие мероприятия:

проведение базисной выработки увеличенной площадью поперечного сечения;

укрепление боков базисной выработки деревянными или стеклопластиковыми анкерами или же упрочнение их нагнетанием полиуретана;

возведение ангидритовой полосы со стороны выработанного пространства;

на удароопасных пластах разворот лавы с таким расчетом, чтобы ее линия не была параллельной оси базисной выработки, и соблюдение положений по предупреждению горных ударов.

Отработка выемочных участков в обратном порядке (по направлению к базисной выработке) имеет следующие недостатки: возможное повышение конвергенции в лаве; воздействие опережающего лаву опорного давления в полной мере на базисную выработку. В то же время возможность остановки лавы при подходе ее к базисной выработке позволяет варьировать ширину оставляемого угольного целика (при прямом порядке отработки ширина целика не может быть изменена).

Выемочные штреки. Выемочные штреки по возможности не следует располагать под или над целиками соседних пластов, (см. разд. 1.8.3). Штреки, проходящие параллельно краевым частям соседних пластов, следует смещать в зону под или над выработанным пространством (рис. 1.105), т. е. в зону пониженного давления, на расстояние, зависящее от мощности междупластья (см. разд. 1.8.1).

Угольные целики между выемочными штреками соседних участков (подэтажей), если без них нельзя обойтись по соображениям проветривания, должны иметь ширину не более 2 м. Однако лучше вообще от них отказываться, особенно при опасности самовозгорания угля. Оставление узких угольных целиков (шириной 5—20 м) ведет к росту конвергенции в штреках. Лишь при ширине целика 25 м конвергенция несколько уменьшается (см. разд. 1.6).

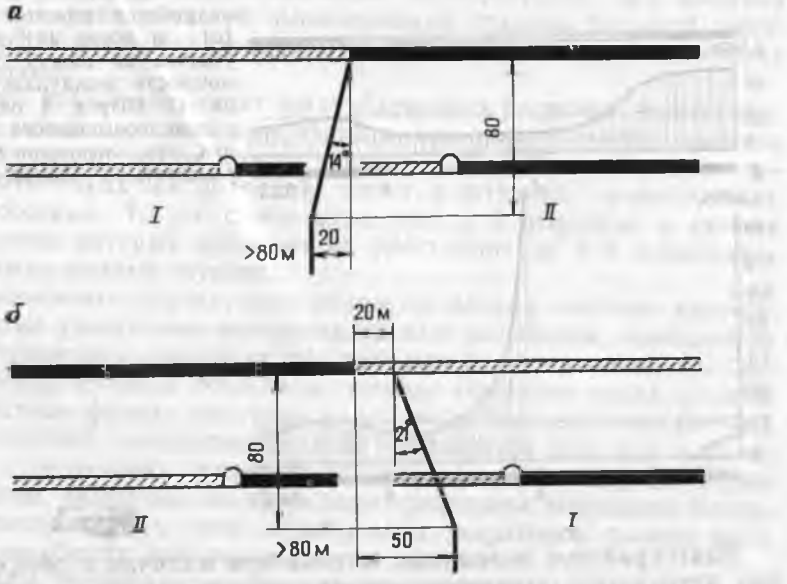


Рис. 1.105. Благоприятное (*I*) и неблагоприятное (*II*) положения выемочных штреков, параллельных краевой части вышележащего пласта (мощность междупластья 24 м), при надработке (*а*) и подработке (*б*)

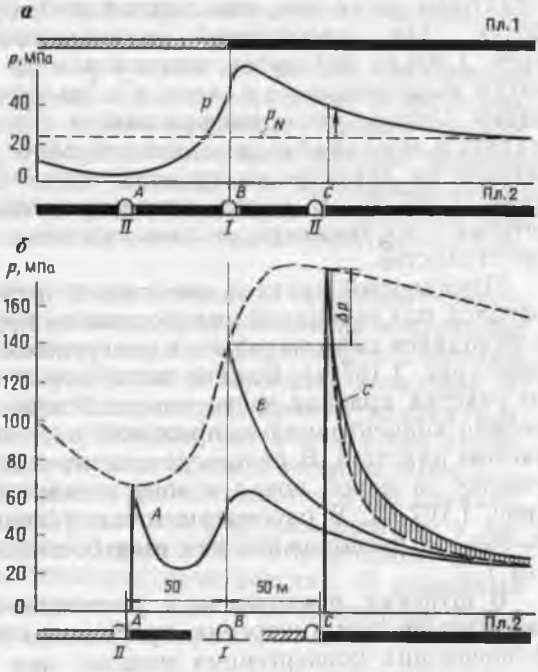


Рис. 1.106. Графики изменения давления при неблагоприятном (*I*) и благоприятном (*II*) положениях выемочных штреков *A*, *B* и *C* до (*а*) и после (*б*) отработки второго пласта:

p_N — нормальное (без влияния краевой части пласта) давление; Δp — прирост давления, обусловленный влиянием краевой части пласта; Δp_N — прирост нормального давления

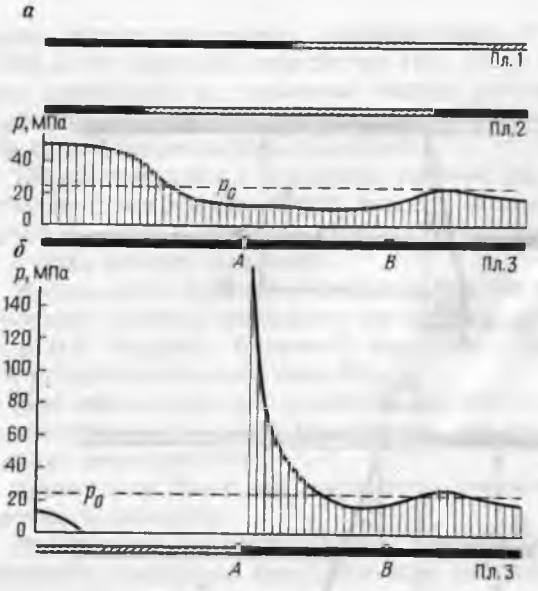


Рис. 1.107. Графики изменения защитного действия надработки пластом 2 до (*а*) и после (*б*) выемки участка по пласту 3 (при мощности междупластий по 64 м). Штрек *A* оказался в зоне повышенного давления, его следовало бы переместить в положение *B*

Благоприятное положение штрека при наличии с обеих сторон нетронутого угольного массива может оказаться неблагоприятным после того, как с одной его стороны пласт будет отработан. Так, проводимый с опережением лавы штрек *C* (рис. 1.106,*а*) находится, например, в 50 м от проекции краевой части вышележащего пласта, т. е. за пределами зоны пика давления. Однако после выемки пласта с левой его стороны он попадает в зону крайне высокого опорного давления, накладывающегося на давление от краевой части вышележащего пласта (рис. 1.106, *б*). В таких условиях лучше было бы проводить штреки с отставанием от лавы, располагая их в выработанном пространстве.

Пройденный заранее выемочный штрек по пласту 3 располагался под серединой выработанного пространства по пласту 2 и находился первоначально в разгруженной от горного давления зоне (рис. 1.107, *а*). Однако после отработки на пласте 3 второго участка краевая часть пласта 2 лишилась опоры, что обусловило концентрацию напряжений над образовавшейся краевой частью пласта 3. В результате выемочный штрек по пласту 3 на участке за лавой попал в зону повышенного горного давления (рис. 1.107, *б*). В рассматриваемых условиях его было бы целесообразно расположить под выработанным пространством пласта 1.

В штреках, проводимых с отставанием от лавы, конвергенция меньше, чем в штреках, проводимых общим забоем с лавой. В последних конвергенция меньше, чем в проводимых с опережением. Наибольшая конвергенция наблюдается в штреках,

пройденных до начала очистной выемки. Проведение штреков с отставанием от лавы особенно целесообразно при наличии влияния краевых частей вышележащих пластов, большой вынимаемой мощности разрабатываемого пласта и слабых породах его почвы.

Как показывает опыт шахт Ахенского бассейна, в штреках, проводимых с отставанием от лавы, при значительной мощности слабых пород почвы конвергенция в 300 м за лавой может достигнуть таких же значений, что и в штреках, проводимых с опережением. То же самое относится и к штрекам, в кровле или почве которых залегают на расстоянии до 6 м неразрабатываемые пласты-спутники.

Выемочные штреки, пройденные до начала очистной выемки, и другие участковые подготовительные выработки, пройденные по нетронутому угольному массиву, при большой мощности слабых пород почвы в течение достаточно большого срока службы до подхода фронта очистных работ могут подвергнуться весьма значительной конвергенции. Это объясняется тем, что в отличие от выемочных штреков, примыкающих к отработанным участкам, около них не происходит разгрузки породного массива. Следовательно, срок службы таких выработок должен быть по возможности небольшим.

Лавы. Механизированные крепи, рассчитанные для применения в благоприятных горно-геологических условиях, нередко используются при повышенном горном давлении, при слабых породах непосредственной кровли мощностью до 2 м, залегающих под прочной основной кровлей. Поэтому их следует постоянно рассчитывать на наиболее неблагоприятные условия кровли. Степень управляемости кровлей должны быть оценена заранее.

Давление на призабойную часть пласта и, следовательно, склонность кровли к вывалам у выступающего угла пласта (см. разд. 1.4.1) больше, чем у внутреннего угла выработанного пространства.

При под- или надработке параллельного очистному забою целика по соседнему пласту лава при приближении к проекции краевой части пласта попадает в зону повышенного давления. Давление на нее достигает наибольшей величины незадолго до того, как она пересечет проекцию второй кромки целика (см. разд. 1.4.3). Это обстоятельство должно учитываться при проектировании очистных работ и расчете крепи очистного забоя.

Особо высокое давление на лаву наблюдается в тех случаях, когда очистные работы приближаются широким фронтом к базисной выработке, пройденной с раскоской, к пластовому уклону или к старому выработанному пространству. В подобных случаях рекомендуется располагать лаву под некоторым углом к выработке, к которой она приближается.



2. ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ*

2.1. ТИПЫ И ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1.1. ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД [71]

Эффективность работы крепи определяется не столько первоначальным напряженным состоянием породного массива, сколько поведением породных слоев после появления первых разрушений пород, во время и после развития последующих разрушений породного массива в непосредственной близости от крепи. Поэтому требовалось привести многообразие форм разрушения пород к определенной системе. На основе изучения прочностных свойств горных пород, шахтных наблюдений и моделирования определены следующие наиболее важные зависимости.

Целесообразно различать первичные и вторичные разрушения. Такое различие важно для взаимодействия пород и крепи потому, что крепь может оказывать воздействие только на вторичные разрушения.

Если в какой-либо точке массива напряжения превысят предел прочности породы, то вначале возникает лишь ограниченное по распространению разрушение — первичное разрушение. Это разрушение изменяет напряженное состояние породного массива в прилегающей к нему зоне, что приводит к концентрации напряжений, которая после возникновения небольших деформаций обусловливает появление новых разрушений, являющихся вторичными.

Слоистый породный массив вокруг горных выработок целесообразно подразделять по возможности на отдельные пачки в направлении напластования. К первым относятся, например, породы непосредственной кровли над призабойным пространством с обрушением кровли, а также обнажения пород и угля в очистных и подготовительных выработках. Ко вторым, необнаженным пачкам, которые все еще не имеют возможности расширяться вдоль напластования, относятся, в частности, слои непосредственной кровли над лавой с полной закладкой выработанного пространства.

Разрушения породного массива, возникающие вокруг горной выработки, образуют две принципиально различные группы в зависимости от того, могут или не могут соответствующие породные пачки подвергаться деформациям растяжения в направлении напластования (табл. 2.1).

---

* Автор раздела О. Якоби.

Таблица 2.1

Вид разрушения	Поперечная деформация	
	возможна	невозможна
Изломы по плоскостям сдвига	Кососекущие изломы от сдвига (трещины R4)	Пологие изломы от сдвига
Хрупкие изломы	Нормальные к напластованию или кососекущие изломы (трещины R2 и R3)	Изгибы плит; расслоение (трещины R1)
Комбинированные	Ступенчатые изломы сдвигового или разрывного характера; крутые изломы сдвига	Все виды складок изгиба; пологие изломы сдвига

Примечание. Местами разрушений при возможности поперечных деформаций являются бока и кровля штреков, кровля штреков после разгрузки, непосредственная кровля в лаве при управлении горным давлением полным обрушением, при невозможности поперечных деформаций — кровля и почва штреков до разгрузки, непосредственная кровля и почва в лаве при управлении горным давлением полной закладкой выработанного пространства.

Крутые изломы по плоскостям сдвига могут быть наклонены в сторону угольного массива или выработанного пространства, а также попеременного в обоих направлениях. В последнем случае образуются клинообразные блоки, существенно затрудняющие управление кровлей. Пологие изломы по плоскостям сдвига, нередко образующиеся над или под штреками в виде надвигов нетектонического происхождения, являются причинами уменьшения площади поперечного сечения выработок. Изломы по плоскостям сдвига в кровле лав при отсутствии бокового давления, связывающего разделенные породные блоки, могут приводить к завалам лав. Все крутые плоскости разрыва ведут к вывалам породы из кровли в лавах. Имеются и другие формы разрушения породного массива, которые, однако, не представляют особого интереса в отношении крепей очистных выработок.

Поскольку при рассмотрении трещинообразования и вывалов породы из кровли лав мы не будем детально останавливаться на напряженном состоянии породного массива, назовем пока лишь следующие основные виды трещин: R1 — параллельные напластованию, R2 — нормальные к напластованию, R3 — наклоненные в сторону угольного массива, R4 — наклоненные в сторону выработанного пространства.

В качестве единой породной пачки можно рассматривать совокупность породных слоев, имеющих по всей своей мощности одинаковый характер разрушения. Такая пачка может состоять из нескольких слоев пород различной прочности (включая угольный пласт) и отделяться от других пачек поверхностями скольжения.

Поверхностями скольжения служат четко различимые прослойки пород с низким коэффициентом трения по их контактам. Однако они могут образовываться также под воздействием очистных работ по слабым породным прослойкам.

Плоскости скольжения в значительной мере предопределяют форму разрушения породного слоя. Они создают условия для разгрузки слоев в параллельном напластованию направлении со всеми вытекающими из этого последствиями. Для угольных пластов Рурского бассейна непосредственные кровли с поверхностями скольжения весьма характерны. В таких условиях в результате возникновения первичных и вторичных разрушений образуются клинообразные изломы по плоскостям сдвига, причем нередко на небольшом расстоянии друг от друга, поскольку мощность породной пачки несоизмеримо мала по сравнению с ее размерами по напластованию, а точки приложения нагрузки постоянно перемещаются по мере подвигания лавы. С другой же стороны, появление клинообразных вывалов свидетельствует о наличии плоскостей скольжения в непосредственной кровле лавы. Последние совместно с сопротивлением крепи предопределяют характер сдвижений породного массива, следующих за образованием изломов в кровле пласта.

В результате систематически повторяющихся процессов трещинообразования по мере подвигания очистного забоя образуется определенная система сдвижения породного массива, подчиняющаяся определенной закономерности.

2.1.2. ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ КРОВЛИ И ЗАБОЯ ЛАВЫ

Формы разрушения кровли и деформации забоя лавы характеризуются данными табл. 2.2.

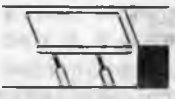
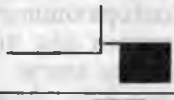
2.2. ВИДЫ ТРЕЩИН И ХАРАКТЕР СДВИЖЕНИЙ КРОВЛИ

2.2.1. РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ТРЕЩИН

Параллельные напластованию трещины R1 образуются в слоистых породах. При опускании пород с одной из сторон расслоение становится веерообразным, однако опрокидыванию слоев препятствует горизонтальное сопротивление. Трещины R1 встречаются в породах кровли и почвы подготовительных выработок, а также в кровле лав, преимущественно при отходе от разрезной печи.

Нормальные к напластованию трещины R2 особенно часто встречаются в кровле лав. Расстояние между ними может быть очень небольшим. При обрушении непосредственной кровли, разделенной такими трещинами, часто образуются породные призмы высотой в несколько дециметров при незначительных попе-

Таблица 2.2

Форма разрушения	Характеристика разрушения	Форма разрушения	Характеристика разрушения
	Обрушение кровли, преимущественно в остановленных лавах		Смещение линии обреза кровли к забою из-за дополнительного обрушения непосредственной кровли над крепью
	Зависание породной плиты при отсутствии бокового сопротивления, обрушение консоли (преимущественно при отходе лавы от разрезной печи)		Обрушение непосредственной кровли по трещинам R2, R3, R4
	Зависание породной плиты при наличии бокового сопротивления за счет продольного изгиба и образования складки, в частности, при отходе лавы от разрезной печи		Вывалы кровли по трещинам R2, R3, R4
	Смещение породного блока в сторону выработанного пространства или по падению пласта, смещение крепи		Вывалы большой высоты, высыпание породы из кровли
	Смятие непосредственной кровли		Осадка кровли по трещинам R2, R3 или R4
			Отжим верхней части пласта
			Выдавливание угольного забоя – непрерывное или периодическое ударообразное

речных размерах — всего в несколько сантиметров. Трещины R2 способствуют высыпанию пород из кровли.

Трещины R3, имеющие наклон к забою лавы, пересекают непосредственную кровлю на высоту, достигающую при определенных обстоятельствах двукратной мощности пласта. Однако часто их можно обнаружить лишь в небольшой по мощности породной пачке, если вышележащий породный слой отличается высокой прочностью или если он не имеет возможности смещаться в горизонтальном направлении (например, при управлении кровлей полной закладкой выработанного пространства). Непосредственная кровля с трещинами R2 может быть дополнительно пересечена трещинами R3 (при расстоянии между трещинами, например, 150 см).

Трещины R4, наклоненные в сторону выработанного пространства, постоянно имеют на своих плоскостях следы скольжения, а сами они обычно заполнены породным штыбом. Трещины этого вида располагаются одна за другой. Смещения пород кровли происходят по нескольким плоскостям сдвига, расположенным между забоем и выработанным пространством.

Вывалы пород из кровли могут происходить по плоскостям, образованным трещинами R3 и R4. Обе эти системы вторичного

трещинообразования часто сопровождают друг друга. При несвоевременном подхватывании крепью обнаженной кровли из нее могут вываливаться призмообразные глыбы больших размеров.

2.2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРЕЩИН И ВИДОВ СМЕЩЕНИЯ [110]

Во многих случаях на основе признаков состояния кровли (трещины, вывалы, следы скольжения) представляется возможным судить о характере ее смещения и, следовательно, о причинах давления кровли на опоры (стойки, закладочный массив).

Группы трещин. Образующиеся при разрушении породного массива блоки могут иметь случайные, неодинаковые формы. В этом случае говорят о незакономерном разрушении. Но форма породных блоков может и повторяться. Если условия нагружения породного массива остаются неизменными по мере подвигания очистного забоя, то можно говорить о закономерной форме разрушения. Повторяющиеся одинаковым образом трещины связаны с характерными для них смещениями породного массива (рис. 2.1). Трещины могут образовываться также и в смешанных формах (рис. 2.2). Деформирование породного слоя может происходить в результате его одностороннего опускания либо сжатия (уменьшения толщины) или же при совместном воздействии обоих этих видов сдвижения породного массива (рис. 2.3).

Трещины, параллельные напластованию (R1). Если поворачивать прямоугольник вокруг точки на одной из его сторон, то точки, находящиеся на противоположной стороне, будут перемещаться по окружностям, несколько выходя за пределы первоначального контура. Если же возможность бокового смещения ограничена, поскольку соседний участок породного массива не допускает движения в горизонтальном направлении, то возникают силы, отжимающие отдельные слои в противоположном направлении и смещающие их относительно друг друга (см. рис. 2.1, *а*). Чем меньше прочность сцепления на контактах слоев и чем сильнее противодействие боковому смещению, тем интенсивнее расслоение породной пачки. Однако такого рода расслоение возможно только тогда, когда деформируемая породная пачка подвергается слабому вертикальному сжатию. При сильном вертикальном сжатии на контактах наслоений появляются дополнительные силы трения, затрудняющие относительные смещения по плоскостям напластований. Поэтому параллельные напластованию трещины появляются в породах непосредственной кровли только над призабойным или выработанным пространством, но не над пластом.

Трещины, перпендикулярные напластованию (R2). Опускание непосредственной кровли начинается уже над призабойной краевой частью пласта под действием опережающего опорного

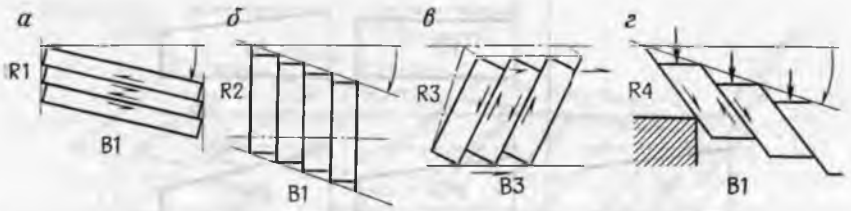


Рис. 2.1. Схемы трещин и виды смещения породных слоев:

а — параллельные напластованию трещины R1, образующиеся при одностороннем опускании слоя без опоры и отсутствии возможности бокового смещения (вид смещения породного слоя B1); *б* — нормальные к напластованию трещины R2, образующиеся при одностороннем опускании породного слоя и отсутствии возможности бокового смещения (B1); *в* — косые к напластованию трещины R3, образующиеся при опускании породного слоя со взаимным смещением блоков (B3); *г* — косые к напластованию трещины R4, образующиеся при одностороннем опускании слоя при отсутствии опоры (B1)

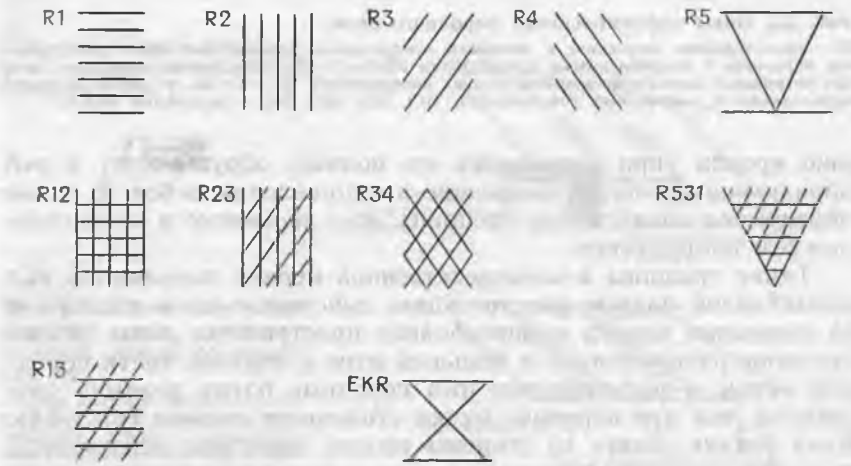


Рис. 2.2. Группы трещин:

R1 — параллельных напластованию; R2 — нормальных к напластованию; R3 — косых к напластованию с наклоном на забой; R4 — косых к напластованию с наклоном в сторону выработанного пространства; R5 — клинообразующих; R12 — нормальных к напластованию в комбинации с параллельными напластованию; R23 — нормальных и косых к напластованию трещин (возможна также комбинация трещин R2 и R4); R34 — перекрещивающихся; R531 — клинообразующих R5 в комбинации с R3 и R1; R31 — параллельных и косых к напластованию; EKR — одиночных перекрещивающихся трещин

давления. Однако вследствие сильного подпора кровли пластом здесь не могут произойти относительные смещения слоев по их контактам (т. е. параллельно напластованию) из-за больших сил трения. В этом случае происходит разделение породной пачки плоскостями, перпендикулярными к напластованию (см. рис. 2.1, *б*).

Трещины, расположенные косо по отношению к напластованию с наклоном на забой (R3). Если к вертикальному давлению добавляется смещение (выдавливание) пласта в призабойное пространство, передающееся за счет сил трения породам кровли, то при отсутствии сопротивления горизонтальному смеще-

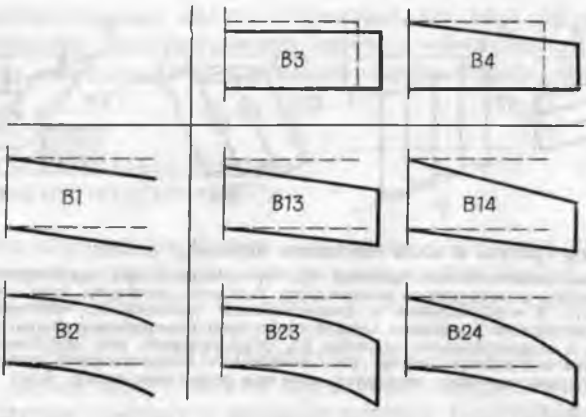


Рис. 2.3. Виды деформирования породного слоя:
B1 — одностороннее опускание с прямыми контактными плоскостями; B2 — одностороннее опускание с искривленными контактными плоскостями; B3 — смятие породного слоя при сохранении параллельности контактных поверхностей; B4 — то же, но без сохранения параллельности контактных поверхностей; B13, B23, B14, B24 — смешанные формы

нию кровли (при управлении ею полным обрушением) в ней образуются трещины, падающие в направлении забоя. В почве образуются аналогичные трещины, но с наклоном в противоположном направлении.

Такие трещины в непосредственной кровле появляются над призабойной частью пласта. Здесь действуют силы подпора и от смещения пласта в призабойное пространство лавы. Косые трещины раскрываются в большей мере в верхней части породной пачки, а расчлененные ими породные блоки взаимно смещаются, так что породная пачка становится тоньше (рис. 2.4). Если усилие сдвига со стороны пласта перестает действовать, трещины снова закрываются и при дальнейшем повороте расчлененных ими породных блоков возникают значительные силы трения. После выемки угля из-под нарушенной такими трещинами полосы непосредственной кровли усилия подпора значительно уменьшаются и косые поверхности разлома получают возможность повернуться в обратном направлении. При этом трещины раскрываются уже в нижней части породной пачки. В то время как непосредственная кровля вблизи забоя при раскрытых косых трещинах является достаточно разрыхленной и ее нижняя поверхность вогнута, у завальной стороны при закрытых трещинах она уже «уплотнена», а ее поверхность приобретает выпуклую форму.

Подобный процесс разворота породных блоков над призабойным пространством лавы является особенно опасным. При раскрытых трещинах уменьшается или даже полностью исчезает трение между поверхностями блоков, в результате чего возникает опасность их выскальзывания и обрушения в призабойное пространство. Таким образом, крепь должна противодейст-



Рис. 2.4. Схема образования и развития трещин R3 в кровле пласта





Рис. 2.5. Схема сдвижения породных слоев непосредственной кровли по трещинам R4:

а — при наличии бокового сопротивления; *б* — с опрокидыванием породных блоков, веерообразным раскрытием трещин и смятием при отсутствии бокового сопротивления

вовать не только нагрузкам от веса отделившихся от массива пород непосредственной кровли, но и усилиям, стремящимся развернуть расчлененные косыми трещинами породные блоки, с тем чтобы сохранить действующие между ними силы трения.

Трещины, расположенные косо к напластованию с наклоном в сторону выработанного пространства (R4). Подобные трещины образуются в тех случаях, когда породы непосредственной кровли сдвигаются над опорой (например, над краевой частью пласта) в сторону призабойного пространства лавы (рис. 2.5). Они встречаются особенно часто при слабых породах непосредственной кровли и крепком угле.

Клинообразующие трещины. Слабые породные слои в непосредственной кровле, находящиеся над плоскостями скольжения, могут подвергаться смятию (т. е. деформированию с уменьшением толщины) в результате смещения блоков, расчлененных

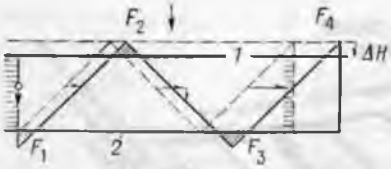


Рис. 2.6. Схема смятия непосредственной кровли в результате взаимного смещения блоков, расчлененных клинообразующими трещинами, по плоскостям скольжения *1* и *2*:

F_1—F_4 — сминаемые углы клинообразных блоков; ΔH — высота смятия пород

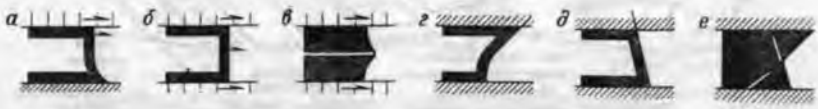


Рис. 2.7. Схемы деформации призабойной части пласта:

а — поверхность забоя соответствует полукругу предельных напряжений Мора; слабое трение по кровле или наличие отжимаемой вместе с пластом породной пачки; крепкая кровля; *б* — прямая, ровная поверхность забоя при отсутствии сильного трения как по кровле, так и по почве; *в* — поверхность забоя соответствует двум полукругам предельных напряжений Мора; отсутствие сильного трения по кровле и почве, сильное трение по прочному породному прослойку; *г* — поверхность забоя скошена в результате продолжения по пласту косых трещин R3, развившихся в кровле; поверхности трещин не имеют следов скольжения; *д* — поверхность забоя скошена по трещинам R4, образовавшимся вследствие осадки кровли или разгрузки пласта; имеются следы скольжения; *е* — забой разбит крестообразными трещинами, образовавшимися в результате разгрузки пласта и опускания кровли

клинообразующими трещинами, под действием опережающего опорного давления (рис. 2.6).

Трещины в призабойной части пласта (рис. 2.7). Если прочность пород кровли мало отличается от прочности угля, то трещины, образующиеся в кровле, могут распространяться на пласт. В этом случае, особенно в верхней пачке пласта, встречаются косые трещины, имеющие наклон в направлении подвигания забоя (рис. 2.7, *г*). Поверхность таких трещин внешне имеет вид хрупкого излома без следов скольжения.

Косые трещины, наклоненные в сторону выработанного пространства (рис. 2.7, *д*), наоборот, имеют следы скольжения, поскольку они, как и соответствующие трещины в кровле пласта, являются результатом сдвига, обусловленного действием опережающего опорного давления. Такие трещины в пластах встречаются особенно часто, даже если их нет в непосредственной кровле. Пласт, находящийся в условиях упругого сжатия под действием веса всей толщи налегающих пород, может разгружаться в сторону призабойного пространства именно по таким наклонным поверхностям разрыва. Во многих случаях образуются перекрещивающиеся системы трещин (рис. 2.7, *е*), которые расчленяют пласт на видные блоки, выдавливаемые в призабойное пространство.

2.2.3. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КЛИНОВИДНЫХ ВЫВАЛОВ ИЗ КРОВЛИ [71]

Опыты на моделях показывают, что клиновидные вывалы в кровле появляются только в тех слоях, которые имеют возможность бокового смещения и отделены от остального массива

плоскостями скольжения. Аналогичные трещины встречаются и в шахте в таких же горно-геологических условиях. Разумеется, в породном массиве можно встретить различные отклонения от получаемых на моделях форм разрушения, в связи с тем что клинообразующие трещины могут пересекаться с другими трещинами тектонического и эксплуатационного происхождения.

Образующиеся клиновидные блоки смещаются относительно друг друга по плоскостям разрушения. Это смещение имеет две компоненты: нормальную к напластованию, вызывающую уменьшение толщины деформируемого слоя, и параллельную напластованию, вызывающую его удлинение. При смещении острые концы клиньев сминаются, причем указанное смятие может глубоко проникать в глубь клиновидного блока. В подобном случае наиболее сильное относительное смещение клиновидных блоков наблюдается примерно в середине деформируемого слоя. Если клинообразующие трещины пересекают как непосредственную кровлю, так и пласт, то по мере подвигания лавы в кровле появляются выступы как следствие взаимных смещений блоков кровли и пласта.

При выемке пласта за таким выступом в кровле (под сужающимся вверх клиновидным породным блоком) следует ожидать вывала раздробленных при смятии острого конца клина пород. Поэтому в таких местах крепь должна устанавливаться особенно тщательно.

В случае, если смещение непосредственной кровли по напластованию происходит беспрепятственно, состояние равновесия не может наступить без уже упоминавшегося разрушения концов клиньев, проникающего на определенную глубину внутрь породных блоков. Взаимные смещения клиновидных блоков начинаются тогда над пластом в нескольких метрах от забоя. За счет распора непосредственной кровли между крепью лавы и основной кровлей можно увеличить силы трения, препятствующие смещению кровли в направлении выработанного пространства и ее дальнейшему разрушению, и ограничить число развивающихся над призабойной частью пласта клиновидных вывалов из кровли до одного — трех. Расчетами установлено, что при увеличении рабочего сопротивления крепи в два раза число участвующих в процессе смятия в непосредственной кровле породных клиньев уменьшается на один — два. Таким образом, крепь лавы может до определенной степени воздействовать на сдвижение и явления вторичного разрушения кровли. При коэффициенте трения по плоскости скольжения, равном 0,3, рабочее сопротивление крепи должно быть в три раза выше, чем при коэффициенте трения 0,6. Уже при коэффициенте трения 0,75 развитие клиновидных вывалов может быть полностью локализовано, а для предупреждения смятия кровли необходимо минимальное рабочее сопротивление крепи.

Предпосылкой смятия непосредственной кровли в форме взаимного смещения клиновидных блоков является возможность

смещения кровли в направлении выработанного пространства. Если обрушению непосредственной кровли в выработанном пространстве препятствует полная либо частичная закладка или же только костровая крепь, клиновидных вывалов из кровли в лаве не происходит. В модели после подвигания забоя на 4 м (40 м в натуре) была применена полная закладка. Влияние предыдущей работы с обрушением кровли ощущалось еще на 2 м подвигания забоя, затем смещение породных блоков по клинообразующим трещинам прекратилось, после чего такие трещины вообще перестали возникать.

2.2.4. ОБРАЗОВАНИЕ КЛИНОВИДНОГО ВЫВАЛА

Как показывают результаты моделирования, клинообразующие трещины, появившиеся над призабойной частью пласта, в породах кровли заканчиваются под плоскостью скольжения, а внизу ограничиваются почвой пласта. Нередко в образовании клиновидных блоков принимает участие и слой слабых пород почвы над плоскостью скольжения. При наличии в кровле нескольких плоскостей скольжения могут наблюдаться системы клиновидных трещин разной высоты. Непосредственно у забоя в результате оседания образуется выступ, высота которого (высота взаимного смещения породных слоев) постепенно уменьшается снизу вверх вдоль трещины.

Клинообразующая трещина вверху более крута, чем внизу, что вообще характерно для трещин этого типа. Над стойками видны еще несколько таких трещин. Смещение пород происходит лишь до половины высоты трещин.

При дальнейшей отработке модели разрушение кровли распространилось почти на всю высоту трещин. Такой же высоты достиг и вывал из кровли. Перед полостью вывала раскрылась параллельная напластованию трещина. Более заметными стали трещины над стойками. Вся непосредственная кровля над призабойным пространством сместилась по горизонтали в сторону выработанного пространства.

После этого произошло обрушение кровли по ранее образовавшимся трещинам. Полость клиновидного вывала расширилась. Без выкладки костра над крепью несомненно высыпалась бы и остальная часть раздробленных пород. Слои непосредственной кровли над пластом еще более сместились по горизонтали в сторону выработанного пространства.

2.2.5. РАСШИРЕНИЕ ЗОНЫ КЛИНОВИДНОГО ВЫВАЛА

Сравнительно небольшой вывал кровли нередко является лишь частью разветвленной системы клинообразующей трещиноватости, из которой при определенных условиях могут возникнуть более обширные вывалы. В одной из моделей вывал произошел, например, под острием расширяющейся кверху клиновидной

зоны, ограниченной пересекающимися трещинами. Одна из трещин, исходящая из острия клина, в средней своей части раскрыта, что объясняется относительным смещением породного блока и изменением наклона трещины. В шахте такого рода раскрытие трещины нередко можно наблюдать в острой части клиновидного вывала. Над раскрытой частью трещины находится направленный вниз клин со ступенчатым изломом в узкой части.

В средней части модели наблюдалась пересекающая непосредственную кровлю между вывалом и забоем косая трещина. Она не имела признаков относительного смещения породных слоев и их разрыхления. В противном случае вывал, по-видимому, распространился бы до этой трещины. По следующей трещине, проходящей над призабойной частью пласта, смещение породных слоев уже произошло. При дальнейшей выемке угля и в случае отсутствия крепи между этой трещиной и забоем может произойти клиновидное обрушение на большую высоту. Тогда может высыпаться и порода, находящаяся под ступенчатым изломом первого вывала, так что образовавшийся вывал примет трапециевидную форму. Следовательно, своевременная локализация небольших вывалов может предотвратить дальнейшее смещение пород и воспрепятствовать образованию крупных вывалов. Такой результат достигается при своевременном подхватывании свежеобнаженной кровли крепью.

2.3. ПОВЕДЕНИЕ КРОВЛИ ПРИ ОТХОДЕ ЛАВЫ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧИ

2.3.1. ТИПИЧНЫЕ СХЕМЫ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ ПРИ ОТХОДЕ ЛАВЫ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧИ

В одном из случаев, когда слой пород непосредственной кровли в лаве, закрепленной индивидуальными стойками, по горизонтально залегающему пласту в результате смятия был смещен в призабойном пространстве, наблюдалось разрушение плохо защищенного от сдвига деревянного костра и обрушение кровли. Боковое сдвижение непосредственной кровли стало возможным лишь после того, как произошло ее первое обрушение, и она потеряла боковой распор в выработанном пространстве.

В другом случае смещение кровли относительно пласта или смятой непосредственной кровли относительно вышележащего породного слоя было обусловлено высоким давлением, действовавшим по нормали к напластованию. Об этом свидетельствовали имевшиеся следы скольжения (подобного рода следы скольжения характерны обычно для лав, отошедших на достаточно большое расстояние от разрезной печи). Попытки предупредить боковое смещение кровли дополнительной анкерной крепью не принесли успеха.

2.3.2. ФОРМЫ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ В НАЧАЛЬНЫЙ И ПОСЛЕДУЮЩИЙ ПЕРИОДЫ РАБОТЫ ЛАВЫ [78]

Обрушение пород непосредственной кровли между забоем лавы и разрезной печью создает условия для смещения крепи. Часто этому способствуют взрывные работы в лаве. Более надежным было бы не допускать в начальный период работы лавы обрушения непосредственной кровли за счет полной закладки выработанного пространства или выкладки деревянных костров, заполненных породой [40]. Косые трещины в непосредственной кровле, образовавшиеся над забоем лавы, продолжают развиваться и после обрушения непосредственной кровли над выработанным пространством. В результате зависающий непосредственно над забоем породный блок может в любой момент обрушиться, создав угрозу для находящихся в лаве людей.

При применении механизированных крепей такие явления не возникают. Однако из-за одностороннего оседания кровли перекрытия крепей могут быть смещены к забою, что приведет к значительному их повреждению.

В лавах, работающих без закладки, в начальный период отхода от разрезной печи непосредственная кровля обрушается в форме плит. При этом в определенных условиях обрушение наиболее крупных породных плит может быть неуправляемым. В последующем породы непосредственной кровли перед обрушением расчленяются вертикальными или косыми трещинами на относительно небольшие по размеру блоки. При небольшом горном давлении и крепких породах кровли, а также недостаточном рабочем сопротивлении крепи плитообразный характер обрушения непосредственной кровли и другие специфичные для начального периода работы лавы явления могут наблюдаться также и после отхода лавы на достаточно большое расстояние от разрезной печи.

2.3.3. СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ ОБРУШЕНИЯ КРОВЛИ [75]

Опасность обрушения кровли можно показать на следующем примере. Непосредственная кровля, мощность которой меньше мощности пласта, обрушилась в выработанном пространстве. Поверхность залегающей над ней основной кровли была гладкой и ровной. Как и в большинстве подобных случаев, отмечалась незначительная конвергенция в лаве из-за ненагруженности стоек индивидуальной крепи и отсутствия прижатия непосредственной кровли к основной. В силу последнего обстоятельства непосредственная кровля уже не удерживалась силами трения на контакте с основной кровлей и могла смещаться под действием направленной по падению пласта компоненты собственного веса. В результате этого стойки призабойной крепи падали. Предотвратить их падение не удавалось даже при установке деревянных прогонов между соседними стойками и верхняками.

Подобного рода опасность характерна особенно для лав, работающих без закладки выработанного пространства. Однако она существует и в лавах с управлением горным давлением закладкой выработанного пространства в случае зависания основной кровли, сложенной прочными песчаниками. В обоих случаях основную угрозу представляет незначительное опускание кровли, в результате чего стойки призабойной крепи не подвергаются достаточной нагрузке.

Опасная ситуация может возникнуть и в самой лаве вследствие первоначально ограниченных вывалов пород из кровли.

Над выработанным пространством лавы, отошедшей на достаточно большое расстояние от разрезной печи, часто образуются пологие своды обрушения с большими пролетами между опорами. Они разбиты на блоки перпендикулярными к напластованию или косыми трещинами. Породные блоки медленно опускаются. Подобное поведение пород кровли не только не опасно, но даже благоприятно. Оно вызвано тем, что при блочном опускании пород нарушается сплошность поверхностей скольжения и предупреждается опасность сдвига пород по напластованию. Собственная несущая способность пород кровли повышается, поскольку при защемлении блоков в своде происходит закрытие трещин в кровле над лавой, что препятствует вывалам пород, особенно у забоя. Если такой пологий свод обрушения разрушить, например, торпедированием кровли, то нарушатся условия горизонтального защемления блоков, раскроются трещины и в незакрепленных местах призабойного пространства, например между концами верхняков и забоем, произойдут вывалы породы. Поэтому следует скорее стремиться к образованию пологих сводов обрушения с широко разнесенными опорами, чем к их предупреждению.

2.3.4. ОБРУШЕНИЕ КОНСОЛЬНЫХ ПЛИТ КРОВЛИ [74]

Обрушение зависающих консольных плит кровли может привести к завалам лав с индивидуальной крепью. При применении механизированных крепей оно приводит к смещению перекрытий секций крепи к забою.

Расстояние между соседними продольными трещинами в непосредственной кровле часто равно ширине вынимаемой полосы угля, но нередко оно составляет всего несколько дециметров или даже сантиметров. В некоторых же случаях это расстояние достигает ширины призабойного пространства лавы. Если в непосредственной кровле имеются плоскости ослабления, то этими плоскостями и трещинами породы кровли расчленяются на большие и относительно мощные плиты, при зависании которых значительно усложняются условия работы крепи, что может потребовать применения специальных мер ее защиты.

Подобные плиты могут образовываться при следующих условиях:

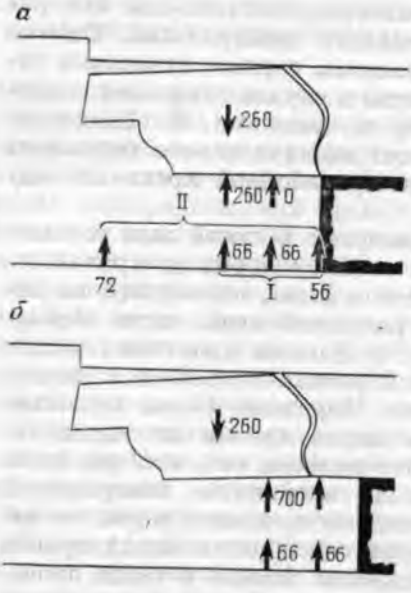


Рис. 2.8. Расчетные схемы поддержания отделившегося от массива блока непосредственной кровли до (*а*) и после (*б*) выемки очередной полосы угля и переноса крепи:

I и *II* — соответственно с опорой и без опоры блока на обрушенные породы; цифры — действующие нагрузки и реакции (кН)

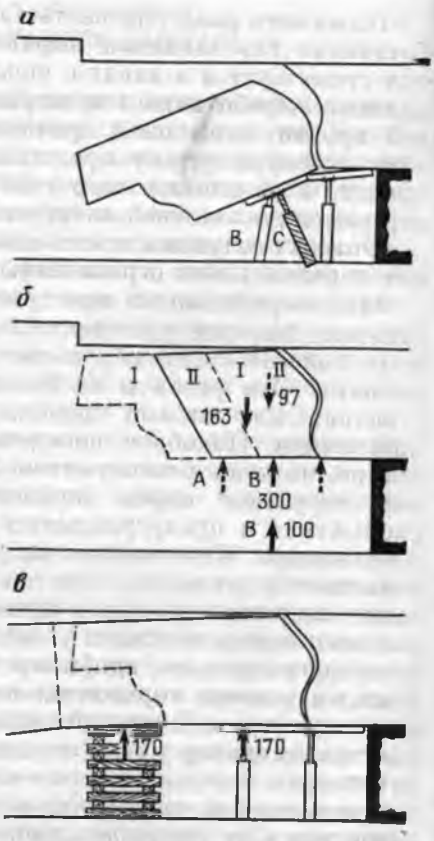


Рис. 2.9. Схемы различных вариантов удержания в равновесии нависающего породного блока после выемки очередной полосы угля:

а — с использованием распорной стойки *С*; *б* — при взрывании блока за стойкой *А* и перестановки ее к забою (*I*) и при взрывании блока за стойкой *В* (*II*); *в* — выкладкой костра; цифры — действующие нагрузки и реакции (кН)

прочной непосредственной кровле мощностью от одной до двух мощностей пласта, отделенной от основной кровли плоскостью ослабления;

небольшом горном давлении;

малом рабочем сопротивлении крепи;

отходе лавы от разрезной печи при применении способа управления горным давлением полным обрушением.

На основе результатов моделирования составлены расчетные схемы поддержания отделившегося от массива блока непосредственной кровли (рис. 2.8).

Сопротивление крепи составляло 132 кН на 1 м длины лавы. Нагрузка от отделившегося от кровли породного блока равнялась 260 кН/м. Простой расчет показывает, что блок удерживался от обрушения только потому, что один его конец опирался на обрушенные породы (нагрузка 72 кН/м), а второй удержи-

вался у забоя силами сцепления с породным массивом (56 кН/м) (см. рис. 2.8, *а*). Способность обрушенных пород и призабойной части пласта воспринимать часть нагрузки, обусловленной весом отделившейся от основного массива породной толщи, играет существенную роль и в натурных условиях. В противном случае было бы трудно объяснить успешное применение в последние годы крепей с небольшим рабочим сопротивлением при управлении кровлей полным обрушением.

Рассмотрим теперь случай, когда рабочее сопротивление крепи повышено до такой величины, что она одна способна выдерживать нагрузку от веса отделившейся от массива породной плиты. Так как центр тяжести породного блока находится примерно над вторым рядом стоек, рабочее сопротивление одного лишь этого ряда стоек должно составлять 260 кН/м.

Значительно ухудшатся условия работы крепи после выемки следующей полосы угля (см. рис. 2.8, *б*). Центр тяжести породного блока будет расположен уже за пределами последнего ряда стоек. Его вес будет передаваться на задний ряд стоек через плечо рычага, что потребует увеличить их рабочее сопротивление более чем в два раза. В данном случае для удержания породного блока в равновесии необходимо рабочее сопротивление стоек не менее 700 кН/м. Еще большее сопротивление требуется при расположении трещины отделения блока от массива ближе к стойкам.

Фактически в модели можно было применить лишь стойки с рабочим сопротивлением, соответствующим 66 кН/м. Поэтому задние консоли шарнирных верхняков опускались в связи с просадкой стоек. Верхним опорам задних стоек пришлось сместиться в направлении к забою, и стойки приняли наклонное положение, сместив через шарнирные верхняки к забою передние стойки. Для повышения устойчивости крепи могут быть использованы распорные наклонные стойки(рис. 2.9, *а*), возможно также взрывание блоков или выкладка костров по линии обрушения. После взрывания породных блоков за стойкой *А* (рис. 2.9, *б*) нагрузка на стойку *В* снизилась бы до 300 кН/м, а при взрывании за стойкой *В* — до 100 кН/м. При выкладке костров (рис. 2.9, *в*) нагрузка на заднюю стойку после перестановки крепи уменьшилась бы до 170 кН/м.

2.4. ПОВЕДЕНИЕ КРОВЛИ В ЛАВЕ, ОТОШЕДШЕЙ НА ДОСТАТОЧНО БОЛЬШОЕ РАССТОЯНИЕ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧИ

2.4.1. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРОВЛИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ РАБОЧЕМ СОПРОТИВЛЕНИИ КРЕПИ

При высоком рабочем сопротивлении крепи слои пород непосредственной кровли прижимаются друг к другу и за счет возникающего трения ведут себя как монолитная породная пачка.

При низком рабочем сопротивлении крепи происходит расслоение породной пачки и взаимная работа слоев как единой несущей конструкции уже невозможна. Опускающийся каждый в отдельности породный слой изгибается сильнее, что приводит к большому трещинообразованию.

Согласно шахтным измерениям, повышение рабочего сопротивления крепи свыше 250 кН/м² не оказывает какого-либо влияния на частоту вывалов высотой менее 30 см. В то же время при рабочем сопротивлении крепи, значительно меньшем 250 кН/м², может наблюдаться существенное увеличение частоты вывалов высотой более 50 см, особенно при глубине горных работ свыше 800 м.

Результатом слишком низкого рабочего сопротивления крепи являются вывалы кровли на большую высоту и образование высоких выступов в оседающей кровле. Многочисленные вывалы высотой менее 30 см сами по себе еще не свидетельствуют о недостаточном сопротивлении крепи. Слишком высокое рабочее сопротивление крепи может привести к дальнейшему разрушению уже нарушенных породных слоев кровли и к смещению к забою линии обреза кровли. Несущая способность слабой кровли при излишне высоком сопротивлении крепи снижается.

2.4.2. РАБОЧЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЕПИ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ПОРОДАХ КРОВЛИ [115]

В одном из опытов на модели, при котором характер трещиноватости пород кровли приводил к образованию клиновидных вывалов, удалось показать, что состояние непосредственной кровли может быть существенно улучшено за счет повышения рабочего сопротивления крепи с 200 до 600 кН/м². Благодаря этому повысилось сцепление на контакте непосредственной кровли с основной, что снизило опасность смещения слоев непосредственной кровли по напластованию. Меньшее смещение породной пачки по напластованию обусловило меньшее сдвижение блоков по клинообразующим плоскостям. Трещины уже не могли раскрываться достаточно широко. Равным образом уменьшились частота и ширина вывалов в кровле. Однако удельная поверхность вывалов сократилась лишь с 19,6 до 14,4%. Такая разница ввиду большого разброса данных измерений не может считаться достаточно существенной.

Резкое повышение рабочего сопротивления крепи при уже раскрывшихся трещинах привело к смятию острых концов клиновидных блоков и раздавливанию породной пачки между верхняками крепи и основной кровлей. Поэтому для улучшения состояния непосредственной кровли рабочее сопротивление крепи следует повышать в таких случаях постепенно. Опасность смятия особенно велика после крупных вывалов породы из кровли, поскольку временно может быть прекращено противодействие крепи смещению непосредственной кровли по напластованию.

Такую опасность рекомендуется устранять путем уменьшения рабочего сопротивления крепи и установки специальной крепи по линии обреза кровли. Признаком излишне высокого сопротивления крепи является перемещение линии обреза кровли ближе к забою.

При еще большем рабочем сопротивлении крепи или при большей прочности пород непосредственной кровли опасность зависания над крепью может появиться и при отсутствии крупных обвалов породы.

Сравнение данных, полученных при моделировании, с результатами шахтных измерений показывает, что расстояние между концами верхняков (или консолями перекрытий) и плоскостью забоя оказывает большее влияние на частоту и размеры обвалов кровли, чем рабочее сопротивление крепи, если оно не ниже определенного минимального значения.

Над призабойной частью пласта трещины образуются не только в породах непосредственной кровли, заполняющих после обрушения выработанное пространство, но и в вышележащих породных слоях. С увеличением рабочего сопротивления крепи расстояние между такими трещинами уменьшается, причем как в нижних, так и в залегающих над ними породах кровли. Этот факт трудно установить шахтными наблюдениями, так как раскрытие эксплуатационных трещин происходит только при низком сопротивлении крепи, когда такие трещины хорошо видны. При низком сопротивлении крепи сдвижению подвергаются крупные породные плиты, которые смещаются более интенсивно по немногим плоскостям разлома; при высоком сопротивлении крепи менее интенсивное сдвижение породного массива распределяется по большему числу трещин.

9.5. ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

9.5.1. РАСПОР ПОРОД В СВОДАХ ОБРУШЕНИЯ И ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ [75]

Если горизонтальный распор является причиной как зависания кровли над выработанным пространством, так и улучшения ее состояния, то под действием такого распора должны, следовательно, закрываться ранее раскрывшиеся трещины. Установлено также, что с увеличением длины зависающей породной консоли число раскрытых трещин уменьшается.

Положительное действие горизонтального распора на состояние кровли подтверждается данными применения полной и частичной закладки выработанного пространства и удержания кровли на кострах. Кроме того, известно, что смещение непосредственной кровли над призабойной частью пласта в период отхода лавы от разрезной печи происходит лишь после того, как в выработанном пространстве обрушится породная пачка, и что такому смещению можно воспрепятствовать оставляемыми в вы-

работанном пространстве кострами или закладочным массивом.

Такое действие полной закладки было доказано на моделях. Вначале пласт в модели «отрабатывали» с обрушением кровли. При этом в слоях непосредственной кровли, отделенной от пласта и основной кровли плоскостями ослабления, возникали клинообразующие трещины. Клиновидные блоки под действием вертикальной составляющей горного давления вжимались друг в друга, в результате чего происходило смещение непосредственной кровли в сторону выработанного пространства. После перехода на полную закладку выработанного пространства и дальнейшего подвигания забоя на 20 м (в пересчете на натуру) образование клиновидных блоков в непосредственной кровле еще продолжалось, но сама она была уже зажата между закладочным массивом и основной кровлей настолько сильно, что не могла смещаться по напластованию. В результате появления горизонтального распора клиновидные вывалы из кровли прекратились.

Из практики применения пневматической закладки выработанного пространства известно, что обрушения в лавах происходили в тех случаях, когда закладочный массив возводили полосами. Непосредственная кровля могла обрушаться в пространство между закладочными полосами, из-за чего нарушались условия горизонтального распора. В результате кровля над лавой получала возможность разрыхляться по напластованию и обрушаться над забоем. По той же причине при взрывании зависшей консоли непосредственной кровли могут возникать крупные вывалы в забое, приводящие даже к местным завалам лав. Образовавшийся после взрывания обрез кровли, простирающийся на большую высоту, освобождает непосредственную кровлю от горизонтального распора и дает ей возможность разрыхляться. Поэтому, за исключением случаев залегания в непосредственной кровле простых пород, взрывание нависающих консольных породных плит в начальный период отхода лавы от разрезной печи не рекомендуется.

Практика показывает, что поведение кровли в лаве в значительной мере определяется горизонтальным распором породных слоев и обусловленным им зависанием кровли. Их следует стремиться сохранять и не нарушать.

Широко известная гипотеза свода давления получает в данном случае свое подтверждение, но лишь для периодически повторяющихся кратковременных явлений, происходящих в ограниченном объеме выработанного пространства. Дело в том, что в выработанном пространстве образуется не один, а несколько сводов давления, последовательно возникающих между двигающимся забоем и крепью лавы с одной стороны и обрушенными породами — с другой. При этом вертикальное опорное давление свода не играет такой существенной роли, как раньше считалось, поскольку своды давления имеют небольшие размеры, а давление, действующее на призабойную часть пласта, на не-

Таблица 2.3

Проявления горного давления	Число случаев состояния кровли при увеличении длины зависающей консоли	
	улучшенного	ухудшенного
Вывалы из кровли:		
в призабойном пространстве	10	3
между концами верхняков и забоем	6	1
Раскрытие трещин в кровле	5	1
Ступенчатое опускание кровли	2	1
Отжим угля	6	3

Примечание. По данным наблюдений в 29 лавах.

сколько порядков выше того, которое могло бы быть вызвано такими сводами. Намного более важными являются горизонтальные компоненты сил, возникающих в своде, поскольку именно они нередко оказывают положительное воздействие на поведение кровли в лаве. Поэтому представляется более оправданным говорить не о сводах, а о горизонтальном распоре пород кровли. Явление горизонтального распора на практике встречается значительно чаще, чем об этом можно было бы судить по поведению кровли в лаве; горизонтальный распор создается нередко и в вышележащих слоях кровли.

Явления образования и исчезновения горизонтального распора в сводах обрушения могут периодически сменять друг друга. Этот процесс можно наблюдать в лавах в виде так называемого «периодического» проявления давления. Периодически обрушаться могут также и верхние слои пород кровли.

2.5.2. ЧАСТОТА И ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ [75]

Если зависающая породная консоль опирается на обрушенные породы с образованием свода обрушения, то это оказывает благоприятное действие на состояние кровли в лаве (табл. 2.3).

При отсутствии такой опоры (рис. 2.10, *а*) конвергенция и площадь вывалов кровли в лаве увеличиваются. При этом можно наблюдать периодически сменяющиеся ухудшения и улучшения состояния кровли (рис. 2.11).

2.6. СТУПЕНЧАТОЕ ОПУСКАНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КРОВЛИ

2.6.1. ПРИМЕРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСТУПОВ В КРОВЛЕ

Часто уже во время выемки угля в кровле пласта обнаруживаются выступы высотой в несколько сантиметров. В определенных условиях через несколько часов их высота может увели-

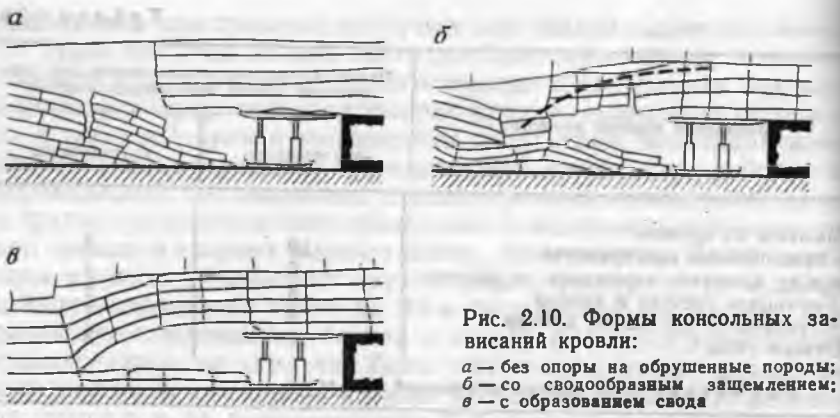


Рис. 2.10. Формы консольных зависаний кровли:
а — без опоры на обрушенные породы; *б* — со сводообразным защемлением; *в* — с образованием свода

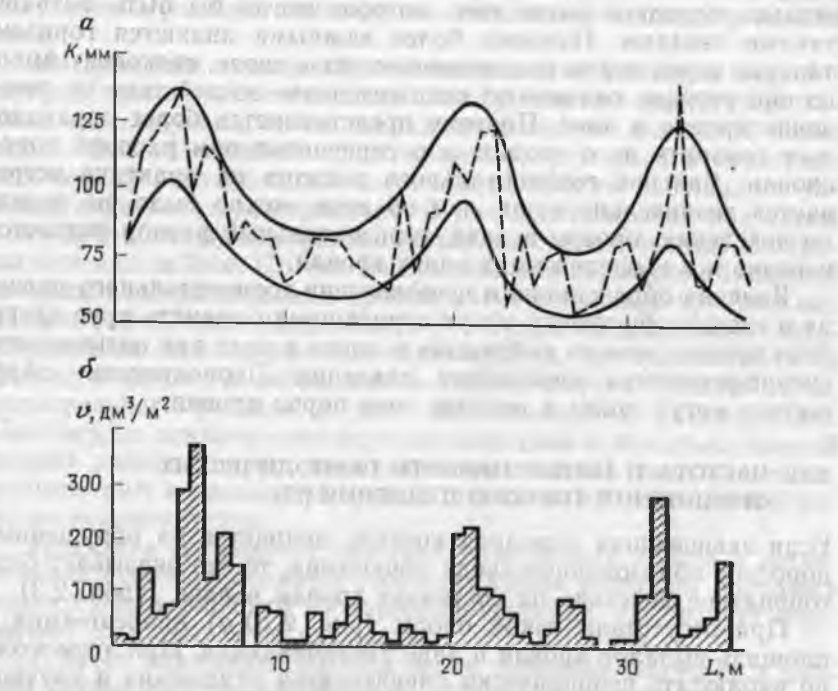


Рис. 2.11. Периодическое изменение конвергенции K (*а*) и удельного объема вывалов из кровли υ (*б*) по длине отрабатываемого по простиранию выемочного участка L (по Ш. Шамбону)

читься до нескольких дециметров или даже до 1 м и более. Однако не каждый выступ является признаком возможной осадки кровли. Такие выступы образуются почти при всех типах трещин и видах сдвижения кровли. Осадка кровли происходит как по нормальным к напластованию, так и по косым поверх-

ностям излома, имеющим и не имеющим следов скольжения. Следы истирания в выступах по трещинам R2 локально ограничены передними поверхностями. Плоскости выступов по трещинам R3 в общем случае не имеют следов истирания или скольжения. Нередко между опустившейся и находящейся выше частями кровли зияет открытая трещина. На плоскостях трещин R4 во всех случаях находятся истертая породная мелочь и сильные следы скольжения, что свидетельствует о значительных усилиях, вызвавших смещение массива по этим трещинам. Следовательно, можно сделать вывод, что повышение сопротивления крепи может оказаться особенно перспективным именно при такой форме сдвижения массива.

Плоскость, по которой происходит осадка кровли, во всех случаях параллельна забою. Лишь изредка она совпадает с направлением трещин кливажа.

2.6.2. ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ ВЫСТУПОВ В КРОВЛЕ

Осадка кровли с образованием больших выступов происходит в том случае, если рабочее сопротивление крепи слишком мало, породы кровли прочны (песчаник или песчанистые сланцы; непосредственно над пластом может залегать слой менее прочной породы), а горное давление невысоко. Случаи ее проявления наблюдаются при небольшой глубине разработки, на участках под ранее отработанными пластами (в зонах пониженного давления у краевых частей вышележащих пластов), при отходе лавы от разрезной печи, на концевых участках лав, примыкающих к неотработанному угольному массиву. В одном из случаев причиной появления больших выступов в кровле было тектоническое нарушение.

По-видимому, для лав, находящихся в условиях пониженного давления и разрабатывающих пласты со склонной к образованию заколов кровлей, существует минимальное рабочее сопротивление крепи, достаточное для предотвращения осадки кровли с образованием больших выступов и составляющее, по данным практики, 400 кН/м². Однако могут быть и экстремальные случаи, при которых технически осуществимое сопротивление современных крепей может оказаться недостаточным.

В восьми из десяти обследованных лав с многочисленными выступами в кровле основная кровля была представлена прочными породами, отрабатывались надработанные участки пласта с пониженным горным давлением, а рабочее сопротивление крепи было меньше 400 кН/м² (в большинстве случаев значительно меньше).

Однако не в каждой лаве с подобными условиями кровля склонна к осадкам с образованием выступов.

В некоторых лавах осадка кровли над призабойным пространством происходит в ненадработанных зонах. Это особенно характерно для глубины разработки более 600 м.

Следует отметить, что вывалы пород из кровли на большую высоту происходят, наоборот, при повышенном, а не пониженном горном давлении.

2.7. КРУПНЫЕ ВЫВАЛЫ ПОРОД ИЗ КРОВЛИ

2.7.1. ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫВАЛОВ С ВЫСЫПАНИЕМ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ РАЗДРОБЛЕННОЙ ПОРОДЫ

Основными причинами вывалов с высыпанием большого объема мелкораздробленной породы являются следующие:

слишком большое расстояние между концами верхняков крепи и забоем (например, из-за отжима угля);

слишком большое смещение кровли в нормальном к напластованию направлении (из-за недостаточного сопротивления крепи вследствие вывалов породы над верхняками или неправильно выбранного паспорта крепления);

недостаточный горизонтальный распор кровли вследствие неполного заполнения выработанного пространства;

выпуск разрушенной породы из зоны обрушения, в результате чего вывал распространяется вплоть до выработанного пространства, линия обреза кровли перемещается к забою, а обрушенные породы располагаются на перекрытиях секций крепи с углом откоса около 45°;

недостаточная скорость подвигания забоя (С. Накаяма).

Из всего этого вытекают и меры предотвращения высыпания пород из кровли. Крупные вывалы не возникают, если расстояние между концами верхняков и забоем невелико, а сопротивление крепи и скорость подвигания забоя достаточно высоки. Следует бороться и с небольшими вывалами пород кровли. Необходимо проявлять осторожность при выпуске из лавы высыпающейся из кровли разрушенной породы.

2.7.2. ПЕРЕХОД ЧЕРЕЗ КРУПНЫЕ ВЫВАЛЫ ИЗ КРОВЛИ ЛАВОЙ СО ЩИТОВОЙ КРЕПЬЮ [17, 54]

Практика показывает, что небольшие вывалы пород из кровли преодолеваются щитовыми крепями без проведения каких-либо специальных мероприятий, как правило, уже через два — четыре шага передвижки. При узкой полости вывала с крутыми стенками и небольшой ее протяженности по простиранию хорошо оправдали себя укрепление забоя деревянными анкерами, цементируемыми полимерной смолой, и упрочнение кровли полиуретаном (рис. 2.12).

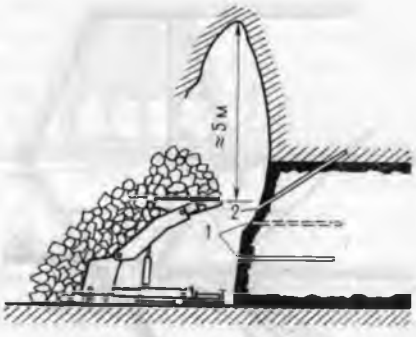


Рис. 2.12. Схема вывала пород из кровли, имеющего крутые стенки и небольшое развитие по простиранию:
1 — деревянные анкеры, закрепляемые полимерной смолой, для упрочнения призабойной части пласта; *2* — шпуры для упрочнения пород кровли полиуретаном

Целесообразно, чтобы щитовая крепь передвигалась по так называемой «заряженной» схеме (чтобы конец консоли перекрытия находился над конвейером и перекрывал зону вывала).

Если расстояние между концами козырьков щитового перекрытия и забоем достигает 2 м из-за отжима угля, рекомендуется из безопасного места пробурить скважины в угольном массиве, завести к ним специальные рельсы с опорой на козырьки щитового перекрытия, а затем уложить на рельсы деревянный настил. После этого подтягивают секции крепи. Зависшие над крепью породы кровли большей частью обрушаются на деревянный настил. Под действием их веса рельсы обычно изгибаются, а козырьки щитовой крепи перекашиваются. Последнее еще раз подтверждает необходимость в корректировке положения козырьков с помощью гидравлических устройств. Уголь на участке вывала следует вынимать при опущенных к почве шнеках комбайна. Кроме того, целесообразно, чтобы после выгрузки из лавы первоначально обрушившейся породы комбайн передвигался за зоной вывала против направления движения конвейерной цепи. Это позволяет беспрепятственно грузить породу при последующих ее высыпаниях.

Более сложна ситуация в случае значительной разрушенности непосредственной кровли, когда в результате высыпания породы над и перед щитовой крепью образуются большие полости (рис. 2.13). Из-за отжима угля расстояние между козырьком щитовой крепи и забоем достигло 4 м. В результате высыпания раздробленной породы перед крепью и над ней образовалась полость высотой до 10 м. Возникла опасность, что при дальнейшем подвигании лавы будут происходить вывалы из вышележащего слоя монолитного песчаника, которые могут привести к повреждению щитовой крепи.

Для перехода такой большой зоны вывала пришлось осуществить следующие мероприятия:

перекрыть полость вывала устройством ограждения из рудничных рельсов, заведенных в пробуренные по пласту скважины и уложенных на козырьки секций щитовой крепи;

уложить на рельсы сплошной деревянный настил;

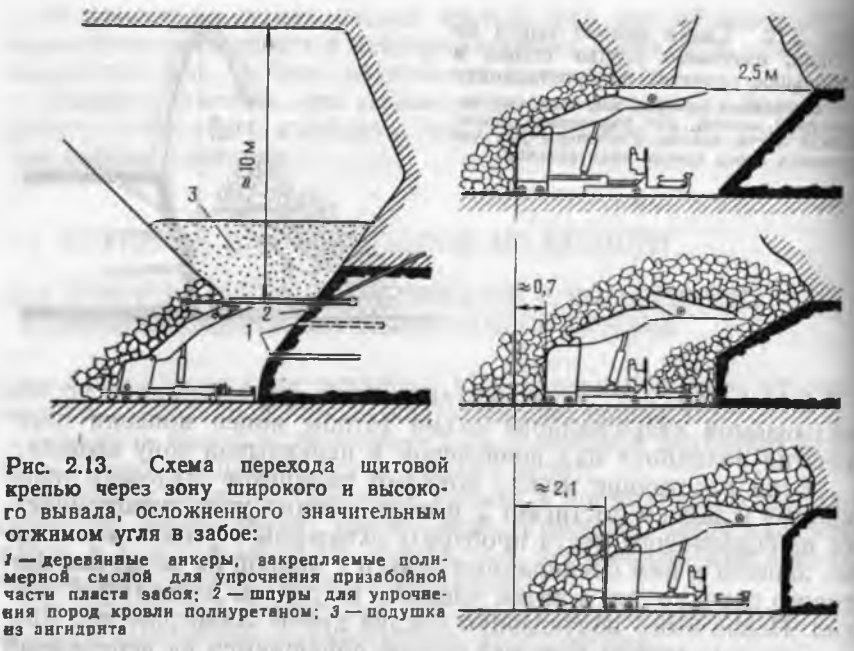


Рис. 2.13. Схема перехода щитовой крепью через зону широкого и высокого вывала, осложненного значительным отжимом угля в забое:

1 — деревянные анкеры, закрепляемые полимерной смолой для упрочнения призабойной части пласта забоя; *2* — шпуры для упрочнения пород кровли полиуретаном; *3* — подушка из ангидрита

Рис. 2.14. Схема перехода щитовой крепью крупного вывала, осложненного значительным отжимом угля или беспрерывным высыпанием породы

подать в полость вывала пневматическим способом мелкозернистую строительную смесь на основе природного ангидрита для образования подушки высотой 1,5—2 м;

дополнительно укрепить забой деревянными анкерами с полимерным цементирующим составом и упрочнить кровлю нагнетанием полиуретана.

Закрепленную таким образом полость удалось затем перейти без особых затруднений, а уже через 5 м подвигания лавы крепь находилась под ненарушенной кровлей.

В тех случаях, когда не удается перекрыть пространство между забоем и козырьками щитовой крепи рельсами из-за сильного отжима угля или беспрерывного высыпания породы, приходится передвигать крепь при постоянной выгрузке высыпающейся породы до тех пор, пока крупные ее куски не заклинятся между козырьками крепи и забоем (рис. 2.14). В подобных условиях нормальная добыча угля в лаве может быть приостановлена на достаточно длительное время, так как из лавы приходится выдавать многие сотни тонн породы.

Столь крупные вывалы породы произошли в нескольких лавах со щитовыми крепями на пластах большой мощности. Однако они, за редкими исключениями, в противоположность лавам с механизированными крепями поддерживающего типа, не приводили к длительным простоям. Щитовые крепи позволяют

преодолевать зоны подобного рода вывалов без значительных потерь добычи и, что особенно важно, в сравнительно безопасных условиях для людей, поскольку все работы выполняются под защитой перекрытий секций крепи. При применении щитовых крепей со свободно поворачивающимися почти до вертикального положения козырьками переход через зоны крупных вывалов более сложен. Опрокинувшиеся козырьки препятствуют свободному выпуску мелкой породы из полости вывала и способствуют последующему обрушению кровли. В одном из таких случаев зону вывала удалось перейти лишь после того, как была пройдена обходная выработка и кровлю под вывалом закрепили обратными консолями.

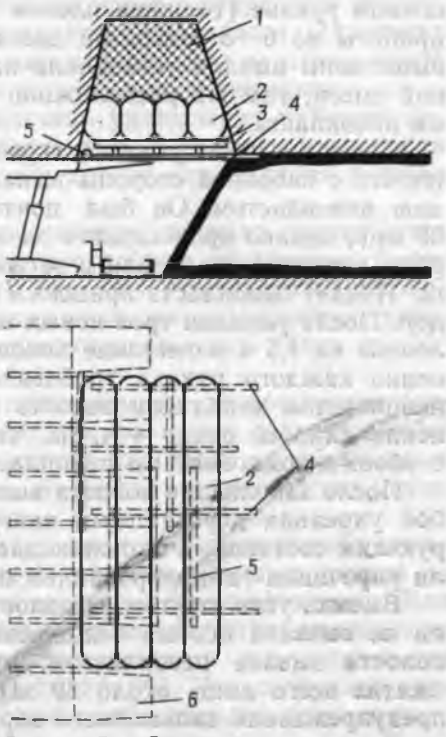


Рис. 2.15. Схема заполнения полости вывала пенопластом:

1 — пенопласт; *2* — рукав; *3* — бревна; *4* — рельсы; *5* — трубы; *6* — выдвижная консоль перекрытия крепи

Все это еще раз подчеркивает обоснованность требований о необходимости гидравлической регулировки положения козырьков щитовой крепи, в первую очередь козырьков с длиной консоли более 1200 мм, а также устройства механических ограничителей опрокидывания козырьков.

2.7.3. ЗАПОЛНЕНИЕ ПОЛОСТЕЙ КРУПНЫХ ВЫВАЛОВ ПЕНОПЛАСТОМ

В лаве по пласту «Вассерфаль» мощностью 2,8 м в результате вывала породы в кровле образовалась полость шириной и высотой около 3 м и длиной 9 м (рис. 2.15). После оборки стенок полости вывала под ним было устроено перекрытие из четырех отрезков рельсов длиной по 3,5 м (один конец каждого рельса вводили в скважину на глубину 80 см, а другой укладывали на выдвижную консоль секции щитовой крепи), пяти скрепленных проволокой отрезков водопроводных труб диаметром 120 мм и бревен диаметром 140—180 м. После этого на перекрытие уложили тканевые и пленочные рукава (типа «Буллфлекс» и «Монтанпласт») для заполнения пенопластом. В каждом пле-

ночном рукаве (толщина пленки 0,2 мм) были предварительно пробиты по 6—8 отверстий для выпуска воды. В лаве в 10 м выше зоны вывала установили насос для подачи пенополимерной смеси; там же расположили сосуды с обоими компонентами пенопласта.

Сразу же после укладки первого тканевого рукава, находившегося с забойной стороны вывала, приступили к его заполнению пенопластом. Он был почти полностью заполнен через 30 мин, однако происшедшее за это время новое обрушение породы частично повредило и засыпало на 0,5 м остальные рукава. Подачу пенопласта пришлось прервать, а трубы промыть водой. После укладки трех новых пленочных рукавов приостановленное на 1,5 ч нагнетание пенопласта возобновили. На заполнение каждого рукава требовалось 30—45 мин. После этого пенопластом заполнили полость вывала над рукавами. Заполнение длилось около 4 ч, на что потребовалось 80 сосудов с обоими компонентами пенопласта вместимостью по 30 л.

После заполнения полости вывала пенопластом угольный забой укрепили деревянными анкерами с полимерным цементирующим составом, а окружающие полость вывала породы кровли упрочнили тампонированием полиуретана.

Выемка угля стругом за полостью вывала и передвижка крепи не вызвали особых осложнений. Небольшой распор стенок полости вывала пенопластом, имевший предел прочности на сжатие всего лишь около 30 кПа, оказался достаточным для предупреждения дальнейшего обрушения пород.

Примерно через 10 ч после образования вывала работы по выемке угля были возобновлены.

2.8. ОТЖИМ УГЛЯ В ЗАБОЕ

Отжим угля из забоя, приводящий к увеличению ширины незакрепленной полосы кровли, является наиболее частой причиной вывалов породы. В связи с тем, что он начинается сразу же после выемки угля или в течение нескольких часов после нее, обнаженные участки кровли не могут быть своевременно подхвачены верхняками крепи. Наклон плоскости забоя в результате отжима (обрушение или, наоборот, зависание верхних пачек) нередко чередуется. Плоскость забоя, в котором произошел отжим угля, может являться продолжением плоскостей расчленения кровли по трещинам R4.

Отжим угля в забое обычно происходит по плоскостям изломов сдвига. Только в исключительных случаях такие плоскости совпадают с кососекущими трещинами кливажа, хотя нередко ошибочно считают, что все определяется только кливажом. Поэтому изменение положения линии забоя относительно простирания пласта в большинстве случаев не влияет на отжим угля в забое.

Частота отжима и ширина обнажаемой в результате его полосы кровли растут с увеличением мощности пласта. Они могут быть больше средних величин, характерных для пластов данной мощности, если действует один из следующих факторов:

большая конвергенция вследствие уменьшения рабочего сопротивления крепи ниже определенного критического предела (100—200 кН/м²) из-за вывалов в кровле или наличия в почве слабых пород;

неблагоприятная структура пласта; которая выражается в наличии в пласте породных прослойков мощностью более 30 см или кососекущих трещин кливажа, ориентированных параллельно забою (влияние трещин кливажа наблюдается также и в тех случаях, когда они ориентированы под углом до 35° к линии забоя);

отработка пласта лавами, подвигаемыми по восстанию (отжим угля проявляется особенно сильно в тех случаях, когда в пласте четко выражена слоистость или имеются нормальные к напластованию трещины кливажа, ориентированные под углом до 35° к линии забоя).

Даже небольшой подпор забоя предупреждает отжим угольного массива. Однако применение противоотжимных щитков на козырьках механизированных крепей не всегда эффективно. Для укрепления краевой части пласта используют деревянные анкеры, а также тампонирование полиуретаном или составами с магнезиальным вяжущим [15, 24, 38, 80]. Целесообразно применение механизированных крепей с выдвижными консолями.

2.9. СДВИЖЕНИЕ ВЫШЕЛЕЖАЩИХ ПОРОД КРОВЛИ

2.9.1. РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ ПРИ ОТХОДЕ ЛАВЫ ОТ РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧИ (ОПЫТЫ НА МОДЕЛЯХ)

Согласно существовавшим ранее представлениям, слои непосредственной кровли обрушаются исключительно под действием собственного веса. Это объясняли тем, что расстояние между задней (бок разрезной печи) и передней (забоем лавы) опорами становилось слишком большим по сравнению с толщиной отдельных слоев и их пределом прочности на растяжение при изгибе. При таком объяснении не учитывалось то обстоятельство, что породные слои подвергаются также значительным горизонтальным нагрузкам и что к напряжениям от прогиба слоев добавляются напряжения от горизонтального распора, под действием которого слои подвергаются продольному изгибу подобно стержню.

Существование напряжений продольного изгиба можно обнаружить по взаимному внедрению друг в друга прогнувшихся слоев, освобожденных от горизонтальной нагрузки. Для практики большое значение имеет внезапность продольного изгиба

слоев. Этот процесс, хотя и не мгновенен, как, например, горные удары, но протекает в течение всего нескольких минут или часов.Вместо последовательного распространения зоны обрушения на вышележащие слои и увеличения конвергенции в лаве с каждым новым циклом выемки угля процесс продольного изгиба может развиться уже при незначительном отходе лавы от разрезной печи и сразу же распространиться на вышележащие слои. Трещины над забоем выражены весьма слабо или же совсем незаметны и раскрываются лишь над крепью или за ней. Конвергенция проявляется весьма сильно в забое или даже в призабойной части пласта. Так как обрушающиеся породные слои еще не имеют опоры в выработанном пространстве, конвергенция в лаве проявляется сильнее, чем при полностью развившемся обрушении. В результате при определенных условиях верхняки могут наклоняться и перемещаться в сторону забоя. В лавах с индивидуальной крепью это может приводить к их завалам, а в лавах, оборудованных механизированными крепями, к повреждению опор гидростоек. Иногда породные слои срезаются под прямым углом по забою и происходит резкая осадка непосредственной кровли над лавой.

Величина продольного изгиба зависит от сцепления прогибающихся слоев. Если в кровле имеются поверхности скольжения, то ограниченные ими слои могут принимать участие в сдвижениях при сравнительно большом отходе лавы от разрезной печи; соответственно раньше появляются также трещины и вывалы кровли над призабойным пространством. Если же сцепление слоев достаточно велико, то горизонтальные сдвижения над обеими опорами малы, в кровле лавы длительное время не появляются трещины, но продольный изгиб слоев может в этом случае произойти внезапно. Мелкослоистая непосредственная кровля прогибается при меньшей ширине пролета между опорами, чем достаточно мощные монолитные слои. Породные слои с малым сопротивлением прочности на сдвиг могут выдавливаться в выработанное пространство в форме клиновидных блоков, особенно если имеются пересекающие плоскости кливажа, параллельные лаве (это, правда, встречается крайне редко). Если кровля при отходе лавы от разрезной печи в большей или меньшей степени резко разгрузилась от горизонтальных напряжений, то при дальнейшем подвигании забоя разгрузка происходит непрерывно или периодически.

2.9.2. ПОЛОСТИ ВЕБЕРА [78]

Обрушение кровли в выработанном пространстве в виде плит обусловлено расслоением пород с образованием полостей, которые описаны Вебером еще в 1916 г. Возможность их возникновения нередко оспаривалась. Исследования, которые проводились с помощью телевизионных зондов в скважинах, пробурен-

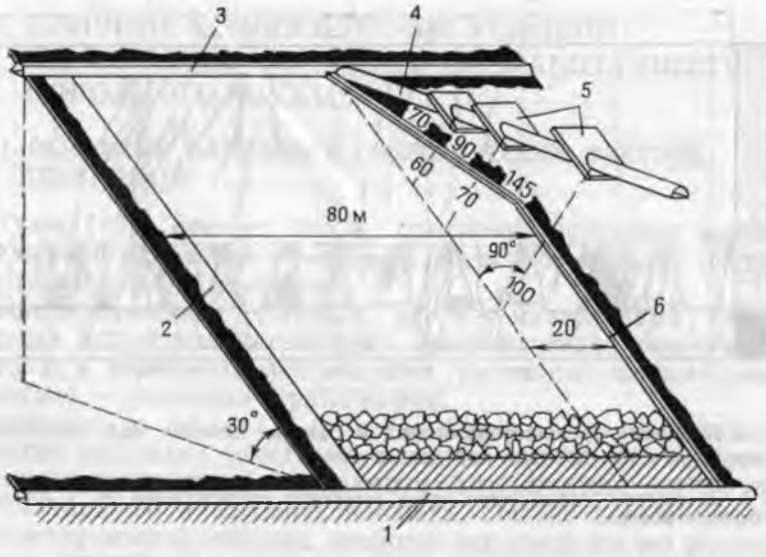


Рис. 2.16. Схема горных работ по пласту «Зарнсбенксген»:
1 и 3 — соответственно конвейерный и вентиляционный штреки; *2* — лава; *4* — квершлаг; *5* — полости Вебера; *6* — разрезная печь

ных над отошедшими на достаточно большое расстояние от разрезной печи лавами, позволили установить, что ширина полостей между расслоившейся кровлей не превышает нескольких миллиметров. Однако над лавами, находящимися в начальной стадии развития, полости Вебера могут быть значительно больше, так, в боках незакрепленного квершлага на расстоянии 60—100 м над выработанным пространством по пласту «Зарнсбенксген» были обнаружены весьма крупные полости Вебера. Вертикальная проекция квершлага находилась между лавой и разрезной печью, примерно в 20 м от последней (рис. 2.16). Лава отошла от разрезной печи на 80 м. Наибольшая полость Вебера шириной в среднем 160 мм находилась в 100 м над выработанным пространством. Она довольно быстро сомкнулась; уже через пять дней ее ширина уменьшилась на 55 мм. Одновременно произошло смещение породных слоев в направлении напластования. Осадка кровли происходила послойно, так что в верхних слоях образовалась точно такая же полость Вебера.

2.9.3. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ОСАДКА КРОВЛИ (ОПЫТЫ НА МОДЕЛЯХ) [115]

Опыты на моделях позволили объяснить причины периодического повышения горного давления. Раньше считалось, что оно возможно преимущественно при прочной мощной основной кров-

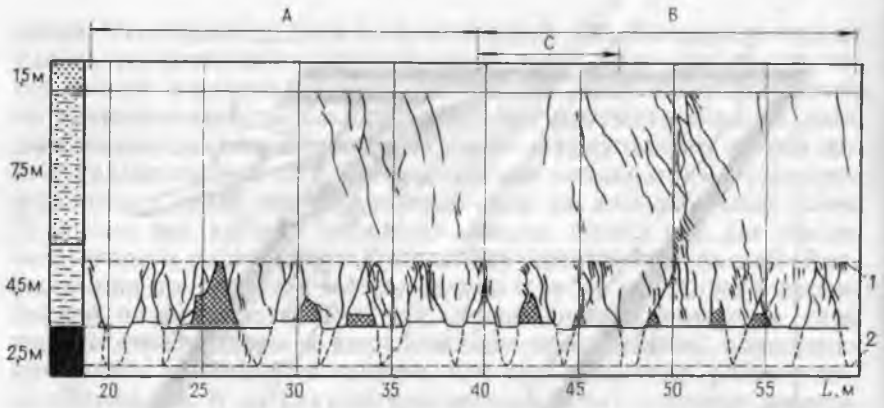


Рис. 2.17. Схема трещинообразования и осадок кровли над призабойной частью пласта при прочных породах кровли:

1, 2 — плоскости скольжения; *A* и *B* — участки по длине выемочного поля по простиранию *L*, на которых сопротивление крепи составляло соответственно 200 и 600 кН/м²; *C* — переходная зона

ле и связано главным образом с большим шагом осадки этой кровли. Однако исследованиями на моделях установлено, что периодические осадки кровли могут происходить и при четко выраженной слоистости пород.

Если как нижние, так и верхние слои кровли представлены тонкослоистыми породами малой прочности (в данном случае с пределом прочности 15 МПа), то следует принимать во внимание возможность периодических обрушений верхних породных слоев, особенно при наличии плоскостей ослабления. Прогиб слоев и их разгрузка от горизонтальных напряжений происходят почти с постоянными интервалами. При дальнейшем подвигании лавы в породах кровли снова возникают горизонтальные напряжения, пока опять не повторится прогиб слоев с их разгрузкой от горизонтального распора. Этот процесс может оказывать влияние на состояние кровли в лаве и выемочных штреках. Таким образом, кровля из тонкослоистых глинистых сланцев отнюдь не гарантирует непрерывного и равномерного оседания пород над выработанным пространством. Такой вывод вытекает также из нередко наблюдаемого явления распора пород в сводах обрушения непосредственной кровли.

Если же верхние слои кровли тонкослоисты, но имеют более высокий предел прочности (50 МПа), то их несущая способность в значительной мере сохраняется. В них не образуется сводов обрушения. Возникающие трещины разлома могут приводить к периодическим осадкам кровли (рис. 2.17). В данном случае, следовательно, наблюдается та ситуация, которую раньше считали единственной причиной периодического повышения давления.

2.10. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕР ОСЕДАНИЯ ПОДРАБОТАННОГО ПОРОДНОГО МАССИВА

2.10.1. ОСНОВНЫЕ ВЛИЯЮЩИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПО В. ГИММУ

В. Гимм [101] считает, что на сдвижение породного массива над выработанным пространством оказывают влияние следующие геологические факторы:

петрографическое строение пород — минеральный состав, строение (структура и текстура), цементирующее вещество;

доля и взаимное расположение различных типов пород в массиве — детальная стратиграфия;

поверхности раздела и строение массива — расположение и развитие отдельных плоскостей раздела (плоскостей наслоения и сланцеватости, трещин кливажа и тектонических нарушений) по простиранию и падению, площадь, степень пересеченности, доля поверхностей кливажа, внешний вид поверхностей раздела, степень раскрытия трещин кливажа и вид их заполнения; густота и взаимное расположение плоскостей раздела (плотность естественной трещиноватости, ее пространственное расположение, степень разрыхления массива);

глубина горных работ (мощность покрывающих пород);

обводненность породного массива, водостойкость и водопроницаемость пород — водоносность (поровые и трещинные воды), агрессивные компоненты, водостойкость массива (пород, материала заполнения плоскостей раздела), водопроницаемость массива (водопроницаемые и водоупорные породные слои);

газоносность породного массива — химический состав газов, вид связи с породами (свободные газы, сорбированные породами газы).

Все указанные факторы имеют большое значение для характера поведения породного массива, за исключением газоносности, которая присуща не всем породам и может играть существенную роль только при определенных геомеханических процессах.

Массив, состоящий из прочных пород, является (за редкими исключениями, к которым относится, например, монолитный массив каменной соли) телом трещиноватой структуры, состоящим из двух различных групп элементов:

блоков горной породы, ограниченных системами трещин;

трещин (называемых в общем случае плоскостями раздела).

Таким образом, прочностные свойства и характер поведения пород и породного массива далеко не идентичны. Перечисленные ниже геомеханические факторы, обусловливающие поведение породного массива, определяются в основном геологическими факторами. К ним относятся:

прочностные и деформационные характеристики пород;

показатели контактных условий (сцепление, трение);

прочностные и деформационные характеристики породы в массиве, например, пределы прочности на сжатие, растяжение, срез (сдвиг), при комбинированных нагрузках, характеристика «нагрузка — деформация», модуль упругости.

В то же время некоторые геомеханические параметры зависят также и от горнотехнических факторов. Так, например, из испытаний образцов пород на одноосное сжатие известно, что от скорости нагружения зависят как разрушаемость, так и деформируемость породы. В общем случае можно считать, что при быстром нагружении упругие свойства породы проявляются в большей степени, чем при медленном.

Породный массив в большинстве случаев является неоднородным, не обладающим свойствами сплошной среды и часто также анизотропным. Это обстоятельство следует учитывать при инженерно-геологических изысканиях и экспериментальном определении прочностных характеристик пород и породного массива, а также при аналитических исследованиях.

2.10.2. ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ ПЛАСТА НА ХАРАКТЕР ЕЕ РАЗРУШЕНИЯ НАД ПРИЗАБОЙНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВЫ

О влиянии строения пород кровли пласта на характер ее разрушения над призабойным пространством лавы можно судить по данным табл. 2.4.

2.10.3. ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ ВЕРХНИХ СЛОЕВ КРОВЛИ

Характеристика различных форм разрушения верхних слоев приведена в табл. 2.5.

2.10.4. ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ КРОВЛИ

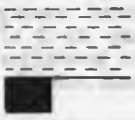
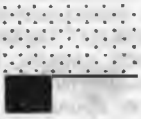
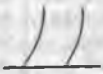
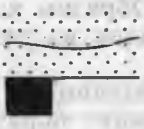
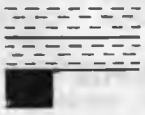
О влиянии тектонических факторов на характер разрушения кровли можно судить по данным табл. 2.6.

2.11. СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД В ОБРАЗЦАХ И МАССИВЕ

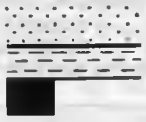
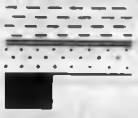
2.11.1. ПРОЧНОСТЬ ПОРОД НА СЖАТИЕ И РАСТЯЖЕНИЕ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРЕНИЯ

Приводимые ниже прочностные показатели, определенные лабораторией рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг», могут служить лишь исходными данными при оценке механических свойств пород карбона в Рурском бассейне. Поскольку они колеблются в широких пределах, то по петрографическим характеристикам невозможно делать выводы об ожидаемой прочности пород на конкретном участке.

Таблица 2.4

Кровля	Характер образующихся трещин	Характер разрушения кровли и рекомендации по ее поддержанию
Мощная кровля глинистого сланца 	При малопрочных породах — трещины R4 	Ступенчатое оседание. Рекомендуется повысить сопротивление крепи
	При прочных породах — трещины R2 	Ступенчатое оседание, возможны вывалы. Рекомендуется своевременно подхватывать свежеобнаженную кровлю
Мощная толща песчаника 	Вертикальные трещины R2, переходящие над кровлей пласта в трещины R3 	Кровля труднообрушаема, первичная ее осадка происходит на расстоянии 50 м и более от разрезной печи; торпедирование кровли взрыванием малоэффективно; при высоком давлении, прочной почве и хрупком угле возможны горные удары. Рекомендуется повысить сопротивление крепи
Мощная толща песчаника с волнистой плоскостью ослабления (контактные поверхности шероховаты) 	То же	Кровля труднообрушаема; возможны вывалы; в лавах, подвигаемых по восстанию возможно соскальзывание с крепи крупных породных плит. Рекомендуется подхватывать с подпором свежеобнаженную кровлю и повысить начальный распор крепи
Мощная толща глинистого сланца с плоскостью ослабления 	При шероховатых контактных поверхностях в малопрочных породах — трещины R4, в прочных — трещины R2 	При гладких контактных поверхностях — смятие нижних слоев кровли, вывалообразование.
	При гладких контактных поверхностях — трещины R3 или R5 	Рекомендуется подхватывать и затягивать свежеобнаженную кровлю

Продолжение табл. 2.4

Кровля	Характер образующихся трещин	Характер разрушения кровли и рекомендации по ее поддержанию
Непосредственная кровля — глинистый сланец, основная — песчаник. Контактная поверхность обычно гладкая 	В основной кровле — трещины R2, переходящие в трещины R3, в непосредственной — как в предыдущем случае	Вывалы высотой более 30 см, увеличивающиеся с повышением давления; критической является мощность непосредственной кровли до 2 м; при горных ударах возможны смещения непосредственной кровли
Непосредственная кровля — песчаник, основная — глинистый сланец 	В основной кровле — трещины R4 при малопрочных породах, R2 при прочных, в непосредственной кровле — трещины R3 	При вывалах непосредственной кровли возможны высыпания пород основной кровли. Рекомендуется подхватывать свежеобнаженную кровлю с подпором и повысить начальный распор крепи

Прочность на одноосное сжатие (табл. 2.7). Приведенные в ней данные получены на образцах кубической (со стороной 4 см) или цилиндрической (диаметр и высота по 4 см) формы с плоскосрезанными торцовыми поверхностями. Образцы испытывались между стальными плитами без прокладок до разрушения.

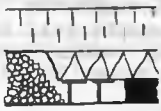
Прочность на растяжение (табл. 2.8). Приведенные в ней данные получены методом изгиба призматических образцов (с размерами поперечного сечения 4×4 см) или раскалыванием дисковидных образцов (диаметром 4 см и высотой 1,3 см).

Коэффициенты трения (табл. 2.9). Коэффициенты трения $\mu = \operatorname{tg} \rho$ по плоскостям раздела (в большинстве случаев между парой пластин размером 10×10 см) определялись в срезающей раме при нормальных напряжениях до 2 МПа.

2.11.2. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И МИНЕРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ПОРОД КАРБОНА

Для оценки возможности резания вмещающих пород исполнительными органами проходческих комбайнов наибольшее значение имеют прочность на сжатие и растяжение, а также абразив-

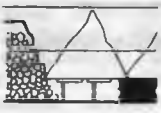
Таблица 2.5

Характеристика	Трещины хрупкого излома		
	R2 (тип 1)	R2 (тип 2)	R3
Внешний вид (эскиз)			
Периодичность появления в кровле	Периодически в верхних или в верхних и нижних слоях	Регулярно в верхних слоях	Периодически в верхних или в верхних и нижних слоях
Частота образования	Редко	Очень часто	Редко
Породы кровли	Монолитная толща или маломощный слой непосредственной кровли под прочной толщей основной кровли	Склонные к значительному прогибу верхние слои (при различной прочности тонких слоев или одинаковой прочности тонких слоев, разделенных многочисленными плоскостями ослабления)	Хрупкие тонкие слои средней прочности без плоскостей ослабления
Наклон трещин	Нормальный к напластованию	Нормальный к напластованию	К пласту под углом около 60°
Расстояние между трещинами	Большое	Небольшое	Большое
Сопротивление крепи	Низкое	Низкое или высокое	Низкое
Высота полости обрушения	Большая	Небольшая	Очень большая
Заполнение выработанного пространства	Плохое	Хорошее	Среднее
Распор слоев по напластованию	Малый	Большой	Малый

Продолжение табл. 2.5

Характеристика	Трещины хрупкого излома		
	R2 (тип 1)	R3 (тип 2)	R3
Проявления горного давления в лаве	Конвергенция у заднего ряда стоек, наклон стоек к забою	Особых проявлений нет	Повышенная конвергенция, вывалы, высыпание породной мелочи, опасность обрушений кусков породы с большой высоты

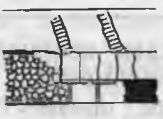
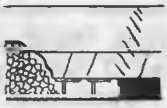
Продолжение табл. 2.5

Характеристика	Трещины излома по плоскостям сдвига		
	R2	R4	R5
Внешний вид (эскиз)			
Периодичность появления в кровле	Периодически в верхних или в верхних и нижних слоях	Периодически в верхних и нижних слоях	Периодически в верхних и нижних слоях
Частота образования	Часто	Часто	Очень редко
Породы кровли	Слабые слои, залегающие над пластом крепкого угля	Породы с различной или одинаковой слоистостью одной и той же прочности без плоскостей ослабления или с одной такой плоскостью, проходящей по пласту	Породы одинаковой прочности без плоскостей ослабления (пласт отделен от кровли) или очень мощная непосредственная кровля, отделенная от основной плоскостью ослабления
Наклон трещин	Нормальный к напластованию	К выработанному пространству под углом около 80°	Попеременно к забою и выработанному пространству под углом около 60°
Расстояние между трещинами	Большое	Большое	Большое
Сопротивление крепи	Низкое	Низкое	Низкое

Продолжение табл. 2.5

Характеристика	Трещины излома по плоскостям сдвига		
	R2	R4	R5
Высота полости обрушения	Небольшая	Небольшая	Очень большая
Заполнение выработанного пространства	Плохое	Плохое	Плохое
Распор слоев по напластованию	Малый	Малый	Малый
Проявления горного давления в лаве	Повышенная конвергенция, ступенчатое оседание кровли	Повышенная конвергенция, отжим угля в забое, ступенчатое оседание кровли, обрушение породных консолей при их большой длине	Повышенная конвергенция, чередующиеся вывалы на большую высоту и обжатие кровли, осадка крупных блоков

Продолжение табл. 2.5

Характеристика	Смешанные формы — изломы по плоскостям смещений		
	R3 (тип 1)	R3 (тип 2)	R4
Внешний вид (эскиз)			
Периодичность появления в кровле	Периодически в верхних слоях	В отдельных случаях в верхних слоях	В отдельных случаях в верхних или в верхних и нижних слоях
Частота образования	Редко	Очень редко	Редко
Породы кровли	Нижние слои кровли различной прочности отделены от верхних плоскостями ослабления; верхние слои состоят из тонких прослойков одинаковой прочности без плоскостей ослабления	Нижние слои отделены от верхних плоскостями ослабления; верхние слои расслоены и имеют высокую прочность	Породы различной слоистости и примерно одинаковой прочности с небольшим числом плоскостей ослабления

Продолжение табл. 2.5

Характеристика	Смешанные формы — изломы по плоскостям смещений		
	R2 (тип 2)	R3 (тип 1)	R4
Наклон трещин	К забою под углом около 60°	К забою под углом около 60°	К забою под углом около 60°
Расстояние между трещинами	Малое	—	—
Сопротивление крепи	Высокое	Высокое	Высокое
Высота полости обрушения	Небольшая	Небольшая	Средняя
Заполнение выработанного пространства	Хорошее	Хорошее	Среднее
Распор слоев по напластованию	Большой	Большой	Средний
Проявления горного давления в лаве	Повышенная конвергенция, опасность высыпания породы при вывалах	Повышенная конвергенция у заднего ряда стоек, опасность просадки стоек «нажестко»	Повышенная конвергенция у забоя, опасность вывалов

ность. Между ними и содержанием кварцевых зерен в породах Q существуют следующие зависимости.

Зависимость между пределом прочности на растяжение в перпендикулярном к слоистости направлении (σ_z, МПа), определенном при испытаниях дисковидных образцов на растяжение, и пределом прочности на сжатие в том же направлении (σ_D, МПа), определенном на цилиндрических образцах, для всех пород карбона вполне удовлетворительно описывается линейной функцией $\sigma_z = 1{,}5 + 0{,}1\sigma_D$ (при величине критерия $t = 26$ и мере определенности $B = 69\%$). В соответствии с ней отношение σ_D/σ_z при увеличении предела прочности на сжатие с 20 до 100 МПа возрастает с 6 до 9. С учетом содержания кварцевых частиц Q (%) функция приобретает вид $\sigma_z = 1{,}6 + 0{,}09\sigma_D + 0{,}018Q$ (при той же мере определенности).

Между коэффициентом абразивности F (Н/мм) (по Я. Шимачеку) и содержанием кварцевых зерен в породах карбона также существует вполне надежная линейная зависимость. При величине критерия $t = 24$ и мере определенности 71% соответствующее уравнение регрессии имеет вид $F = -0{,}21 + 0{,}019\,Q$. Мера определенности может быть повышена до 77%, если в урав-

Таблица 2.6

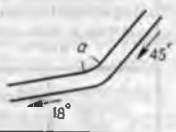
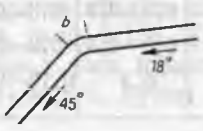
Тектонические факторы	Возможные последствия	Меры предупреждения
Плоскости скольжения или ослабления, параллельные наслоению 	Смятие кровли Вывалы породы Выскальзывание породных плит при очень гладких контактных поверхностях между слоями	Повышение начального распора крепи
Плоскости ослабления, расположенные диагонально к напластованию 	Вывалы породы	Своевременное подхватывание обнаженной кровли
Трещины кливажа, примерно параллельные плоскости забоя 	Вывалы породы на большую высоту при нерасслоенной кровле	Разворот лавы примерно на 20° и повышение сопротивления крепи
Трещины кливажа, ориентированные под острым углом к линии падения 	Возможные вывалы породы в углу *а* Выскальзывание породных блоков в углу *б* при отходе лавы от разрезной печи	Подхватывание свежеобнаженной кровли и повышение начального распора крепи
Перегиб пласта 	Сдвиг разрушенной на участке *а* кровли	Своевременное подхватывание кровли и установка распорных стоек выше участка *а*
Перегиб пласта 	Зажим кровли в выработанном пространстве на участке *b*, ведущий к сдвигу	Поддержание кровли как при отходе лавы от разрезной печи и установка распорных стоек ниже участка *b*

Таблица 2.7

Порода	Предел прочности на одноосное сжатие в среднем, МПа	Стандартное отклонение, МПа
Песчаник	94	15
Песчанистый аргиллит	72	16
Аргиллит	44	10
Песчанистый «кучерявчик»	46	6
Глинистый «кучерявчик»	27	4
Блестящий и полосчатый уголь	10	2,5
Матовый полосчатый уголь	13	2,5

нение ввести диаметр кварцевых зерен DQ (мм) и предел прочности на растяжение σ_z: $F=-0{,}285+0{,}014Q+1{,}35DQ+0{,}014\sigma_z$.

Предел прочности на сжатие σ_D и содержание кварцевых зерен Q также связаны линейной зависимостью $\sigma_D=37{,}3+1{,}03Q$, однако мера определенности составляет в этом случае лишь 54%. Менее надежная зависимость имеется между средним диаметром кварцевых зерен и пределом прочности на сжатие ($t=10$; $B=23\%$).

Между содержанием во вмещающих породах карбонатов и приведенными выше прочностными показателями не существует какой-либо связи.

2.11.3. КРУГ НАПРЯЖЕНИЙ МОРА [97]

Любое одно-, двух- или трехосное напряженное состояние, существующее в массиве или в образце при лабораторных испытаниях, может быть, согласно Мору, представлено соответственно в виде одного, двух или трех кругов в системе координат, на оси абсцисс которой отложены напряжения сжатия или растяжения, а на оси ординат — касательные напряжения сдвига. Если из трех главных напряжений два равны между собой, то получают только один круг напряжений (рис. 2.18). Его диаметр равен разности наибольшего и наименьшего из главных напряжений

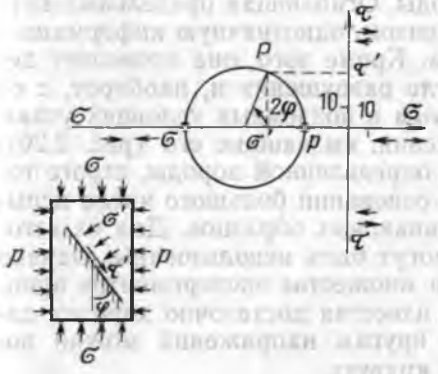
Таблица 2.8

Порода	Предел прочности на растяжение при испытаниях	
	на изгиб	на раскалывание
Песчаник	18—30	Около 10
Алевролит	12—25	Около 6
Аргиллит	10—15	Около 3
Уголь	0,5—1	—

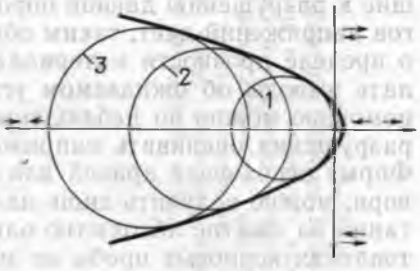
Таблица 2.9

Поверхность раздела	Примерные коэффициенты трения $\mu=\operatorname{tg}\rho$ при поверхности	
	сухой	увлажненной
Между слоями ослабления	0,5—0,8	0,3—0,6
	0,3—0,5	0,2—0,3
Скольжения	0,3	0,15—0,2

2.18



2.19



2.20

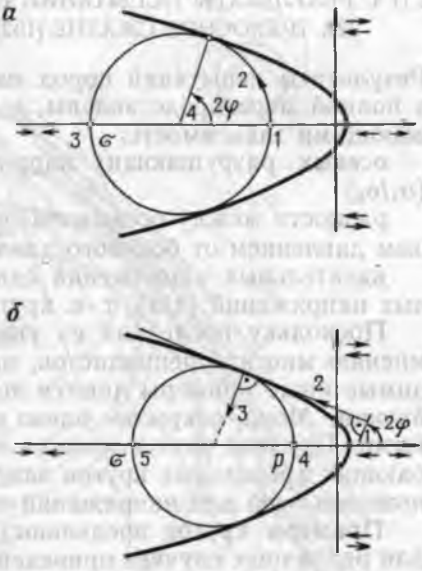


Рис. 2.18. Изображение объемного напряженного состояния цилиндрического образца по Мору при боковом давлении $p=20$ МПа и осевом $\sigma=80$ МПа

Рис. 2.19. Изображение нескольких предельных напряженных состояний одного и того же материала в той же системе координат с огибающей Мора:

1 — при $p=0$ и $\sigma=50$ МПа; *2* — при $p=20$ МПа и $\sigma=100$ МПа; *3* — при $p=40$ МПа и $\sigma=140$ МПа

Рис. 2.20. Примеры задач, решаемых с помощью огибающих кругов Мора:

а — нахождение осевого давления и угла разрушения при боковом давлении $p=30$ МПа (*1—4* — ход решения); решение: $\sigma=122$ МПа, $\varphi=35{,}8°$; *б* — нахождение предельного напряженного состояния при угле разрушения $\varphi=34°$ (*1—5* — ход решения); решение: $p=20$ МПа, $\sigma=100$ МПа

(соответственно p и σ на рис. 2.18). В каждой точке круга можно получить значения напряжений σ' и τ', действующих на площадке, расположенной под любым углом φ.

Если нанести на одну диаграмму предельные круги напряжений, полученные при испытаниях одинаковых образцов до разрушения на установке для трехосного сжатия (осевое давление σ и боковое давление p), то над этими кругами можно построить общую касательную — так называемую огибающую Мора (рис. 2.19). Если огибающая Мора для определенного типа пород уже известна по результатам серии экспериментов, то, наоборот, путем вписывания окружностей в эту огибающую

можно определить все комбинации напряжений p и σ, приводящие к разрушению данной породы. Огибающая предельных кругов напряжений дает, таким образом, однозначную информацию о пределе прочности материала. Кроме того, она позволяет делать выводы об ожидаемом угле разрушения и, наоборот, с ее помощью можно по наблюдаемым в подземных условиях углам разрушения оценивать напряжения, вызвавшие его (рис. 2.20). Форму огибающей кривой для определенной породы, строго говоря, можно получить лишь на основании большого числа испытаний на сжатие абсолютно одинаковых образцов. Для их изготовления керновые пробы не могут быть использованы. Однако в связи с тем, что на основании множества экспериментов принципиальная форма огибающей известна достаточно хорошо, даже по немногим предельным кругам напряжений можно построить надежную огибающую кривую.

2.11.4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПОРОД НА ТРЕХОСНОЕ СЖАТИЕ [102]

Результаты испытаний пород на трехосное сжатие могут быть в полной мере представлены, в частности, диаграммами, выражающими зависимость:

осевых разрушающих напряжений от бокового давления (σ_1/σ_3);

разности между осевым разрушающим напряжением и боковым давлением от бокового давления $[(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_3]$;

касательных напряжений сдвига от разрушающих нормальных напряжений (τ/σ), т. е. кругами Мора.

Поскольку последняя из указанных диаграмм является, по мнению многих специалистов, наиболее информативной, приводимые ниже примеры даются только в виде кругов Мора. Огибающие Мора, открытые влево или вправо, являются равноценными. Причина использования обоих способов построения огибающих предельных кругов заключается в неодинаковом расположении осей для напряжений сжатия и растяжения.

Примеры кругов предельных напряженных состояний Мора для различных случаев приведены на рис. 2.21—2.23.

Из графика (рис. 2.24) [98] видно, что в соответствии с гипотезой Мора угол обрушения увеличивается с ростом напряженного состояния при объемном сжатии.

Результаты испытаний образцов пород Донецкого бассейна и угля Шурабского месторождения приведены на рис. 2.25 [51].

2.11.5. ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД В МАССИВЕ

Диаграммы Мора в своем первоначальном виде справедливы только для определения предельного напряженного состояния однородных изотропных пород. Расширение области их исполь-

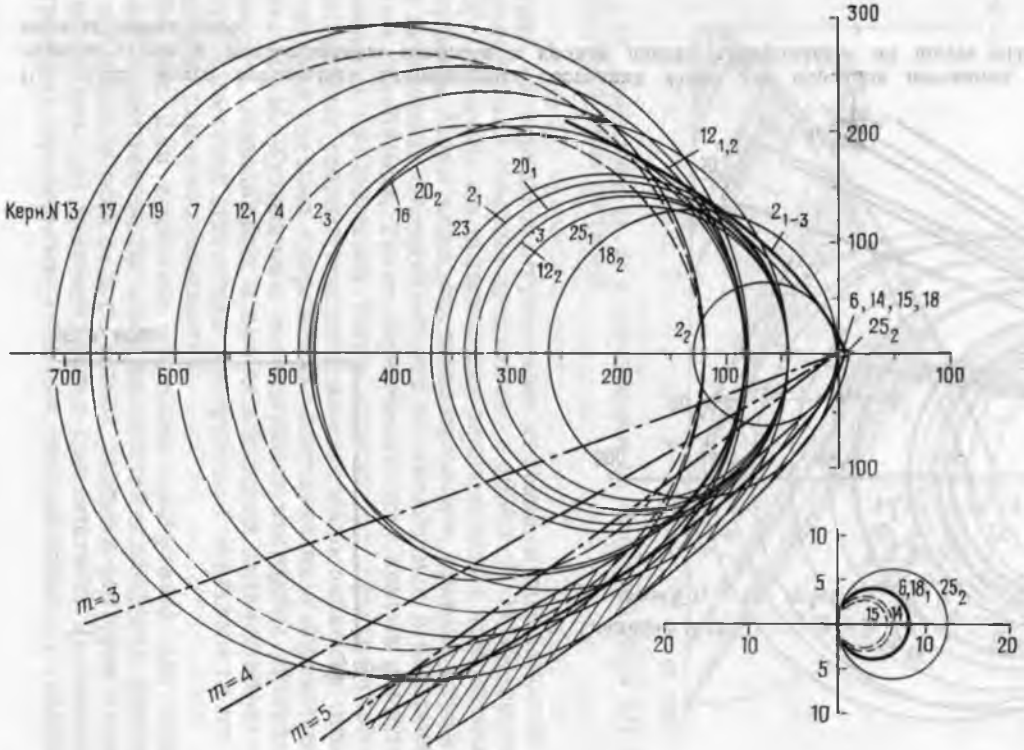


Рис. 2.21. Круги предельных напряженных состояния Мора для образцов песчаника, взятых из пробуренной перпендикулярно к напластованию скважины в кровле пласта «Жирондель» на шахте «Ноймюль»; цифрами обозначены номера керновых проб

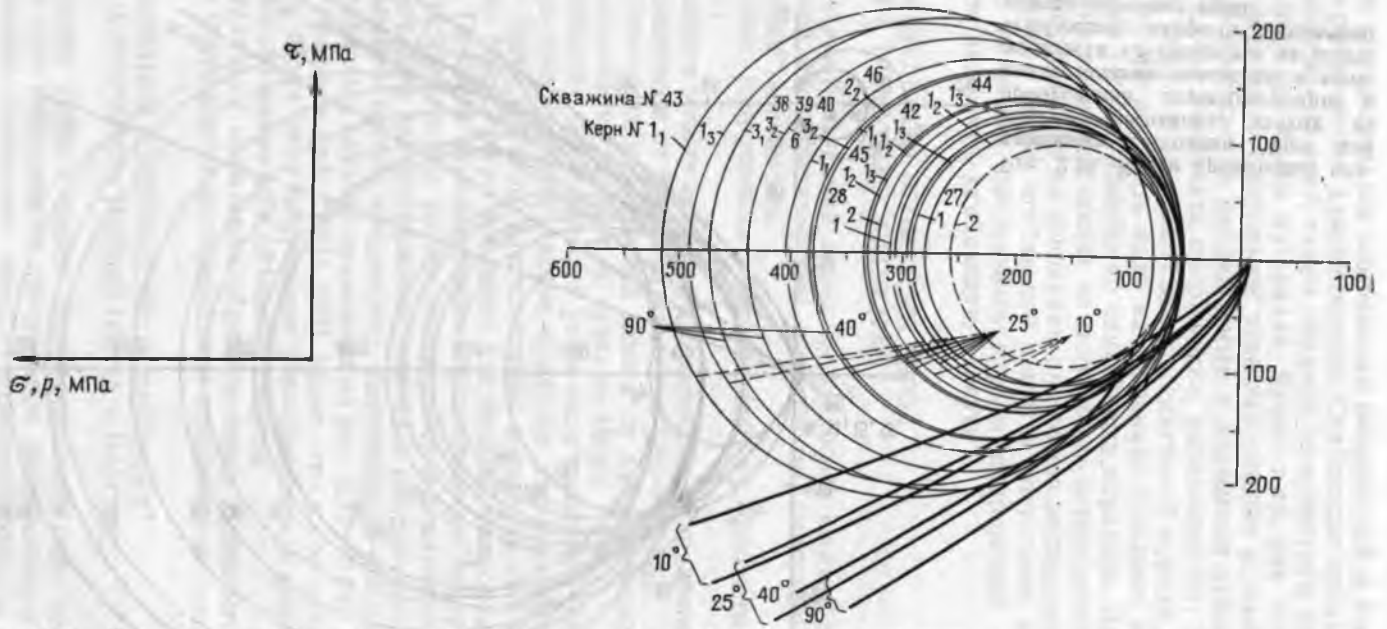


Рис. 2.22. Круги предельных напряженных состояний Мора для образцов песчаника, взятых из пробуренных под различным углом к напластованию скважин в кровле пласта «Жирондель» на шахте «Ноймюль»; цифрами обозначены номера керновых проб

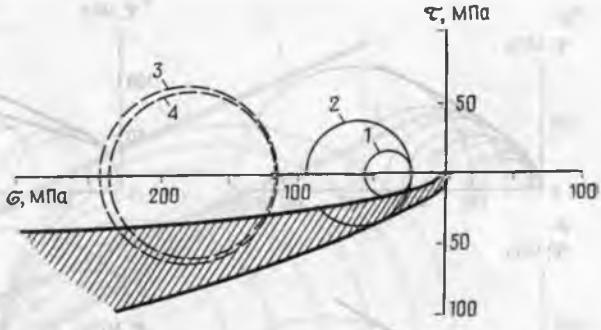


Рис. 2.23. Круги предельных напряженных состояний Мора для образцов угля из пласта «Жирондель» (*1*, *2*) и пород (*3*, *4*) на шахте «Ноймюль»; ось цилиндрических образцов ориентирована нормально к напластованию; заштрихована зона разброса огибающих кривых

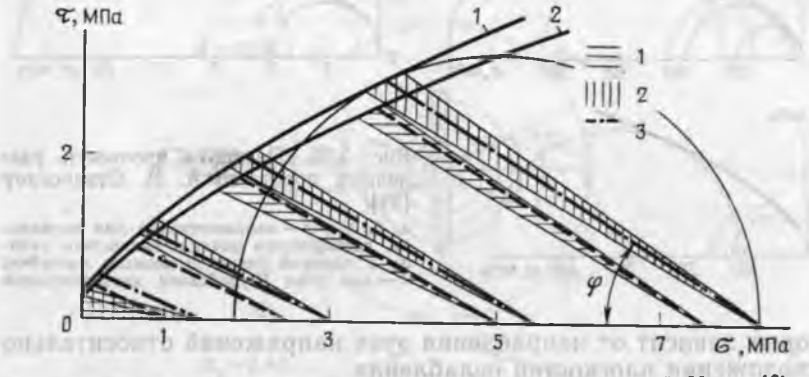


Рис. 2.24. Измеренные (*1*, *2*) и определенные по огибающей Мора (*3*) углы разрушения образца песчаника

зования на породы с регулярными системами поверхностей ослабления было впервые предложено в 1938 г. Г. Н. Кузнецовым [120]. Сущность его предложения заключалась в том, чтобы на диаграммы Мора наносить дополнительные кривые, отражающие предельные состояния пород по имеющимся в них поверхностям ослабления. Точки пересечения этих кривых с кругами предельных напряжений Мора зависят от пространственной ориентировки соответствующих плоскостей ослабления относительно осей главных напряжений, действующих в определенных точках. Г. Н. Кузнецовым используются векторные диаграммы прочности, позволяющие в наглядной форме количественно оценивать изменение прочности материала в зависимости от направления главных напряжений.

На рис. 2.26 показаны векторные диаграммы для модели с одной единственной системой плоскостей ослабления, нормальной к плоскости осей σ_1 и σ_3. Длина радиусов-векторов от центра диаграммы до внешней линии соответствует (в масштабе диаграммы) предельным главным напряжениям σ_1, величина

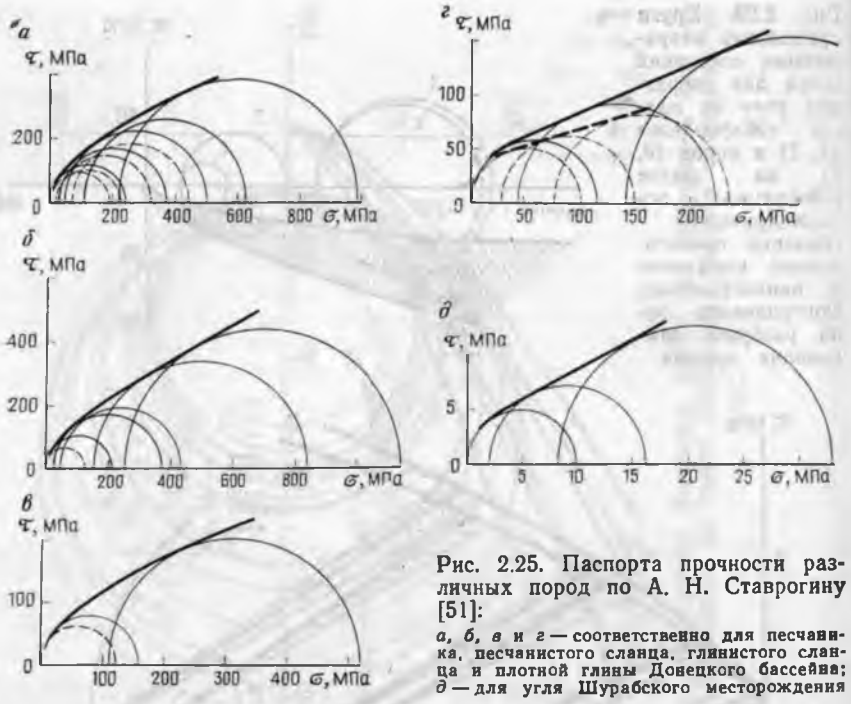


Рис. 2.25. Паспорта прочности различных пород по А. Н. Ставрогину [51]:

а, б, в и *г* — соответственно для песчаника, песчанистого сланца, глинистого сланца и плотной глины Донецкого бассейна; *д* — для угля Шурабского месторождения

которых зависит от направления этих напряжений относительно расположения плоскостей ослабления.

Если в материале имеется несколько систем плоскостей ослабления, то векторные диаграммы составляются для каждой системы отдельно. Затем они объединяются, причем должно приниматься во внимание направление каждой отдельной системы плоскостей ослабления.

На рис. 2.27 в качестве примера показана упрощенная схема полной характеристики прочности материала с тремя различными системами плоскостей ослабления *1*, *2* и *3* (система *3* вызывает наибольшее ослабление материала, а система *1* — наименьшее). Если принять, что указанные плоскости ослабления расположены в материале под углом 30° друг к другу, то результирующая векторная диаграмма будет иметь вид, показанный на рис. 2.28, *а*. Ее получают путем обвода контура, соответствующего минимальным предельным значениям радиусов-векторов. Площадь этой диаграммы ограничена жирной линией. Остальные приведенные на рисунке схемы иллюстрируют векторные диаграммы для тех случаев, когда все три системы плоскостей ослабления материала, ориентированные так же, как на рис. 2.28, *а*, имеют разную степень ослабления прочности.

Окончательные векторные диаграммы прочности могут характеризовать степень анизотропии породного массива. Если на

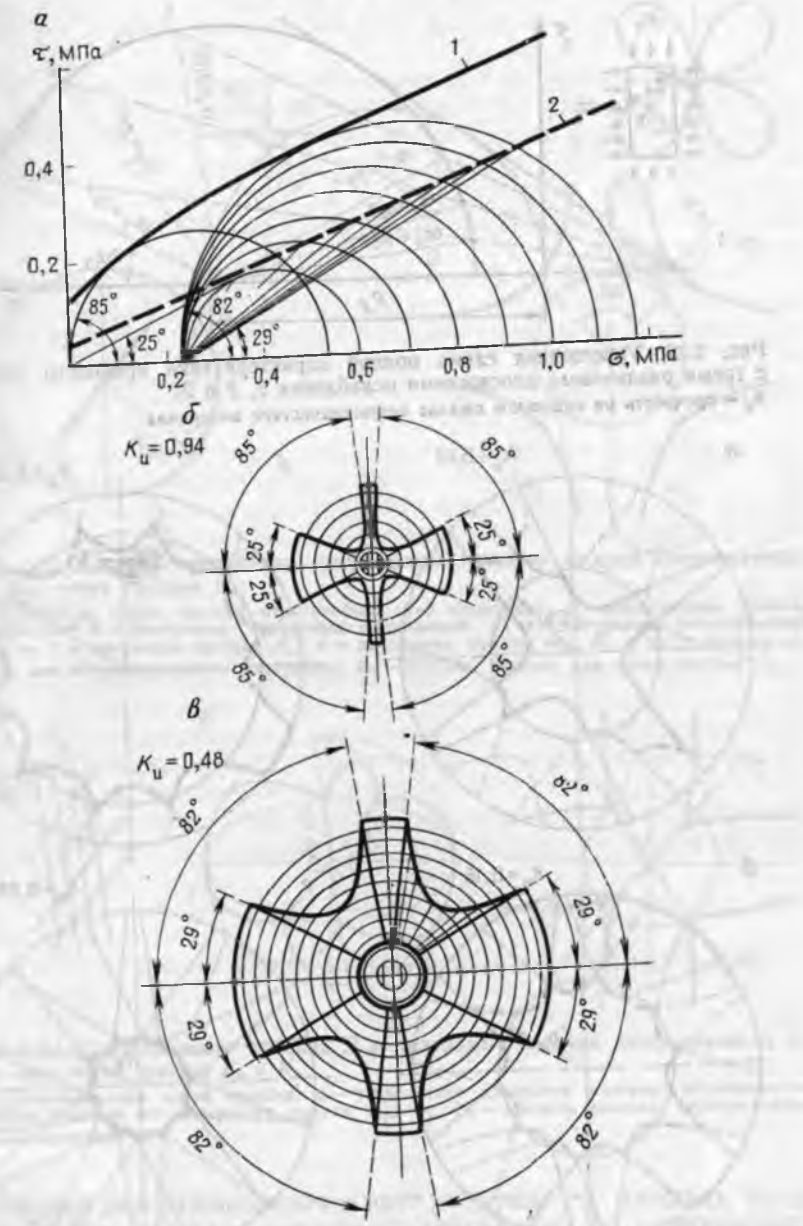


Рис. 2.26. Диаграмма Мора (*а*) и векторные диаграммы для случаев одноосного (*б*) и трехосного (*в*) напряженного состояния материала:

1 — монолитного; *2* — с плоскостью ослабления; $K_и$ — коэффициент неравномерности прочностных свойств

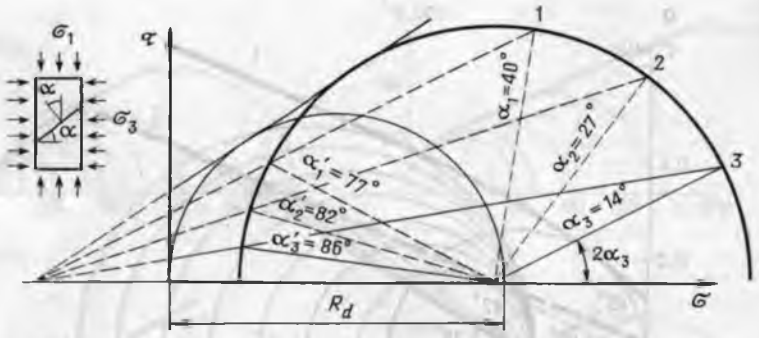


Рис. 2.27. Упрощенная схема полной характеристики прочности материала с тремя различными плоскостями ослабления *1*, *2* и *3*:
R_d — прочность на одноосное сжатие нетрещиноватого материала

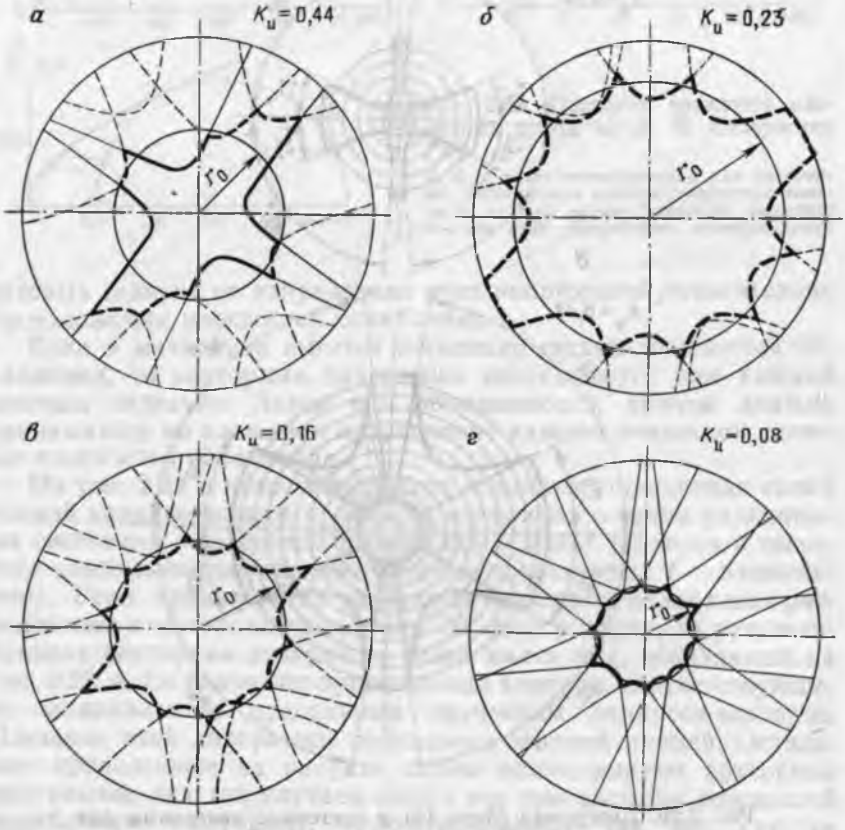


Рис. 2.28. Векторные диаграммы прочности для различных вариантов систем ослабления (см. рис. 2.27):
а — результирующие для систем *1*, *2* и *3*; *б*, *в* и *г* — соответственно для систем *1*, *2* и *3*; r_0 — средний предел прочности трещиноватого материала

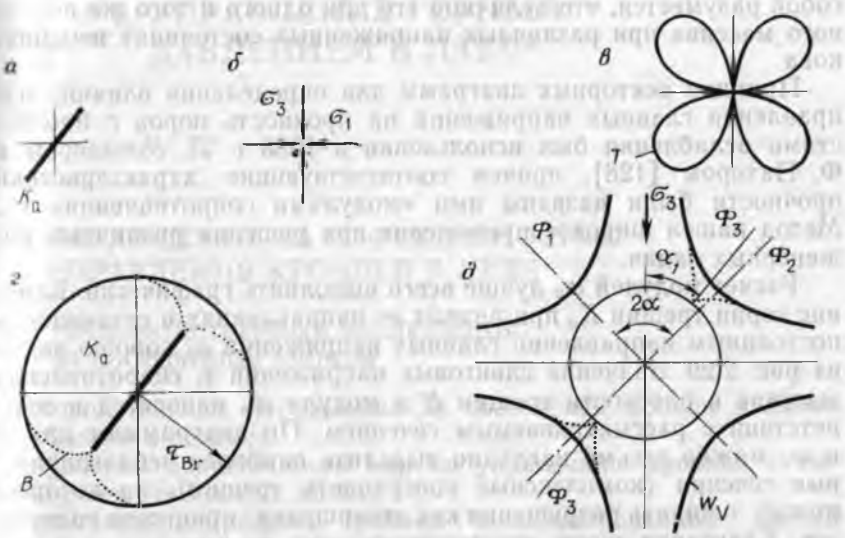


Рис. 2.29. Схема определения графическим методом модуля сопротивления w_V для серии трещин K_a:

а — положение серии трещин относительно осей координат; *б* — направление главных напряжений; *в* — диаграмма сдвиговых напряжений T; *г* — диаграмма сопротивления массива B в плоскости трещин K_a; *д* — диаграмма модуля w_V; Φ_1 и Φ_2 — опасные сечения для нетрещиноватого материала; Φ_3 — опасное сечение для серии трещин K_a.

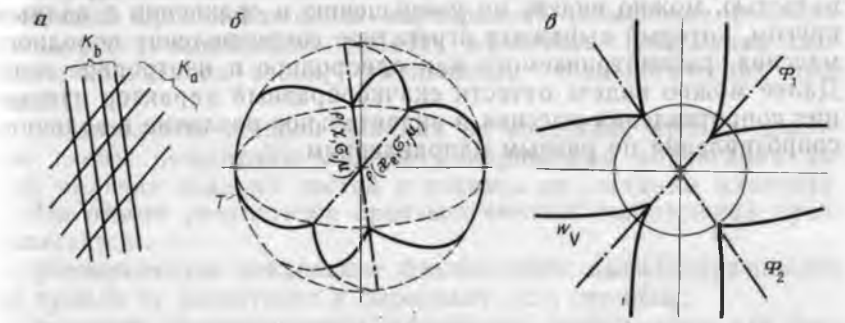


Рис. 2.30. Сопротивление массива B и диаграмма модуля сопротивления w_V для двух серий трещин K_a и K_b:

а — ориентирование серий трещин; *б* — уменьшение прочности массива, обусловленное сериями трещин; *в* — диаграмма модуля w_V; Φ_1, Φ_2 — опасные сечения, обусловленные трещиноватостью

векторной диаграмме очертить круг радиусом r_0, площадь которого равна площади векторной диаграммы S_0, и определить площадь всех лежащих вне этого круга участков диаграммы, а также участков, находящихся между контуром диаграммы и кругом, то отношение между полученной площадью S_1 и площадью диаграммы S_0 можно назвать коэффициентом неравномерности прочностных свойств массива горных пород K_u. Само

собой разумеется, что величина его для одного и того же породного массива при различных напряженных состояниях неодинакова.

Принцип векторных диаграмм для определения влияния направления главных напряжений на прочность пород с плоскостями ослабления был использован в 1958 г. Л. Мюллером и Ф. Пахером [128], причем соответствующие характеристики прочности были названы ими «модулями сопротивления» ω_v. Метод нашел широкое применение при решении различных инженерных задач.

Расчет модулей ω_v лучше всего выполнять графически. Влияние серии трещин K_a при разных ее направлениях и остающемся постоянным направлении главных напряжений σ_3 хорошо видно из рис. 2.29. Значения сдвиговых напряжений τ, сопротивления массива в плоскости трещин B и модуля ω_v наносятся в соответствии с рассматриваемым сечением. По диаграммам для B и ω_v можно весьма наглядно выделить наиболее неблагоприятные сечения (комплексные поверхности трещин), по которым можно ожидать разрушения как завершения процессов ползучести. Благодаря этому определяются углы разрушения α_1 и α_2.

Теоретические условия для двух серий трещин K_a и K_b и принятых напряженных состояний σ_1 и σ_2 (σ_3 действует по нормали к плоскости рисунка) в том виде, в каком они исследовались для конкретных условий шахты «Ноймюль», показаны на рис. 2.30. Влияние анизотропии материала, вызванной трещиноватостью, можно видеть по уменьшению в сравнении с полным кругом, который выражает агрегатное сопротивление породного массива, рассматриваемого как однородное и изотропное тело. Далее можно видеть отчасти скачкообразный характер изменения сопротивления массива и значительное различие в величине сопротивления по разным направлениям.



3. УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ЛАВЕ*

3.1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ УПРАВЛЕНИЯ КРОВЛЕЙ В ЛАВЕ

3.1.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРОВЛИ

Производственные наблюдения за состоянием кровли в лавах проводятся с целью:

проверки достаточности мер по управлению кровлей в высокопроизводительных лавах;

установления режима работы механизированных крепей (своевременности передвижки, достаточности начального распора) с разработкой мер по улучшению состояния кровли путем повышения рабочего сопротивления крепи, упрочнения призабойной части пласта, внесения изменений в конструкцию крепи, применения сетчатой затяжки;

определения возможности улучшения состояния кровли посредством организационных мероприятий (изменения последовательности выполнения рабочих процессов, повышения скорости подвигания забоя, уменьшения технологических простоев);

установления степени влияния на состояние кровли принятой схемы подготовки участка (направления подвигания забоя, наличия краевых частей и целиков по соседним пластам).

На основе результатов производственных наблюдений предполагается:

устанавливать отклонение фактического вывалообразования из кровли от расчетного и определять его причины;

получать количественные показатели, необходимые для проектирования новых участков на том же пласте;

своевременно иметь однозначные результаты испытаний крепи.

И, наконец, с помощью картотеки, ведущейся лабораторией рудничной крепи и механики горных пород, и анализа результатов производственных наблюдений имеется возможность:

определять ориентировочные средние значения для сравнения с результатами наблюдений, полученными на данной шахте, и разрабатывать на этой основе практические рекомендации;

получать количественные данные, необходимые для состав-

---

* Автор раздела Х. Хервиг.

Таблица 3.1

Дата	Номер участка наблюдений								
Расстояние от конца козырька крепи до забоя, см	0	20	40	60	80	100	*120*	140	160
Длина консольной части козырька, выступающей за носок основания, см	0	20	*40*	60	80	100	120	140	160
Расстояние между носком основания и конвейером, см	0	10	*20*	30	40	50	60	70	80
Расстояние между завальной стороной конвейера и забоем, см	80	90	100	110	120	130	*140*	150	160
Число выступов в кровле	0	*1*	2	3	4	5	6	7	8
Высота выступов в кровле, см	0	5	*10*	15	20	25	30	35	40
Высота первого вывала, см	0	10	*20*	30	40	50	60	70	80
Ширина первого вывала, см	0	20	40	60	80	*100*	120	140	160
Расстояние от кромки первого вывала до забоя, см	*0*	20	40	60	80	*100*	120	140	160
Высота второго вывала, см	*0*	10	20	30	40	50	60	70	80
Ширина второго вывала, см	*0*	20	40	60	80	100	120	140	160
Расстояние от кромки второго вывала до забоя, см	*0*	20	40	60	80	100	120	140	160
Высота породной подушки над козырьком крепи, см	*0*	5	10	15	20	25	30	35	40
Расстояние от конца козырька до первой точки его контакта с кровлей, см	0	10	20	30	*40*	50	60	70	80
Длина выдвинутой части стойки, см	0	10	*20*	30	40	50	60	70	80
Положение кромки вывала относительно шарнира козырька	Перед ним			*Над ним*			За ним		
Замечания									

Примечание. Курсивом выделены зафиксированные при наблюдениях данные.

ления исходных требований к созданию новых типов крепи;

устанавливать закономерности между состоянием и техническими мероприятиями по управлению кровлей и ее геологическим строением.

Критерием эффективности крепи являются частота и размеры вывалов породы из кровли лавы. Лабораторией рудничной крепи и механики горных пород разработана методика, позволяющая простыми измерениями количественно оценивать вывалы по их форме, размерам и частоте и с помощью машинной программы анализировать результаты измерений совместно с одновременно регистрируемыми характеристиками геологических и горнотехнических условий данного очистного забоя.

Наиболее существенным для успеха производственных наблюдений является унификация условий их проведения и интерпретации, поскольку только в этом случае возможно сопоставление и обобщение результатов большого числа наблюдений.

Таблица 3.2

Номер пункта наблюдений	Номер секции крепи	Расстояние от конца козырька до забоя, см	Расстояние между носками основания крепи и конвейером, см	Положение плоскости забоя, см	Расстояние от кромок вывала до забоя, см (0 / 100 / 200 / 300)	Выступы в кровле	Длина выдвинутой части стойки, см	Примечания
1	5	100	110	−10			12	
2	10	100	110	0			10	
3	15	60	90	−40			8	
4	20	60	60	−50			9	
5	25	40	30	−10		1/10	7	
6	30	40	30	−30			11	
7	35	0	50	−60			10	
8	40	40	110	−60			7	
9	45	0	70	−60		1/10	9	
10	50	40	80	−40		1/10	8	
11	55	60	105	−55			9	
12	60	80	60	+20		1/5	4	
13	65	100	90	−10			6	
14	70	100	70	+20			11	
15	75	20	40	−20			9	
16	80	0	80	−70			7	
17	85	40	20	−10			8	
18	90	80	70	0		1/5	10	
19	95	0	80	−50			10	
20	100	20	70	−50			10	

Примечания: 1. Положение плоскости забоя находится путем вычитания из суммы расстояния от конца козырька до забоя и длины консольной части козырька, выступающей за носки оснований крепи, суммы расстояний между носками оснований и конвейером и между завальной стороной конвейера и забоем. Полученный результат со знаком «плюс» означает отжим верхних пачек угля в забое, со знаком «минус» — их зависание.

2. В графе «Расстояние от кромок вывала до забоя» сплошной линией указывается положение кромок вывала относительно забоя, а над ней проставляется его высота.

3. В графе «Выступы в кровле» в числителе — число выступов, в знаменателе — их высота (см).

Лаву делят на равномерно распределенные по всей ее длине участки наблюдений шириной по 1,5 м (например, над каждой четвертой секцией крепи). На таких участках измеряют размеры вывалов породы и выступов в кровле, подсчитывают число трещин и регистрируют состояние поверхности забоя, а также положение конвейера и крепи в лаве. Примерная форма регистрации результатов производственных наблюдений за состоянием кровли в лаве, оборудованной щитовой крепью, приведена в табл. 3.1.

Наблюдения в каждой лаве проводят обычно дважды в неделю, при хорошей кровле — реже, при плохой — чаще. Иногда лаву обследуют систематически через определенное время, иногда — выборочно, через каждые 20—30 м подвигания. На обследование лавы затрачивается всего 2—3 ч, что позволяет лицу, ведущему наблюдения, в течение одной смены обследовать также и примыкающие к лаве штреки.

При наблюдениях с целью оценки эффективности работы крепи достаточно упрощенного обследования состояния кровли с регистрацией измеренных величин путем перечеркивания цифр в заранее заготовленном бланке по приведенной выше форме (см. табл. 3.1). Благодаря этому затраты времени сокращаются вдвое по сравнению с обычной записью. В строке «Замечания» можно записывать дополнительные данные о состоянии кровли или крепи на соответствующем участке наблюдения.

Выехав из шахты, лицо, производившее наблюдение, составляет рапорт по форме (табл. 3.2).

Детальный анализ производится лабораторией рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг», куда направляются следующие данные.

Общие сведения: название шахты, пласта, номер участка, мощность пласта, тип крепи и ее изготовитель, число стоек в секции крепи, усилие начального распора в стойках, номинальное сопротивление стоек, шаг передвижки крепи, способ управления кровлей, тип выемочной машины и ширина ее захвата, длина лавы, дата и время наблюдений.

Результаты наблюдений: показатель склонности кровли к вывалам; средняя площадь вывалов перед крепью; средняя высота вывалов; частота появления вывалов на расстоянии до 0,2 м от забоя; наибольшие по площади вывалы над крепью; число выступов в кровле на 100 м² площади кровли; средняя высота выступов в кровле; длина участков лавы с отжимом угля из верхней части забоя более чем на 0,4 м; среднее расстояние концов консольных перекрытий крепи от забоя; среднее расстояние первого ряда стоек крепи или соответственно носков оснований секций крепи от конвейера; среднее расстояние между конвейером и забоем; число наблюдений; средние значения по отдельным дням наблюдений и по отдельным пунктам наблюдений; средние значения и стандартные отклонения для всех замеренных величин.

Определение регрессионных зависимостей: площади вывалов перед крепью от расстояния между концами консолей перекрытий крепи и забоем, высоты вывалов перед крепью от расстояния между концами консолей перекрытий крепи и забоем.

Результаты всех измерений и соответствующих вычислений обобщаются в специальной картотеке.

3.1.2. ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ГИДРОСИСТЕМЕ КРЕПИ

Давление в гидравлических стойках (гидроопорах, секций механизированной крепи) измеряется на протяжении примерно двух недель на четырех секциях крепи с помощью самопишущих манометров, переставляемых через каждые два-три дня на новые секции крепи.

Давление и расход рабочей жидкости в гидросистеме крепи регистрируются в течение нескольких часов в добычную смену при помощи самопишущих манометров и расходомеров, установленных на концевых секциях крепи в лаве. Анализ полученных данных позволяет получать сведения о перепаде давления на нижнем и верхнем участках лавы в зависимости от расхода рабочей жидкости во время передвижки крепи. Проведение таких измерений, оценка и анализ результатов, а так-

же составление на их основе соответствующих практических рекомендаций осуществляются по методике, разработанной лабораторией рудничной крепи и механики горных пород.

Такие измерения целесообразно проводить в следующих случаях:

установления недостаточности рабочего сопротивления крепи для данных условий (по результатам производственных наблюдений) и необходимости определения причины этого (например, недостаточная производительность насосной станции, малый диаметр напорной магистрали, повреждение уплотнений, клапанов, гидрораспределителей, неправильное обслуживание);

необходимости представления руководству шахты постоянной или периодической информации о состоянии забойных гидросистем или крепей;

потребности в практических статистических данных для применения забойного оборудования вновь подготавливаемых выемочных участков или в целях совершенствования конструкции механизированных крепей.

Оценку результатов измерения давления в гидростойках осуществляют следующим образом. По лентам самопишущих манометров (с пределом измерений до 60 МПа) определяют давление начального распора $P_н$, среднее за цикл работы ($P_с$) и максимальное или номинальное $P_о$ давление рабочей жидкости в гидростойках. Усилие начального распора и среднее рабочее сопротивление стоек получают путем умножения величины соответствующего давления рабочей жидкости на площадь поперечного сечения цилиндра гидростойки.

Рабочим сопротивлением крепи называют выражаемое в единицах силы (кН) усилие, с которым крепь сопротивляется опусканию кровли; его определяют по фактически замеренным величинам давления в гидростойках.

Удельное рабочее сопротивление крепи — это рабочее сопротивление, отнесенное к единице площади поддерживаемой кровли (от забоя до задней кромки верхнего перекрытия) и определяют по среднему рабочему сопротивлению гидростоек в течение рабочего цикла секции крепи. В то же время номинальное сопротивление крепи определяют по номинальному (расчетному) значению распорных усилий гидростоек.

Фактическое усилие начального распора нередко бывает значительно ниже номинального. Возможными причинами этого являются недостаточная продолжительность цикла распора секций крепи, наличие вывалов кровли над крепью, недостаточная производительность насосной станции (при передвижке крепи одновременно в нескольких местах лавы) и большие потери давления в напорной магистрали.

3.1.3. УСИЛИЕ НАЧАЛЬНОГО РАСПОРА, СРЕДНЕЕ РАБОЧЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРИГРУЗКА НА ГИДРОСТОЙКИ ЩИТОВОЙ КРЕПИ

На рис. 3.1 показаны различия в усилиях начального распора, замеренных в двух лавах.

В лаве *А* лишь в 54% случаев фактическое усилие начального распора было больше 80% номинального значения, тогда как в лаве *В* — в 66% случаев. В лаве *А* 17% гидростоек крепи при начальном распоре секций не достигали 50% номинального усилия; средний фактический начальный распор составлял 75% номинального. В результате конвергенции рабочее сопротивление стоек в лаве *А* увеличилось до 85% номинального, а в лаве *В* — до 111%. Как правило, усредненное по времени рабочего цикла секции крепи рабочее сопротивление стоек соответствует номинальному их сопротивлению.

Отношение измеренных усилий начального распора к заданному рабочему сопротивлению крепи в 30 обследованных лавах было весьма различным, равняясь в среднем по всем забоям 65% (рис. 3.2). Только в 24% обследованных лав фактическое рабочее сопротивление крепи превышало на 30% усилие начального распора (в среднем по всем лавам на 29%).

Гидростойки щитовой крепи часто не достигали номинального рабочего сопротивления, соответствующего срабатыванию предохранительного клапана. В среднем максимальное фактическое сопротивление было равно 82% номинального. Таким образом, при необходимости повышения рабочего сопротивления щитовой крепи в общем случае более целесообразно увеличивать начальный распор гидростоек, чем повышать их номинальное рабочее сопротивление.

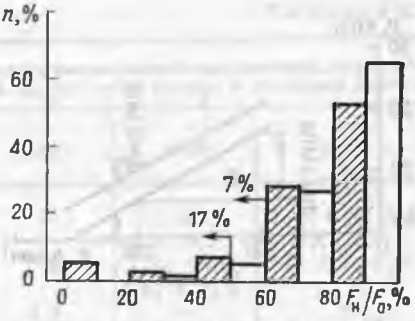
Среднее рабочее сопротивление гидростоек определяют по среднему рабочему давлению в них, которое находится в пределах между давлением начального распора и давлением срабатывания предохранительного клапана. При одном и том же давлении начального распора оно бывает тем больше, чем быстрее нагружается стойка под действием оседания кровли.

Как видно из рис. 3.3, при повышении усилия начального распора на 0,5 МН среднее рабочее сопротивление стоек увеличивается на 0,56 МН, в то время как при повышении номинального сопротивления на 0,5 МН рабочее сопротивление возрастает лишь на 0,37 МН. Этим объясняется, почему при необходимости увеличения рабочего сопротивления крепи рекомендуется повышать усилие начального распора, а не номинальное сопротивление.

3.1.4. ДАВЛЕНИЕ В ГИДРОСИСТЕМЕ ЛАВНОЙ КРЕПИ

Рассмотрим следующий пример. Подача рабочей жидкости в гидросистему лавной крепи осуществляется насосной станцией, включающей два насоса с подачей по 60 л/мин. Вначале насос-

Рис. 3.1. Гистограмма фактического отношения усилия начального распора к заданному $F_н/F_0$ в лавах A (заштриховано) и B (не заштриховано)



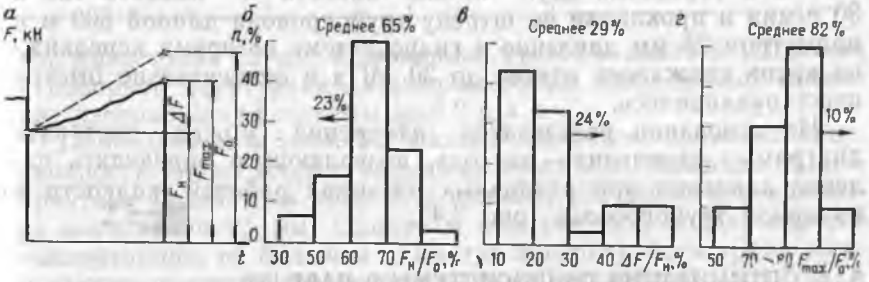


Рис. 3.2. График изменения начального усилия распора $F_н$, максимального фактического (F_{max}) и номинального (F_0) сопротивлений и прироста сопротивления (ΔF) крепи за время рабочего цикла t ($а$) и гистограммы отношений $F_н/F_0$ ($б$), $\Delta F/F_0$ ($в$) и F_{max} ($г$) в 30 обследованных лавах

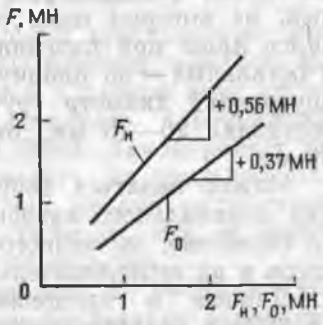


Рис. 3.3. Усредненные характеристики крепи, полученные по результатам измерений в 79 лавах, оборудованных щитовыми крепями

ная станция располагалась в 30 м от лавы. Кольцевая магистраль в лаве была выполнена из рукавов внутренним диаметром 20 мм, а разводка между секциями — из рукавов внутренним диаметром 13 мм. При отсутствии операций по передвижке крепи давление в гидросистеме колебалось в пределах 33—38 МПа, расход жидкости составлял 60—75 л/мин. Эти колебания были обусловлены утечками рабочей жидкости из напорной магистрали.

Во время передвижки крепи давление в напорной магистрали снижалось до 18 МПа, а восстанавливалось медленно из-за слишком позднего включения второго насоса.

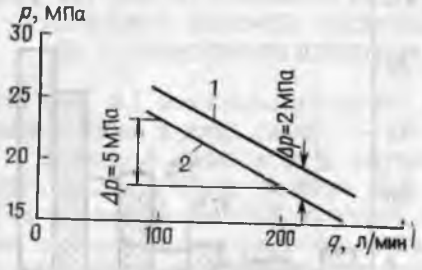


Рис. 3.4. Диаграмма «давление — расход» в гидросистеме лавной щитовой крепи при давлении у насосной станции 30—35 МПа:

1, 2 — соответственно у нижнего и верхнего концов лавы

После установки двух новых насосов с подачей 120 и 80 л/мин и прокладки по штреку трубопровода длиной 500 м и диаметром 25 мм давление в гидросистеме во время передвижки крепи снижалось только до 30 МПа и относительно быстро восстанавливалось.

На основании результатов измерений можно построить диаграмму «давление — расход», позволяющую определять падение давления при различных расходах рабочей жидкости в напорном трубопроводе (рис. 3.4).

3.1.5. ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОСИСТЕМЫ В ЛАВЕ [58]

В 16 обследованных лавах были установлены насосы с различной подачей: в одной — один с подачей 60 л/мин, в двух — по одному (80 л/мин), в пяти лавах — по два (80 л/мин каждый, из которых один работал постоянно, а второй подключался лишь при падении давления до предельного значения), в остальных — по одному (120 л/мин). Для большинства лав внутренний диаметр трубопроводов, проложенных в штреках, составлял 20—25 мм, только в одном случае он был равен 40 мм.

Можно задаться вопросом: зависит ли время восстановления номинального давления в гидросистеме лавы после резкого снижения, вызванного повышенным расходом, от числа насосов и их производительности?

Данные о продолжительности повышения давления на 10 МПа в гидросистемах в зависимости от числа насосов и их производительности, а также диаметра напорной магистрали приведены в табл. 3.3.

Наиболее медленное наращивание давления (16 с) было отмечено в гидросистеме с одним насосом, имевшим подачу 60 л/мин. В системах с подачей насоса 80 л/мин при диаметре напорной магистрали 25 мм время повышения давления на 10 МПа составляло 5,2 с, а при диаметре 40 мм — 3,4 с.

При двух насосах с подачей по 80 л/мин среднее время повышения давления на 10 МПа находилось в пределах 2—7,6 м.

Примерно такова же была продолжительность повышения давления при насосах с подачей 120 л/мин и диаметре напор-

Таблица 3.3

Диаметр напорной магистрали, мм	Средняя продолжительность повышения давления на 10 МПа в гидросистемах (с) при числе насосов и их подаче (л/мин)			
	1×60	1×80	2×80	1×120
20	16	—	—	7,6; 6,4; 4,4; *3,6*; *2,4*
25	—	5,2	7,6;; 5,6; 4,8; *4,2*; *2*	*4*; *3,2*; *2,2*
40	—	3,4	—	—

ной магистрали 20 мм. Комбинация насоса с подачей 120 л/мин и напорной магистрали диаметром 25 мм обеспечивает снижение инерционности системы до 2,2 и 4 с.

Приведенные в табл. 3.3 восемь наилучших значений инерционности гидросистемы выделены курсивом. Наиболее благоприятные показатели насосов с подачей 120 л/мин при диаметре магистрали 25 мм. Однако и при меньшей подаче насосов маслостанции, но большем диаметре напорной магистрали можно также получать вполне приемлемые результаты.

3.2. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ КРОВЛЕЙ

3.2.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Средняя площадь вывалов в призабойном пространстве. Этот показатель, характеризующий удельную площадь вывалов, выводится как среднее по всем измерениям в данной лаве, по измерениям в отдельные дни и по различным наблюдениям, в связи с чем он рассчитывается на ЭВМ. Такой расчет позволяет, например, установить, изменилась ли удельная площадь вывалов в период наблюдений или же они сосредоточиваются в определенных местах лавы. Если это так, то можно заняться выяснением причин этого обстоятельства.

Средний показатель склонности кровли к вывалам. Этот определяемый регрессионным анализом показатель характеризует удельную площадь вывалов при расстоянии между концами консолей перекрытия крепи и забоем, равном 1 м. Критерием эффективности управления кровлей является отношение фактической средней удельной поверхности вывалов к показателям склонности кровли к обрушению.

Частота вывалов высотой более 30 см. Он характеризуется отношением суммарной длины вывалов высотой более 30 см к длине лавы. От него в значительной степени зависит реальная скорость подвигания забоя. Так, лавы, оборудованные с щитовыми крепями, в которых суммарная протяженность вывалов высотой более 30 см не превышала 10% длины лавы,

имели среднюю скорость подвигания 3,68 м/сут, а в тех лавах, где она составляла более 30%, средняя скорость подвигания равнялась всего 2,7 м/сут.

Частота выступов при ступенчатом опускании кровли. Частота появления выступов в кровле в общем случае определяется в процентах от длины лавы — раздельно для выступов различной высоты. Если необходимо сравнивать по этому показателю различные лавы, то его относят к 100 м² обследованной кровли, поскольку ширина призабойного пространства в отдельных забоях неодинакова.

Кровля считается опасной по вывалам, если ее показатель склонности к вывалам превышает 10%. В этом случае требуется особая тщательность при креплении призабойного пространства. Кровлю относят к опасной по образованию выступов, или заколов, если она вплоть до отработанного вышележащего пласта представлена прочными породами.

Управление кровлей может быть признано эффективным, если:

средняя удельная площадь вывалов перед крепью не превышает 10% обследованной площади кровли;

суммарная протяженность вывалов высотой более 30 см меньше 10% длины лавы;

число выступов высотой 10 см и более на 100 м² площади кровли не превышает пяти.

Состояние кровли признается неудовлетворительным, если:

средняя удельная площадь вывалов перед крепью составляет более 30% обследованной площади кровли;

частота вывалов высотой более 30 см превышает 30%;

число выступов высотой свыше 10 см на 100 м² площади кровли больше десяти.

3.2.2. СРЕДНИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ В ЛАВАХ

Данные о состоянии кровли в 280 лавах с крепями различных типов на шахтах Рурского бассейна приведены в табл. 3.4 (по картотеке лаборатории рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг»).

Мощность пласта не оказывает влияния на склонность кровли к вывалам, но, по-видимому, влияет на отжим угля, и, следовательно, на расстояние между концами верхняков (или призабойных консолей перекрытий) и забоем. Одновременно увеличивается также и частота вывалообразования.

Щитовые механизированные крепи первоначально на наклонных и крутонаклонных пластах не применялись. Однако при их использовании в опытном порядке на таких пластах оказалось, что они достаточно устойчивы и при наклонном падении. При этом влияния угла падения пласта на вывалообразование установить не удалось.

Таблица 3.4

Показатели	По всем 280 лавам	В том числе			
		по 119 лавам с щитовыми механизированными крепями	по 84 лавам с рамными и кустовыми механизированными крепями	по 44 лавам с гидравлическими стойками	по 33 лавам со стойками трения
Средняя мощность пласта, м	1,88	2,01	1,65	1,99	1,86
Средний угол падения пласта, градус	8	7	9	10	9
Средняя глубина горных работ, м	720	744	695	700	727
Средняя удельная площадь вывалов перед крепью, %	16,5	12,6	15,9	21,7	25
Средняя высота вывалов перед крепью, см	33	37	32	28	31
Средний показатель склонности кровли к вывалам, %	19	15,8	19	22,3	26
Средняя удельная площадь вывалов над крепью, %	22,5	17,6	23,8	27,1	31
Удельная длина вывалов высотой более 30 см, %	18	15	20	21	22
Число выступов на 100 м² площади кровли	4,9	4,7	4,3	5,1	6,6
Средняя высота выступов в кровле, см	9	8	8	10	13
Среднее положение плоскости забоя, см	+6	+8	+2	+11	+3
Среднее расстояние между концами верхняков и забоем, м	0,8	0,69	0,73	1,1	1,00
Среднее расстояние между носками оснований секций или первым рядом стоек и конвейером, м	0,45	0,41	0,52	0,42	0,41
Среднее расстояние между завальным бортом конвейера и забоем, м	1,4	1,53	1,31	1,29	1,25
Среднее удельное рабочее сопротивление крепи, кН/м²	270	280	250	—	—
Средняя скорость подвигания лавы, м/сут	2,86	3,27	2,9	2,31	1,76

Влияние глубины разработки на показатель склонности кровли к вывалам, как доказано, сказывается так же, как и влияние горного давления. Однако это не относится к вывалам высотой менее 30 см.

Удельная площадь вывалов перед крепью характеризует эффективность управления кровлей в лаве. Она наиболее удовлетворительна в лавах с щитовыми крепями, хотя этот вопрос еще нельзя считать полностью решенным. Расстояние между концами верхняков или призабойных козырьков перекрытий от забоя и склонность кровли к вывалам определяют удельную

площадь вывалов перед крепью. Оба указанных показателя в лавах с щитовыми крепями имеют наименьшее значение. Хотя средняя высота вывалов в лавах с щитовыми крепями наиболее велика, удельная длина вывалов высотой больше 30 см в таких лавах (15%) меньше, чем в лавах с крепями других типов. Это обстоятельство следует объяснить повышением в последние годы рабочего сопротивления щитовых крепей.

В нормальных случаях при удельном рабочем сопротивлении крепи не менее 300 кН/м^2 частота появления вывалов высотой более 50 см невелика.

Показатель склонности кровли к вывалам в лавах с щитовыми крепями меньше, чем в лавах с индивидуальной крепью. Исследования показали, что он не зависит от типа крепи, если только рабочее сопротивление крепи и расстояние между концами верхняков и забоем находятся в пределах допустимых значений. Поэтому его следует считать весьма важным для практики критерием.

Удельная площадь вывалов над крепью в лавах с щитовыми крепями минимальна, поскольку и перед крепью вывалов образуется немного. В результате опускания перекрытий при передвижке секций щитовой крепи она увеличивается примерно на 25%, в то время как при перестановке индивидуальной крепи — только на 20%.

Число и высота вывалов из кровли не зависят от типа крепи. Исключение составляют лишь лавы со стойками трения, что объясняется небольшой несущей способностью этой крепи. Более интенсивные осадки кровли происходят преимущественно при крепких породах кровли, надработанных вышележащим пластом и находящихся в зоне пониженного давления краевой части выработанного пространства. Для предотвращения ступенчатого опускания кровли необходимо увеличивать рабочее сопротивление крепи.

Отжим угля в забое не зависит от типа крепи, а определяется, как установлено к настоящему времени, в основном геологическими факторами, мощностью пласта. Отжим угля, ведущий к увеличению незакрепленной площади кровли, в значительной мере влияет на образование вывалов. Желательно, чтобы выемочная машина заранее оформляла забой в виде наклонной плоскости во избежание последующего непредусмотренного образования откоса в плоскости забоя. Ширина незакрепленной полосы кровли между забоем и концами верхняков или призабойных консолей минимальна при щитовой крепи. В комбайновых лавах она, как правило, несколько меньше, чем в струговых, хотя в последнем случае из-за обычно меньшей мощности пласта отжим угля проявляется более слабо. В лавах с индивидуальной крепью ширина незакрепленной полосы кровли определяется расстоянием до забоя концов верхняков, распертых стойками, поскольку шарнирно навешенные консольные верхняки, как правило, не оказывают сопротивления рас-

слоению кровли. От ширины незакрепленной полосы кровли зависит удельная площадь вывалов. Дальнейшее ее уменьшение можно считать одним из основных вопросов повышения эффективности управления неустойчивой кровлей. Расстояние между забоем и концами призабойных консолей определяется не только конструктивными особенностями крепи и отжимом угля, но и своевременностью передвижки секций крепи и расстоянием между конвейером и забоем.

Расстояние между забоем и концами оснований секций механизированной крепи характеризует своевременность ее передвижки или соответственно запаздывание крепления. В струговых лавах оно в среднем должно быть равным половине шага передвижки крепи.

Расстояние между конвейером и забоем на мощных пластах больше, чем на тонких. К тому же на мощных пластах часто не все гидродомкраты передвижки крепи присоединяют непосредственно к конвейеру, что ведет к росту расстояния между забоем и конвейером или крепью.

Среднее рабочее сопротивление у механизированных крепей различных типов неодинаково. Гидравлические стойки индивидуальной крепи имеют примерно такое же рабочее сопротивление, как и стойки механизированной, а стойки трения — от трети до половины сопротивления стоек механизированной крепи. Щитовые крепи с короткими козырьками верхних перекрытий при относительно небольшом распорном усилии обеспечивают примерно такое же удельное рабочее сопротивление, как и крепи поддерживающего типа. Недостаточное усилие распора крепи в определенных горно-геологических и горнотехнических условиях может быть причиной осадки кровли. Рабочее сопротивление крепи оказывает влияние на вывалы пород из кровли лишь в тех случаях, когда оно меньше определенной критической величины. Поскольку в определенных условиях хорошее управление кровлей достигается и при сравнительно небольшом рабочем сопротивлении крепи, в общем случае следует придерживаться правила, согласно которому повышать сопротивление крепи рекомендуется лишь тогда, когда в кровле образуются вывалы большой высоты или выступы со значительным оседанием породных блоков.

Скорость подвигания лав с щитовыми крепями почти вдвое выше, чем у лав с индивидуальной крепью. Тем не менее влияние скорости подвигания забоя на частоту вывалообразования удалось установить только в одном случае.

3.2.3. ФОРМЫ ВЫВАЛОВ ПОРОДЫ ИЗ КРОВЛИ, ИХ РАЗМЕРЫ И ЧАСТОТА

В кровле лавы нередко можно наблюдать образование трещин нескольких типов (рис. 3.5).

При этом преобладали трещины R2 (69% всех обнаруженных в кровле трещин). Между такими трещинами образова-

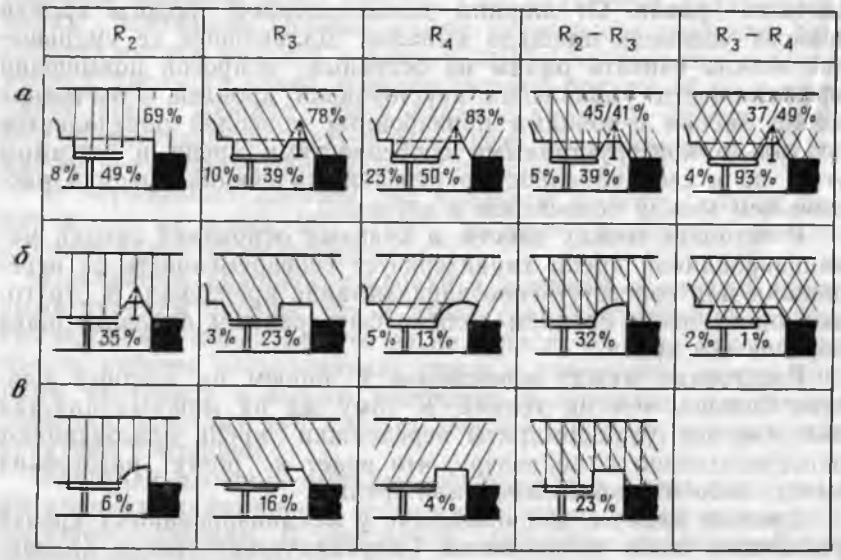


Рис. 3.5. Формы вывалов породы из кровли при преобладании различных групп трещин:

а — по плоскостям основной трещиноватости; *б* — по одной или двум плоскостям, не совпадающим с основной трещиноватостью; *в* — по плоскостям ослабления тектонического происхождения

лось 49% всех вывалов, 35% вывалов произошло по одной или двум плоскостям, не совпадающим с основной трещиноватостью, и 6% — по плоскостям ослабления тектонического происхождения. В 29% всех обследованных лав преобладали трещины R2. В остальных лавах распределение числа вывалов (%) по причинам их образования характеризуется следующими данными:

Сочетание трещин R2—R2	25
Сочетание трещин R2—R3, R2—R4, R3—R4	44
Сочетание трещин R3—R3	7
Сочетание трещин R4—R4	1
Наличие ложной кровли	11
Тектонические плоскости ослабления	13

Таким образом, наиболее распространены клиновидные вывалы.

Преобладание в кровле трещин R2, R3 и R4 определяется строением и свойствами породного массива (табл. 3.5).

Из рис. 3.6 видно, что в 77 обследованных лавах 52% вывалов имели ширину свыше 1 м, 26% — более 2 м. Средняя их ширина составляла 1,43 м.

Как видно из рис. 3.7, около 59% вывалов имели высоту более 20 см и примерно 13% — свыше 50 см. Средняя высота вывалов равнялась 27 см.

Таблица 3.5

Характеристика породной толщи	Группы трещин		
	R2	R3	R4
Марка угля	Коксовый и отощенноспекающийся	Коксовый, жирный и длиннопламенный	Коксовый и жирный
Прочность угля в массиве (примерно)	В большей мере малая, чем большая	В большей мере большая, чем малая	Средняя
Разброс мощности пласта, м	1—3	1,5—2,5	1,2—1,5
Средняя мощность пласта, м	2	1,8	1,4
Прочность и однородность породных слоев кровли	Прочные однородные	В значительной мере разнопрочные	Как правило, с незначительными изменениями прочности, обычно однородные
Средний предел прочности пород кровли, сжатие, МПа	50	31	38
Примерная мощность рассекаемой трещинами породной толщи, м	1,2—2 и более	0,4—1	0,8—1,5
Примерное число плоскостей ослабления	1	3	9

3.3. ВЛИЯНИЕ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И СТРУКТУРЫ КРОВЛИ

3.3.1. СТУПЕНЧАТОЕ ОПУСКАНИЕ КРОВЛИ [57]

Пониженное горное давление при недостаточном сопротивлении крепи и крепких породах кровли может быть причиной ее ступенчатого опускания.

Рассмотрим следующий пример. Над непосредственной кровлей, представленной глинистыми сланцами мощностью 4 м, залегали слои более прочной породы. Сопротивление крепи составляло 200 кН/м². Лава была надработана тремя пластами, что привело к значительной разгрузке пород кровли. При положении лавы *1* (рис. 3.8) максимальное давление в средней части лавы составляло только 25 МПа. В этот период в кровле лавы насчитывалось до 47 выступов на 100 м² площади кровли. После того как лава вышла из зоны надработки в положение *2*, давление в середине лавы превысило 60 МПа, а число выступов в кровле сократилось до 7 на 100 м².

Такой характер опускания кровли можно объяснить сле-

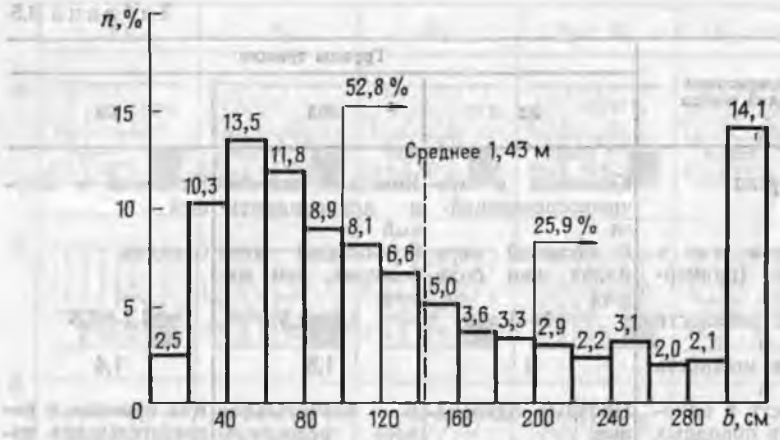


Рис. 3.6. Гистограмма ширины вывалов из кровли b в 77 обследованных лавах при общем числе вывалов 17 426

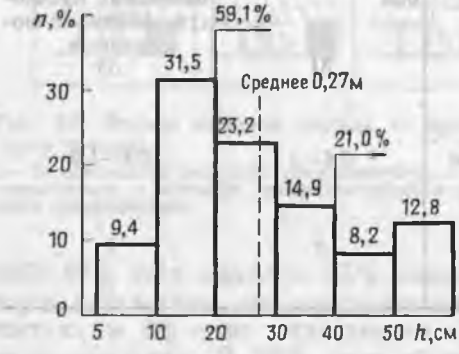


Рис. 3.7. Гистограмма высоты вывалов из кровли h в 77 обследованных лавах при общем числе вывалов 17 426

дующим. При крепких породах кровли и небольшом горном давлении расстояние между трещинами достаточно велико. Крепь в этом случае испытывает значительную нагрузку. Если рабочее сопротивление крепи недостаточно, то над забоем образуются закольные трещины. Аналогичную картину можно наблюдать при ведении очистных работ на небольшой глубине. Под краевыми частями и целиками по вышележащим пластам такие явления наблюдаются редко. Но зато в таких случаях породы кровли сильно нарушены, так что показатель склонности кровли к вывалам увеличивается.

Имеются пласты, на которых заколы в кровле появляются лишь при первичной осадке основной кровли. При этом речь идет о единичном явлении, связанном с отходом лавы от разрезной печи. На других пластах ступенчатое оседание кровли проявляется также и при полностью развившихся очистных работах. Пока что не представляется возможным предсказывать, будут ли появляться выступы в кровле только при отходе лавы от разрезной печи или они возможны и при дальнейшей ее работе в нормальных условиях.

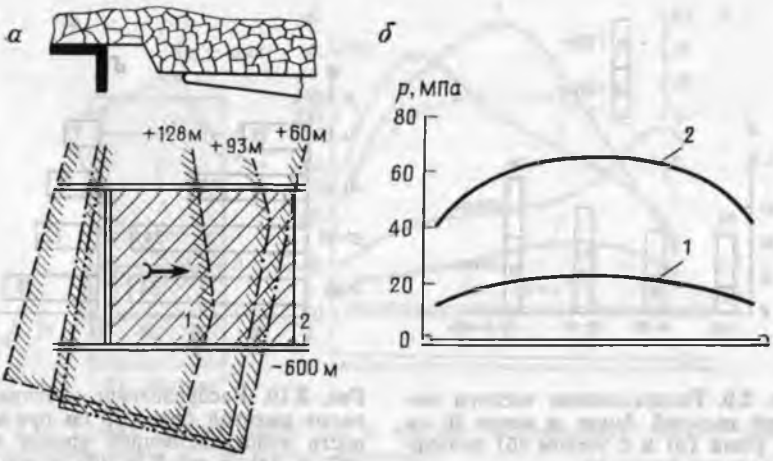


Рис. 3.8. Схема горных работ (*а*) и график интенсивности ступенчатого оседания кровли по длине лавы (*б*):
1, 2 — положение лавы соответственно в надработанной и ненадработанной зонах

Результаты проведенных исследований показывают, что рабочего сопротивления крепи 400 кН/м² достаточно для предотвращения ступенчатого оседания кровли.

3.3.2. ВЫВАЛЫ ПОРОД ИЗ КРОВЛИ

Горное давление и вывалы. Лабораторией рудничной крепи и механики горных пород произведено обобщение результатов производственных наблюдений за состоянием кровли в более чем 280 лавах.

В 15% из более чем 100 лав, по которым имелись данные о структуре пород кровли, кровельная толща была представлена песчанистыми сланцами или песчаниками. Вывалы из кровли в них наблюдались редко. Поэтому рассматриваемые ниже данные относятся лишь к лавам, в непосредственной кровле которых залегал глинистый сланец.

Кровля в таких лавах была нарушена вывалами в среднем на 28% длины забоев. На участках, протяженность которых составляла 14% длины лавы, высота вывалов превышала 30 см (рис. 3.9, *а*). Поскольку горное давление по длине лавы распределяется неравномерно, все лавы были разделены на пять участков равной длины (по 40—50 м), и для каждого такого участка была определена величина горного давления. По ее значению участки были сгруппированы в четыре класса: до 40, 41—60, 61—80 МПа и более 80 МПа. После этого частоту вывалов соотнесли к участкам лавы с разным давлением. Из рис. 3.9, *б* видно, что частота вывалов (отнесенная к длине лавы) увеличивается с 22% при низком давлении до 38% при

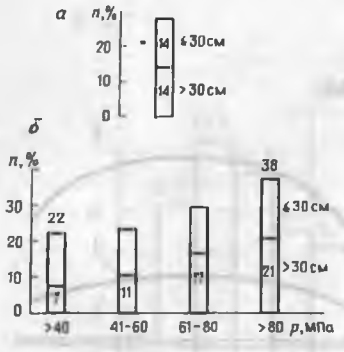


Рис. 3.9. Распределение частоты вывалов высотой более и менее 30 см без учета (*а*) и с учетом (*б*) величины горного давления



Рис. 3.10. Распределение частоты вывалов высотой более 30 см при мощности непосредственной кровли $m<2$ м (*а*) и $m>2$ м (*б*) и различном горном давлении

высоком. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что частота вывалов высотой до 30 см остается примерно постоянной при любом давлении. В то же время частота вывалов высотой более 30 см при повышении горного давления однозначно увеличивается с 7 до 21%.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что рабочее сопротивление крепи влияет только на частоту вывалов большой высоты. Поэтому в дальнейшем в качестве критерия состояния кровли будут учитываться только частота вывалов высотой больше 30 см, выраженная в виде отношения суммарной протяженности вывалов к длине лавы $l_в$ (%).

Структура кровли и вывалы. Само собой разумеется, что состояние кровли в лаве зависит не только от горного давления. В качестве другого фактора была принята структура породных слоев кровли (рис. 3.10). При этом обнаружилось, что состояние кровли в лавах, в которых непосредственная кровля представлена глинистыми сланцами мощностью менее 2 м, при том же горном давлении было заметно хуже, чем в тех случаях, когда мощность непосредственной кровли превышала 2 м.

В лавах с непосредственной кровлей небольшой мощности даже при небольшом горном давлении происходили вывалы высотой больше 30 см суммарной протяженностью, превышавшей 20% длины лавы. В лавах с такого рода неблагоприятной структурой кровли эффективное управление кровлей при большой глубине разработки возможно только после снижения горного давления за счет предварительной отработки защитных пластов.

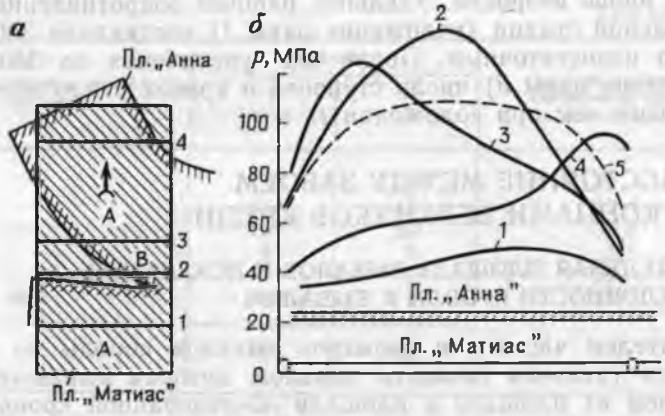


Рис. 3.11. Схема горных работ (*а*) и график распределения горного давления по длине лавы (*б*) на пласте «Матиас»:

1—4 — положения очистного забоя; *б* — нормальное для данной глубины разработки горное давление; *А* и *В* — соответственно зоны ступенчатого опускания кровли и усиленного вывалообразования

3.3.3. ПРИМЕР ПОДРАБОТКИ ЦЕЛИКА

Кровля пласта «Маттиас» состояла из глинистых сланцев мощностью 3 м, выше которых залегал песчаник мощностью 7 м.

В результате надработки пластом «Анна» давление на участке пласта «Матиас», соответствовавшем положению лавы *1*, было значительно уменьшено (рис. 3.11). Вследствие этого кровля в лаве оседала ступенчато, но показатель склонности кровли к вывалам был незначительным (табл. 3.6).

Как только лава оказалась под целиком по пласту «Анна» (положение лавы *2*), горное давление возросло более чем вдвое, что привело к значительному росту склонности кровли к вывалам и уменьшению числа выступов.

После выхода лавы из-под целика давление снова уменьшилось. Частота вывалов сократилась, но число выступов в

Таблица 3.6

Показатель	Положение лавы			
	1	*2*	*3*	*4*
Среднее горное давление, МПа	42	98	91	67
Склонность кровли к вывалам, %	3	16	10	1
Число выступов на 100 м²	28	3	15	5
Рабочее сопротивление крепи, кН/м²	300	—	—	380

кровле вновь возросло. Удельное рабочее сопротивление крепи в начальной стадии (положение лавы *1*) составляло 300 кН/м² и было недостаточным. После его увеличения до 380 кН/м² (положение лавы *3*) число ступеней в кровле стало значительно меньше, чем при положении *1*.

3.4. РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЗАБОЕМ И КОНЦАМИ ВЕРХНЯКОВ КРЕПИ

3.4.1. УДЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ ВЫВАЛОВ И ПОКАЗАТЕЛЬ СКЛОННОСТИ КРОВЛИ К ВЫВАЛАМ

Показателем частоты и размеров вывалов породы из кровли является удельная площадь вывалов, которая выражается отношением их площади к площади обследованной кровли (%).

Удельная площадь вывалов перед крепью растет с увеличением расстояния между забоем и концами верхняков a (точнее, между забоем и первой точкой контакта верхняка с кровлей). Существующие между ними зависимости для устойчивой, средней устойчивости и неустойчивой кровли характеризуются кривыми, приведенными на рис. 3.12. Указанные кривые могут быть аппроксимированы прямыми (штриховые линии). Примерно для половины лав в этом диапазоне переменных наблюдается удовлетворительная линейная статистическая зависимость. Для другой половины забоев такая зависимость не установлена, поскольку вывалы происходят редко или сразу же

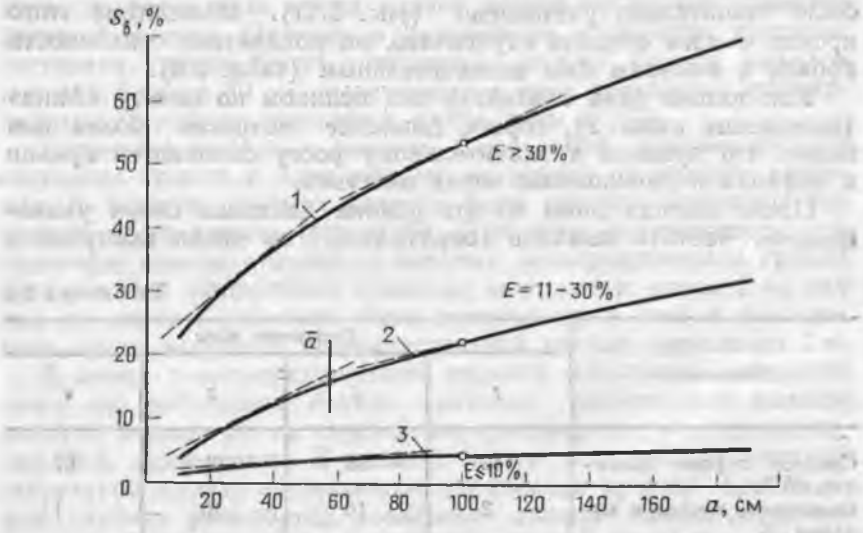


Рис. 3.12. График зависимости удельной площади вывалов перед крепью $S_в$ от расстояния между концами верхняков и забоем a:
1, 2, 3 — соответственно при неустойчивой, средней устойчивости и устойчивой кровле; a — среднее расстояние от концов верхняков до забоя

Таблица 3.7

Преобладающие группы трещин	Лавы		Средний показатель склонности кровли к вывалам E, %
	Число	%	
R2	14	18	28
R3	33	43	27,4
R4	15	20	30,2
R2 и R3	4	5	8,9
R3 и R4	7	9	20
R2, R3 и R4	3	4	32
	76	100	

после обнажения обрушается ложная кровля (в том числе раздавленная нижняя пачка непосредственной кровли).

Среднюю удельную площадь вывалов, отнесенную к среднему расстоянию между забоем и верхняками, равному 1 м, называют показателем склонности кровли к вывалам E. Этот показатель оказался весьма удобным для характеристики состояния кровли в очистных забоях. В табл. 3.7 приводятся данные, иллюстрирующие зависимость показателя E от характера трещинообразования в кровле лавы.

Из табл. 3.7 видно, что наиболее склонными к вывалам являются кровли с преимущественным образованием трещин R4.

На основе результатов обследования 301 лавы было установлено следующее распределение частоты лав с различной кровлей (%):

устойчивой ($E \leqslant 10\%$)	44
средней устойчивости ($E = 11 \div 30\%$) . .	36
неустойчивой ($E > 30\%$)	20

Решающим фактором для эффективной работы крепи является в конечном счете расстояние между забоем и концами верхняков, зависящее от организации производства в лаве. Даже при высокой склонности кровли к вывалам путем сокращения этого расстояния удается значительно уменьшить фактическую удельную площадь вывалов. О его влиянии можно судить по графику (рис. 3.13), когда при небольшой разнице в склонности кровли к вывалам ($E = 20\%$ для пласта «Анна» и $E = 27\%$ для пласта «Диккебанк») различие в фактической удельной площади вывалов весьма значительно (7 и 48%), поскольку в первом случае среднее расстояние между забоем и верхняками составляло 0,28 м, а во втором — 1,77 м.

Показатель склонности кровли к вывалам может (но не всегда) зависеть от скорости подвигания забоя (рис. 3.14), так как с увеличением скорости подвигания забоя возрастает ско-

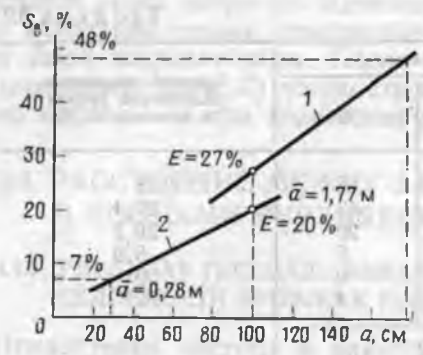
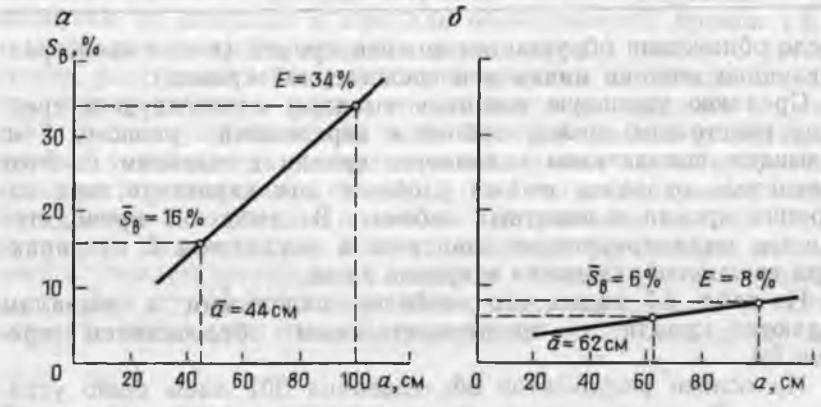


Рис. 3.13. График зависимости средней удельной площади вывалов перед крепью $S_в$ от расстояния между концами верхняков и забоем a:

1, 2 — в лавах соответственно по пластам «Диккебанк» и «Анна»

Рис. 3.14. График зависимости средней удельной площади вывалов перед крепью $S_в$ от расстояния между концами верхняков и забоем:

а, б — при скорости подвигания лав соответственно 2,1 и 4,3 м/сут



рость крепления, уменьшается запаздывание в установке крепи, уголь и боковые породы в меньшей степени подвергаются деформациям, приводящим к снижению их прочности.

3.4.2. ВЫВАЛЫ БОЛЬШОЙ ВЫСОТЫ

Влияние расстояния между забоем и концами верхняков на частоту появления вывалов большой высоты увеличивается с возрастанием горного давления. На участках лавы с расстоянием между забоем и концами верхняков менее 0,65 м удельная протяженность вывалов высотой больше 30 см возросла с 6% при низком горном давлении до 17% при высоком (рис. 3.15). Среднее расстояние между забоем и концами верхняков на этом участке лавы составляло 0,48 м.

При расстоянии между забоем и концами верхняков более 0,65 м удельная площадь вывалов возросла после повышения горного давления с 9 до 22%. Среднее расстояние между забоем и верхняками составляло в этом случае около 0,86 м.

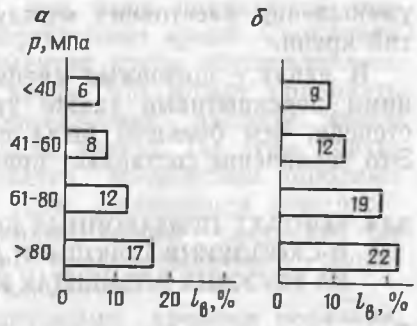


Рис. 3.15. Распределение удельной протяженности $l_в$ вывалов высотой более 30 см в зависимости от величины горного давления при расстоянии от концов верхняков до забоя $<0{,}65$ (*а*) и $>0{,}65$ (*б*)

В то же время образование вывалов высотой до 30 см определяется только расстоянием между забоем и концами верхняков и не зависит ни от величины горного давления, ни от сопротивления крепи.

3.4.3. ВЫВАЛЫ ПОРОД КРОВЛИ ПЕРЕД КРЕПЬЮ И НАД НЕЙ

При передвижке крепи под вывалы, образовавшиеся в незакрепленной полосе кровли между забоем и концами призабойных консолей, в результате разгрузки секций происходит отслаивание породных пачек, ранее удерживаемых консолями. При последующем распоре секций передвинутой крепи разрушаются породные выступы, оставшиеся в промежутках между вывалами. В связи с этим площадь вывала распространяется на весь участок кровли — в призабойном пространстве — от забоя до завальной консоли перекрытия (рис. 3.16). Это явление называют эффектом топтания кровли. Его вредными последствиями являются скопления породной мелочи на верхнем перекрытии крепи, повышение податливости крепи и пылеобразование. Поэтому необходимо предупреждать даже небольшие вывалы пород перед крепью, в первую очередь за счет

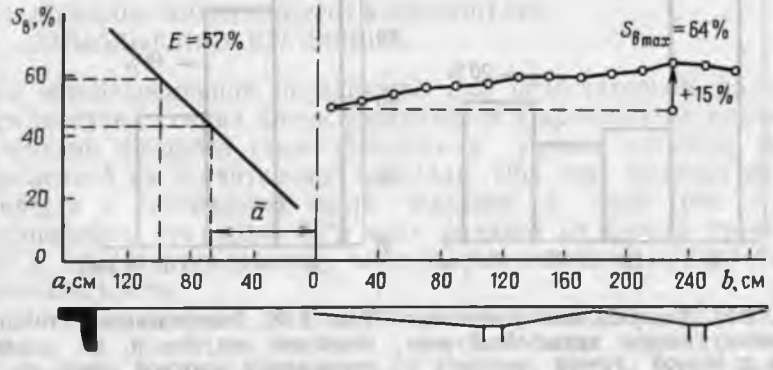


Рис. 3.16. График увеличения удельной площади вывалов из кровли перед крепью $S_в$ при передвижке механизированной крепи

уменьшения расстояния между забоем и консолями перекрытий крепи.

В лавах с щитовыми крепями площадь вывалов над верхними перекрытиями также увеличивается и в тем большей степени, чем большей была площадь вывалов перед крепью. Это увеличение составляет примерно 25%.

3.4.4. КОНТАКТ ПРИЗАБОЙНЫХ КОНСОЛЕЙ С КРОВЛЕЙ И СКОПЛЕНИЯ ПОРОДНОЙ МЕЛОЧИ НА НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ КРЕПИ

Верхние перекрытия щитовых крепей не всегда полностью прилегают к кровле. В 72 обследованных лавах со щитовыми крепями в среднем только в 49% случаев концы призабойных консолей перекрытий непосредственно контактировали с кровлей (рис. 3.17). В 20% случаев первая точка контакта с кровлей была удалена более чем на 40 см от конца консоли. Наиболее существенной причиной этого явления следует считать скопление породной мелочи на перекрытиях, в то время как неровности кровли и длина призабойных консолей имеют подчиненное значение.

Правда, удельная площадь вывалов ставится обычно в зависимость от расстояния между забоем и концами консолей перекрытий. Тем не менее размеры вывалов перед и над крепью определяются шириной полосы незакрепленной кровли с учетом фактического контакта призабойных консолей с поверхностью кровли. При высокой склонности кровли к вывалам

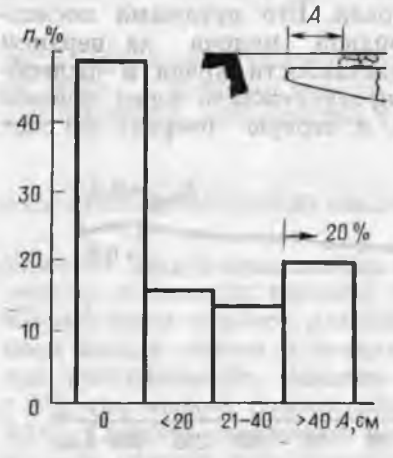


Рис. 3.17. Распределение расстояния A между концом призабойной консоли и первой точкой контакта с кровлей по результатам измерений в 72 лавах со щитовой крепью

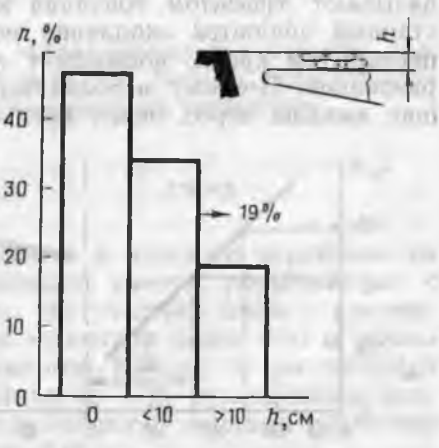


Рис. 3.18. Распределение толщины штыбовой подушки h на верхних перекрытиях щитовой крепи по результатам измерений в 72 лавах

последние образуются тем чаще, чем чаще появляются «подушки» из породной мелочи на перекрытиях крепи. Скопления породной мелочи на несущих элементах крепи обусловливают, далее, увеличение податливости крепи, что может приводить к неудовлетворительному первоначальному распору крепи и дальнейшему ухудшению состояния кровли. По этим причинам важно знать толщину и характер воздействия породных «подушек» на состояние кровли. При дальнейшем совершенствовании щитовых механизированных крепей следовало бы попытаться разработать устройство, предупреждающее скопление породной мелочи на несущих элементах.

Наблюдения в 72 лавах со щитовыми крепями показали, что в среднем только на 47% верхних перекрытий секций отсутствуют скопления породной мелочи (рис. 3.18). В 34% случаев толщина породной «подушки» не превышала 10 см, а в остальных же была больше 10 см.

Если частоту обнаружения верхних перекрытий щитовой крепи без скоплений породной мелочи соотнести с максимальной удельной площадью вывалов над крепью, то можно установить, что за немногими исключениями увеличение доли таких секций ведет к снижению удельной площади вывалов. В то же время какого-либо влияния длины призабойных консолей перекрытий не установлено. Однако имеется связь между долей перекрытий крепи без скоплений породной мелочи и долей призабойных консолей, концы которых плотно прилегают к кровле. Контакт верхнего перекрытия крепи с кровлей улучшается за счет применения поджимных призабойных консолей в тех случаях, когда на основном перекрытии имеются скопления породной мелочи.

3.5. ЗАПАЗДЫВАНИЕ КРЕПЛЕНИЯ И ОТЖИМ УГЛЯ ИЗ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗАБОЯ

3.5.1. ВЫВАЛЫ ПОРОД КРОВЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗАПАЗДЫВАНИЯ КРЕПЛЕНИЯ

При несвоевременной передвижке или недостаточном распоре передвинутых секций крепи увеличивается промежуток времени, в течение которого свежеобнаженная кровля остается незакрепленной на значительной площади. Оба этих фактора могут привести к увеличению числа вывалов в лаве (рис. 3.19). Установлено, что около 80% всех вывалов из кровли происходит в пространстве между забоем и концами призабойных консолей крепи.

Ниже приведены результаты наблюдений за состоянием кровли на одном из участков струговой лавы, проводившихся непрерывно во время подвигания лавы на 12,5 м, что соответствовало 20 циклам передвижки крепи, при средней продол-

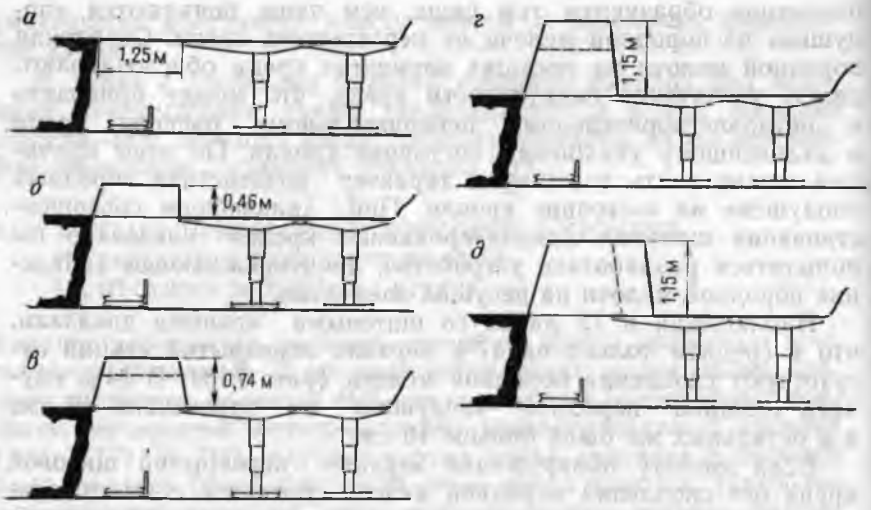


Рис. 3.19. Схемы образования и расширения вывала из кровли в призабойном пространстве струговой лавы (крепь была передвинута к забою лишь через 6 ч после окончания выемки стругом полосы угля):

а, б, в, г и *д* — положение в забое соответственно в 6 ч 30 мин, 7 ч 25 мин, 7 ч 42 мин, 10 ч 37 мин и 11 ч 5 мин

жительности цикла струговой выемки (включая шаг передвижки крепи) 3,5 ч.

Число полос, при выемке которых происходили вывалы пород из кровли	12
Число вывалов, образовавшихся или расширившихся:	
во время выемки угля стругом	8
после выемки очередной полосы угля	11
Средний промежуток времени, после которого возникали или расширялись вывалы из свежеобнаженной кровли угля, мин	70
Среднее запаздывание крепления, мин	103

При аналогичных наблюдениях, проведенных в двух лавах по пласту «Диккебанк», установлено, что 24% вывалов приходится на время работы струга в забое, 40% — на промежуток между завершением выемки очередной полосы угля и передвижкой крепи, 36% — на время передвижки крепи.

В одной из лав вывалы высотой более 50 см возникали во время прохода верхнего шнека комбайна в 4% пунктов наблюдений, а вывалы высотой от 20 до 50 см — в 42% пунктов наблюдений. В общей сложности при выемке угля комбайном они происходили в 46% пунктов наблюдений. В промежутке между окончанием выемки угля и передвижкой крепи в 26% пунктов наблюдений образовавшиеся ранее вывалы расширились, так что их высота превысила 50 см, а в 21% пунктов возникли новые вывалы. При передвижке секций крепи, продолжавшейся примерно 30 мин, число вывалов увеличилось незна-

чительно. Можно предположить, что при полном исключении запаздывания крепления (т. е. при передвижке крепи непосредственно за комбайном) удалось бы сократить примерно на четверть число всех вывалов и на 70% число вывалов высотой более 50 см.

Влияние запаздывания крепления на склонность кровли к вывалам можно установить лишь при большом объеме наблюдений, являющихся весьма трудоемкими. Поэтому такие наблюдения проведены к настоящему времени лишь в немногих лавах, так что дать какую-либо количественную обобщающую оценку влияния запаздывания крепления на вывалообразование пока не представляется возможным.

Запаздывание крепления может быть обусловлено лишь организацией работ в лаве, если расстояние между забоем и призабойными консолями крепи равно шагу передвижки. Если же это расстояние больше шага передвижки, то полоса обнаженной кровли может оставаться незакрепленной вплоть до следующего цикла передвижки крепи (например, в случае отжима угля).

3.5.2. ОТЖИМ УГЛЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗАБОЯ [55]

Отжим угля в верхней части забоя не только увеличивает расстояние между забоем и концами верхняков крепи, но и приводит к запаздыванию крепления (рис. 3.20).

Из распределения частоты появлений отжима угля на пласте «Цольферейн-2—3» мощностью 2,5 м видно, что с ростом отжима Δb повышается частота вывалов из кровли в призабойном пространстве (рис. 3.21). Положение плоскости забоя после отжима угля может быть самым различным. На пластах средней мощности наблюдается отжим как нижних, так и верхних пачек пласта.

С увеличением вынимаемой мощности пласта случаи отжима нижних его пачек становятся более редкими, удельная же протяженность участков с отжимом верхних пачек пласта увеличивается (рис. 3.22).

Влияние способа выемки на отжим в забое установлено только для пластов коксующегося угля мощностью более 2 м. Применение струговой выемки на таких пластах ведет к более частому отжиму угля.

Тип и сопротивление крепи не оказывают какого-либо влияния на отжим угля (правда, если сопротивление не меньше определенного критического значения). Заметное влияние направления подвигания лавы установлено только для одного пласта. На других пластах такого влияния обнаружено не было.

Для предотвращения отжима угля в одной из лав, где он происходил на глубину более 40 см и наблюдался на 40% длины забоя, было применено упрочнение угольного массива

.20

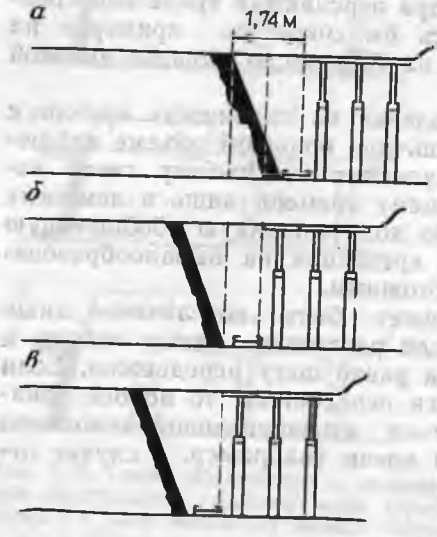


Рис. 3.20. Схемы запаздывания крепления из-за отжима угля в струговой лаве, закрепленной индивидуальными механическими стойками:

а — после выемки стругом полосы угля; *б* — через сутки после выемки очередной полосы угля и установки крепи; *в* — через двое суток после выемки следующей полосы и установки крепи

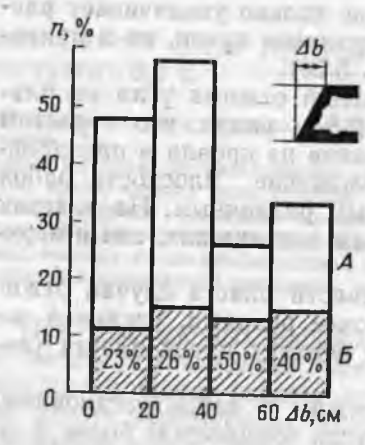
Рис. 3.21. Частота отжима угля по его величине Δb:

А — все случаи отжима; *Б* — случаи отжима с образованием вывалов

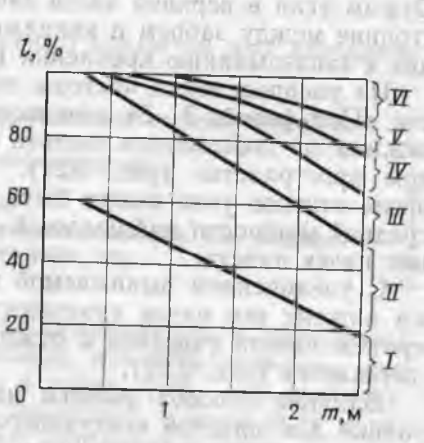
Рис. 3.22. График изменения относительной длины участка лавы l_0 с отжимом угля в зависимости от мощности пласта m:

I — зависание верхней части забоя; *II*—*VI* — отжим верхней части забоя на величину Δb, равную соответственно <20, 21—40, 41—60, 61—80 и >80 см

3.21



3.22



нагнетанием укрепляющих составов. В результате протяженность участков, на которых происходил отжим, сократилась до 11% общей длины лавы.

В связи с тем, что упрочнение забоя укрепляющими составами является дорогостоящим мероприятием, на пластах повышенной мощности забои обычно крепят деревянными анкерами, закрепляемыми в шпурах полиуретаном. На пласте «Вассерфаль» мощностью около 2,2 м при незаанкерованном забое отжим угля на глубину более 60 см наблюдался на 34% наблюдательных пунктов. После установки в каждом наблю-

дательном пункте по одному анкеру частота отжима угля сократилась до 27%, а после закрепления забоя двумя и большим числом деревянных анкеров — до 20%. Однако на пласте «Каролина» анкерование забоя не дало положительного результата в части уменьшения отжима угля.

В одной из лав по пласту коксующегося угля мощностью 3 м для предотвращения отжима угля применялись активные противоотжимные щитки. Их использование не дало эффекта, так как при отводе щитков от забоя при подходе комбайна наблюдалось высыпание отжатого угля, причем интенсивность и глубина отжима были примерно такими же, как и до применения противоотжимных щитков.

3.6. ТИП И СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЕПИ

3.6.1. ВЛИЯНИЕ КРЕПИ НА ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

При выборе забойного оборудования встает вопрос об оптимальном типе крепи и требованиях к ее сопротивлению. Для его решения были проанализированы результаты произведенных обследований лав. Выполненным анализом установлено, что тип крепи (поддерживающая кустовая или двух-, трех- и четырехстоечная щитовая) не оказывает влияния на состояние кровли, если сопротивление крепи и расстояние между забоем и призабойными ее консолями одинаковы. Вместе с тем следует принимать во внимание то обстоятельство, что при применении двухстоечной щитовой крепи для достижения удельного рабочего сопротивления 300 кН/м^2 необходимо, чтобы номинальное распорное усилие каждой стойки было не менее 1600 кН, а отношение e/f, показывающее степень использования рабочего сопротивления стоек в фактическом сопротивлении секции крепи, составляло не менее 0,7 (рис. 3.23).

При условии, что в секциях четырехстоечной щитовой крепи все стойки погружены одинаково хорошо, удельное рабочее сопротивление 400 кН/м^2 может быть достигнуто при усилии номинального сопротивления каждой стойки 700 кН (рис. 3.24). Если же крепь работает не в оптимальном режиме, то для достижения удельного рабочего сопротивления 300 кН/м^2 необходимо, чтобы усилие номинального сопротивления каждой стойки было не менее 900 кН.

Обычно требуемую несущую способность крепи выражают ее номинальным сопротивлением, отнесенным к единице площади поддерживаемой кровли и определяемым по давлению в гидросистеме, диаметру цилиндров гидростоек и площади поддерживающих элементов. Сопротивление крепи, определенное по физически измеренному давлению в гидростойках, называют фактическим рабочим сопротивлением крепи. На основа-

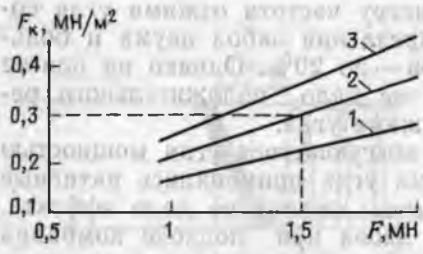


Рис. 3.23. График зависимости фактического удельного сопротивления двухстоечных секций щитовой крепи $F_к$ от номинального распорного усилия стоек F при отношении e/l, равном 0,5 (*1*), 0,7 (*2*) и 0,9 (*3*)

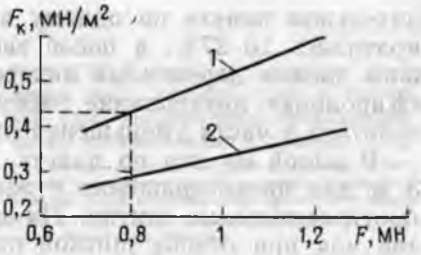


Рис. 3.24. График зависимости фактического удельного сопротивления четырехстоечных секций щитовой крепи $F_к$ от номинального распорного усилия стоек F при оптимальном (*1*) и неоптимальном (*2*) использовании крепи

нии результатов наблюдений за вывалами пород из кровли невозможно установить, какой из показателей сопротивления кровли — отнесенный к единице длины лавы или к единице площади кровли — является более существенным, поскольку у всех типов крепи расстояние между забоем и концом призабойной консоли перекрытия примерно одинаково. Хотя можно предположить, что более обоснованным является показатель рабочего сопротивления, отнесенного к 1 м посадочного ряда, все данные о рабочем сопротивлении крепи даются обычно по отношению к 1 м² поддерживаемой кровли. Тем не менее было бы неверным стремиться получить высокое сопротивление крепи на 1 м² поддерживаемой кровли при малом распорном усилии гидростоек (т. е. при малых затратах на крепь) за счет применения крайне коротких поддерживающих козырьков.

До сих пор при определении минимально достаточного сопротивления крепи нередко требуется учитывать в первую очередь вынимаемую мощность пласта. Это относится, в частности, к требованию органов горного надзора, сформулированному, в свое время, на основании простейших расчетов, согласно которым минимальное сопротивление крепи должно быть кратно вынимаемой мощности пласта M (м) и составлять не менее $80M$ (кН/м²).

Возникает вопрос, чем следует руководствоваться для предотвращения вывалов большой высоты — рекомендуемой минимальной величиной рабочего сопротивления крепи независимо от мощности пласта или приведенным выше соотношением? Другими словами, нужно ли в лаве на более мощном пласте большее сопротивление крепи, чем в лаве на пласте меньшей мощности? Результаты исследований показали, что этого не требуется.

Критерием выбора величины рабочего сопротивления крепи должны служить проявления горного давления.

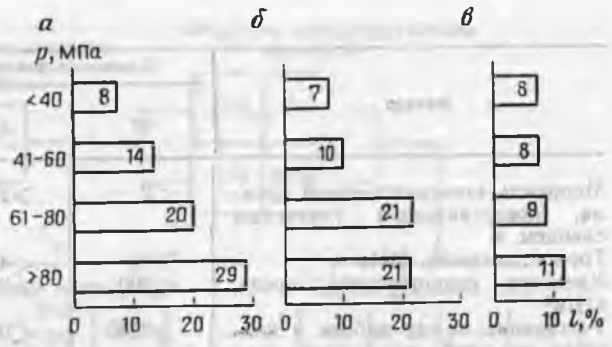


Рис. 3.25. Частота относительной протяженности участков лавы с вывалами высотой больше 30 см в зависимости от расчетного горного давления p при удельном сопротивлении крепи $P_к$ равном <200 кН/м² (*а*), 210—300 кН/м² (*б*) и >300 кН/м² (*в*)

Для предупреждения образования высоких выступов при ступенчатом оседании кровли, по нашему мнению, следует применять крепи с удельным рабочим сопротивлением не менее 400 кН/м².

Как указывалось выше, на образование вывалов из кровли высотой до 30 см сопротивление крепи не оказывает существенного влияния. В то же время частота вывалов высотой более 30 см непосредственно зависит от сопротивления крепи. Чем выше горное давление, тем больше должно быть сопротивление крепи. При небольшом сопротивлении крепи (<20 кН/м²) частота вывалов большой высоты увеличивалась с ростом горного давления с 8 до 29% (рис. 3.25). При среднем сопротивлении крепи (210—300 кН/м²) частота вывалов оставалась примерно постоянной при росте горного давления до 60 МПа. При дальнейшем же его увеличении она повышалась до 21%. В лавах с высоким сопротивлением крепи заметного увеличения частоты вывалов с ростом горного давления установлено не было. Но все же и при высоком сопротивлении крепи в случае значительного горного давления средняя частота вывалов составляла 11% общей длины лавы. При горном давлении до 60 МПа сопротивление крепи 200 кН/м² достаточно для предупреждения крупных вывалов пород из кровли. Но если давление превышает 60 МПа, сопротивление крепи должно быть не меньше 300 кН/м².

Сопротивление крепи само по себе не может определять эффективность управления кровлей. Оно должно рассматриваться совместно с другими факторами с целью получения ориентировочной количественной оценки его влияния.

3.6.2. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЧАСТОТУ ВЫВАЛОВ

Оценка результатов наблюдений с помощью дисперсионного анализа показала, что зависимость частоты вывалов высотой более 30 см (в процентах от общей длины лавы) от строения кровли пласта, величины горного давления, сопротивления

Таблица 3.8

Фактор	Изменение фактора		Уменьшение частоты вывалов, %
	от	до	
Мощность непосредственной кровли, представленной глинистым сланцем, м	<2	$\geqslant 2$	16
Горное давление, МПа	>80	<40	9
Удельное сопротивление крепи, кН/м²	<200	>300	7
Расстояние между забоем и концами консолей перекрытий крепи, м	$\geqslant 0{,}65$	$<0{,}65$	6

крепи и расстояния от забоя до концов консолей перекрытий статистически достоверна. О влиянии отдельных факторов на частоту вывалов породы из кровли можно судить по данным табл. 3.8.

При увеличении мощности непосредственной кровли, представленной глинистыми сланцами до 2 м и более, частота вывалов уменьшается на 16%. Если непосредственно над пластом залегает толща песчанистых сланцев или песчаника, вывалы большой высоты вообще не происходят. При этом и остальные факторы не оказывают какого-либо влияния. В то же время вывалы небольшой высоты могут возникать независимо от величины горного давления и сопротивления крепи.

Существуют и другие факторы, влияющие на частоту вывалов пород кровли: скопление породной мелочи на поддерживающих элементах крепи; трещины тектонического происхождения, неблагоприятно ориентированные по отношению к направлению подвигания забоя (примерно под углом 13—15°); тектоническая нарушенность массива; значительная влажность пород и др. Они имеют локальное значение и поэтому не могут быть статистически учтены. Не поддаются статистической обработке также данные об организации работ в лаве и скорости подвигания забоя.

3.6.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ ЧАСТОТЫ ВЫВАЛОВ [57]

На основе результатов статистической обработки данных, полученных при обследовании 101 лавы (преимущественно на шахтах Рурского бассейна), представляется возможным вывести определенные количественные зависимости частоты вывалообразования от влияющих на нее факторов для использования их при прогнозировании ожидаемого поведения кровли. При этом могут быть получены ответы на следующие вопросы: каким должно быть сопротивление крепи, если кровля склонна к вывалам; какова вероятность удовлетворительного или

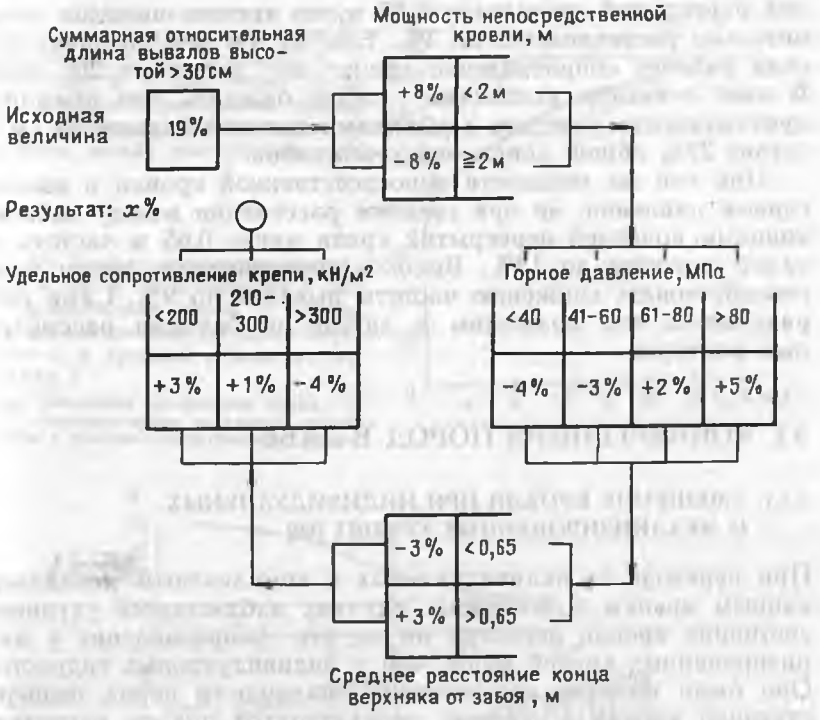


Рис. 3.26. Схема определения ожидаемой частоты вывалов высотой больше 30 см (в % длины лавы) по известным величинам мощности непосредственной кровли, горного давления, среднего расстояния между концами верхняков и забоем и сопротивления крепи

неудовлетворительного состояния кровли при использовании данной крепи;

насколько эффективны в действующей лаве мероприятия по повышению рабочего сопротивления крепи или уменьшению расстояния между забоем и концами призабойных консолей перекрытий крепи.

Следует, однако, отметить, что подобные расчеты связаны со значительным разбросом конечных результатов (стандартное отклонение 16%). Он объясняется как недостаточной точностью исходных данных, так и локальными отклонениями свойств пластов, вмещающих пород, сопротивления крепи и расстояния между забоем и консолями перекрытий крепи.

Приведенная на рис. 3.26 схема позволяет определять ожидаемую частоту вывалов (в % общей длины лавы) в зависимости от различных факторов. Если исходить из средней частоты вывалов 19%, то при мощности непосредственной кровли 2 м и более она должна уменьшиться на 8%, т. е. до 11%. При давлении более 80 МПа частота вывалов возрастает на 5%. Если среднее расстояние между забоем и концами консо-

лей перекрытий превышает 0,65 м, то частота вывалов дополнительно увеличивается на 3%. Еще на 3% она увеличивается, если рабочее сопротивление крепи не достигает 200 кН/м². В лаве с такими условиями следует ожидать, что суммарная протяженность участков с вывалами высотой больше 30 см составит 22% общей длины очистного забоя.

При той же мощности непосредственной кровли и высоком горном давлении, но при среднем расстоянии между забоем и концами консолей перекрытий крепи менее 0,65 м частота вывалов снизится до 13%. Высокое сопротивление крепи может способствовать снижению частоты вывалов до 9%. Само собой разумеется, что возможны и другие комбинации рассмотренных факторов.

3.7. КОНВЕРГЕНЦИЯ ПОРОД В ЛАВЕ

3.7.1. СМЕЩЕНИЕ КРОВЛИ ПРИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЯХ [69]

При переходе от индивидуальных к комплектным механизированным крепям в некоторых случаях наблюдалось ухудшение состояния кровли несмотря на то, что сопротивление у механизированных крепей выше, чем у индивидуальных гидростоек. Оно было вызвано нарушением сплошности пород непосредственной кровли вследствие чередующихся циклов нагрузки и разгрузки породных слоев при передвижке комплектов крепи (особенно при небольшом шаге передвижки).

Ниже рассматривается еще одна причина ухудшения состояния кровли при использовании механизированных крепей, установленная при измерениях конвергенции в лаве. Речь идет о соотношении между усилиями начального и максимального распора гидростоек и количестве гидростоек, переставляемых одновременно при передвижке комплекта крепи.

В лаве, оборудованной комплектной механизированной крепью и разрабатывавшей пласт вынимаемой мощностью 2,2 м с углом падения 14—18°, усилие начального распора гидростоек составляло 16 кН. После просадки стоек на 10 мм оно возросло до 370 кН (рис. 3.27). Медленная просадка гидростоек в первые часы после передвижки обусловливает их недостаточное рабочее сопротивление, величина которого определяется видом и расположением крепи. Неустойчивая кровля может осесть над вновь установленными стойками в значительно большей мере, чем над стойками, находящимися под полной нагрузкой. Вследствие этого в кровле в параллельном лаве направлении образуется S-образная кривая прогиба, волнообразно перемещающаяся вслед за передвижкой крепи (рис. 3.28). Указанное явление называют «волной конвергенции». Многократные изгибы, последовательно претерпеваемые

Рис. 3.27. График изменения сопротивления стоек комплектной крепи F, в зависимости от их просадки $l_п$ и конвергенции K в лаве через 1; 2; 3 и 4 ч после перестановки секции (точка измерения конвергенции — посередине, между комплектами крепи)

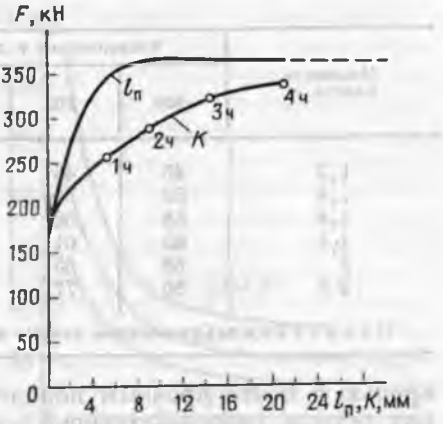
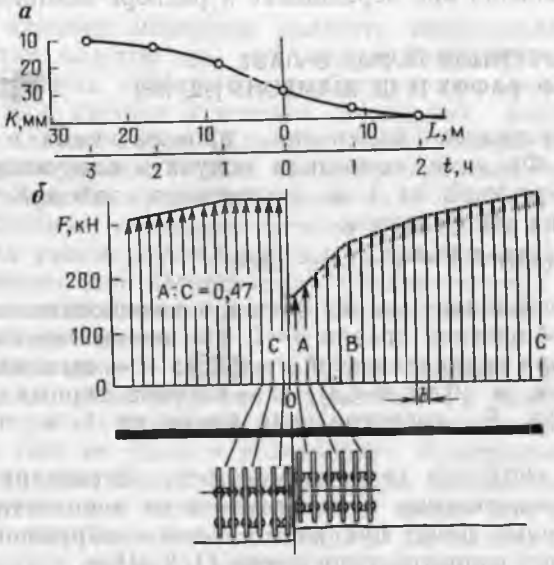


Рис. 3.28. График изменения конвергенции K ($а$) и сопротивления F ($б$) стоек комплектной крепи в зависимости от расстояния до места передвижки L и времени с момента передвижки t:

b — шаг установки комплектов крепи; A, B и C — соответственно начальное, промежуточное и конечное сопротивление крепи



породными слоями непосредственной кровли, ведут к ослаблению их прочности.

В комплектных механизированных крепях соотношение между усилиями начального и максимального сопротивления гидростоек должно приниматься как можно более высоким, с тем чтобы при неустойчивой кровле ограничить волну конвергенции до минимума. Однако целесообразность повышения усилия начального распора до максимального конструктивно возможного предела вызывает сомнения по другим факторам управления кровлей. Так, в подобном случае создаются условия для раздавливания слоя непосредственной кровли между

Таблица 3.9

Мощность пласта, м	Конвергенция в лаве (мм/м) при глубине горных работ, м					
	600	700	800	900	1000	1100
1,2	46	45	43	42	41	40
1,4	52	50	48	47	46	45
1,6	58	56	54	52	51	50
1,8	63	61	59	57	56	54
2	68	65	63	61	60	58
2,5	80	77	75	72	71	69

Примечание. Приведенные данные не учитывают влияния сопротивления крепи.

крепью и более прочным породным слоем, вследствие чего линия обреза непосредственной кровли может переместиться в зону над перекрытиями крепи. Последнее в свою очередь вызовет осложнения при передвижке и распоре комплектов крепи.

3.7.2. КОНВЕРГЕНЦИЯ ПОРОД В ЛАВЕ ПО Ж. Ф. РАФФУ И Ш. ШАМБОНУ [92, 138]

Оценка результатов измерений, произведенных в 140 лавах на шахтах Франции, позволила получить следующую зависимость конвергенции на 1 м подвигания забоя K (мм/м) от влияющих на нее факторов:

$$K = 200\,(qM)^{0,75}H^{0,25}\,(340/F + 0,30),$$

где q — коэффициент усадки пород в выработанном пространстве (при обрушении кровли $q=1$, при пневматической закладке $q=0,5$, при гидравлической $q=0,25$); M — вынимаемая мощность пласта, м $(0,8<M<3)$, H — глубина горных работ, м $(100H<1000)$, F — сопротивление крепи на 1 м посадочного ряда, кН.

Данные табл. 3.9 дают возможность определить среднюю величину конвергенции в зависимости от мощности пласта и глубины горных работ при работе лавы с обрушением $(q=1)$ и при среднем сопротивлении крепи 1150 кН/м.

О средней величине конвергенции в лаве на глубине 500 м в зависимости от сопротивления крепи при различной мощности пласта можно судить по графику (рис. 3.29).

3.8. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА УПРАВЛЕНИЯ КРОВЛЕЙ

О состоянии кровли в лавах следует заботиться еще при проектировании схем подготовки и отработки выемочных участков, с тем чтобы исключить вредное влияние целиков и краевых частей пластов по вышележащим пластам.

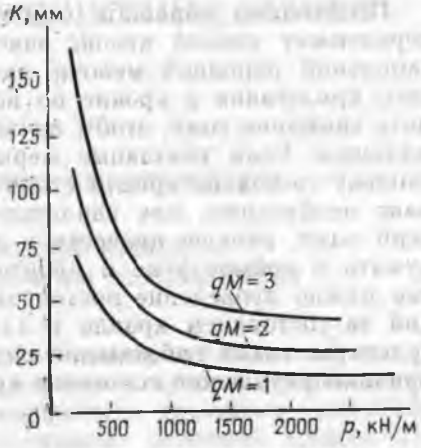


Рис. 3.29. График зависимости конвергенции в лаве K (на 1 м подвигания забоя) от сопротивления крепи F при различных показателях qM

Крайне важным моментом является непрерывная и быстрая отработка пластов при как можно большей скорости подвигания очистных забоев. Свежеобнаженная кровля должна подхватываться крепью в течение нескольких минут, причем вплотную к линии забоя. Для этого необходима автоматизация передвижки крепи. Усилие прижатия к кровле призабойной консоли перекрытия не должно превышать 10 кН на 1 м² кровли. Во избежание неконтролируемого обнажения кровли из-за отжима угля рекомендуется укреплять забой установкой деревянных анкеров или нагнетанием полиуретановых составов. В будущем, по-видимому, появится возможность придавать забою наклонную форму.

Опускание верхних перекрытий при разгрузке секций для их передвижки неблагоприятно сказывается на состоянии кровли. Однако при неустойчивой кровле передвижку крепи с подпором пока еще не удается реализовать. Коэффициент затяжки кровли должен быть по возможности наибольшим.

При отсутствии в непосредственной кровле прочных пород необходимо обязательно предотвращать высыпание породы из образовавшегося вывала. Расширяющиеся вывалы следует стабилизировать специальными мерами.

Удельное рабочее сопротивление крепи в общем случае не должно превышать 300 кН/м². Характерным признаком недостаточности сопротивления крепи является образование высоких узких вывалов, а также заколов в кровле. Основания секций крепи не должны вдавливаться в почву.

Вероятность вывалов перед крепью повышается, если над перекрытиями крепи они уже имеются. Вывалы распространяются по направлению подвигания забоя, захватывая в большинстве случаев также вышележащие слои кровли. Поэтому следует предупреждать или стабилизировать даже небольшие вывалы у забоя.

Необходимо обращать особое внимание на своевременную передвижку секций крепи, очистку верхних перекрытий от скоплений породной мелочи для обеспечения их более плотного прилегания к кровле по всей длине. Следует также уделять внимание тому, чтобы начальный распор секций был оптимальным. Если указанные меры не приводят к успеху, поскольку состояние кровли стало уже очень плохим, то в такой лаве необходимо, как свидетельствует многолетний практический опыт, раньше привести в порядок кровлю и лишь потом думать о добыче угля и производительности труда. Поэтому так важно проведение постоянных производственных наблюдений за состоянием кровли в лавах. При неблагоприятных результатах таких наблюдений следует систематически выявлять причины ухудшения состояния кровли.

4. КРЕПЬ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ*

4.1. НЕОБХОДИМОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЕПИ

4.1.1. МИНИМАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЕПИ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ТРЕБОВАНИЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ РАБОТ [77, 142]

Нагрузка, действующая на стойку крепи, складывается из нагрузки от веса пород непосредственной кровли, отслоившихся от массива по плоскости отдельности и трещинам давления, и нагрузки, обусловленной оседанием основной кровли. Нагрузка от оседания основной кровли должна восприниматься крепью за счет податливости при постоянном или нарастающем сопротивлении. При расчетах крепи учитывают только нагрузки от непосредственной кровли.

Если непосредственная кровля мощностью h_1 (рис. 4.1, *а*) отслоилась от основной, то при недостаточно высоком сопротивлении крепи A может произойти ее оседание. При сохранении сплошности породных слоев непосредственной кровли смещение ее по падению, несмотря на усилие сдвига S, не происходит до тех пор, пока сопротивление крепи A больше нормальной к напластованию компоненты G_b собственного веса G пород непосредственной кровли.

Непосредственная кровля мощностью h_2 (рис. 4.1, *б*) при недостаточном сопротивлении крепи и отсутствии средств предотвращения от сдвига может сместиться в направлении падения пласта, если поверхность контакта ее с основной кровлей достаточно гладкая, а ниже поддерживаемой стойками полосы непосредственной кровли имеется полость — искусственная или образовавшаяся в результате вывалов породы. Нормальная составляющая сопротивления крепи P_R должна уравновешивать составляющую G_b веса непосредственной кровли, а усилие прижатия слоев непосредственной кровли к основной должно быть таким, чтобы сила трения R была больше усилия сдвига S, направленного в сторону падения пласта. В этом случае сползание кровли предотвращается за счет сопротивления крепи A. Если установить дополнительную распорную стойку (рис. 4.1, *в*), то сумма усилия ее сопротивления сдвигу A_S и силы трения R должна быть больше усилия сдвига S.

Для предупреждения сползания непосредственной кровли мощностью 1 м требуемое удельное сопротивление крепи не должно быть меньше приведенных в табл. 4.1 расчетных дан-

* Автор раздела Г. Ирресбергер.

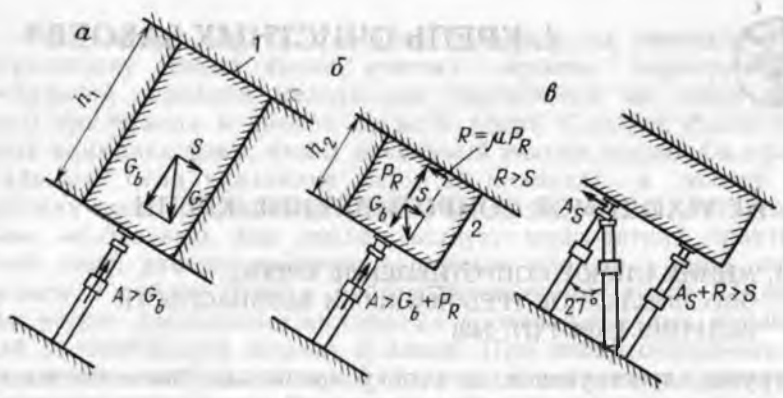


Рис. 4.1. Схемы к определению условий равновесия при оседании и сползании слоев непосредственной кровли:

а — предотвращение нормального к напластованию оседания; *б* и *в* — предотвращение сползания кровли соответственно без применения и с применением распорной стойки; *1* — плоскость скольжения; *2* — полость

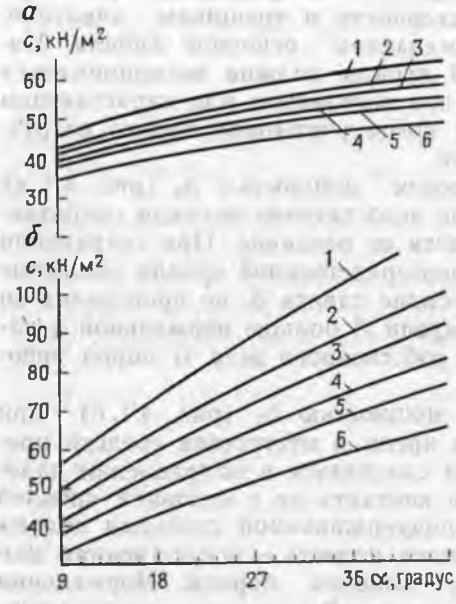


Рис. 4.2. Графики для определения удельного сопротивления крепи *c*, необходимого для предотвращения сползания кровли (при коэффициенте запаса $k = 1{,}5$), в зависимости от угла падения пласта:

а — для сухих шероховатых поверхностей плоскости ослабления при $\mu = 0{,}7$; *б* — для увлажненных гладких поверхностей при $\mu = 0{,}3$; *1* — без применения распорных стоек; *2—6* — с применением распорных стоек соответственно на каждой 10, 6, 4, 3 и 2-й раме; *n* — отношение общего числа стоек к числу распорных; *m* — отношение сопротивления распорных и основных стоек

ных (с учетом коэффициента трения, равного 0,7 для сухих и 0,3 для увлажненных поверхностей отдельности, коэффициента запаса 1,5).

Приведенные в табл. 4.1 величины, которые обозначим символом *c*, следует умножать на фактическую или предполагаемую мощность отслоившейся непосредственной кровли

$$A_e = ch_2.$$

В большинстве случаев завалов лав, вызванных сползанием кровли, мощность сползающих и сдвигающих крепь породных слоев не превышала мощности разрабатываемого пласта. Поэтому представляется правомерным при наличии в кровле не-

Таблица 4.1

Крепь	Необходимое удельное сопротивление крепи (кН/м²) при поверхности отдельности	
	сухой	увлажненной
Угол падения 0°		
Без распорных стоек	38	38
Угол падения 9°		
Без распорных стоек	45	57
С распорной стойкой на каждой 6-й раме	41	46
С распорной стойкой на каждой 3-й раме	38	38
Угол падения 18°		
Без распорных стоек	52	74
С распорной стойкой на каждой 6-й раме	48	60
С распорной стойкой на каждой 3-й раме	44	50
Угол падения 27°		
Без распорных стоек	58	90
С распорной стойкой на каждой 6-й раме	52	72
С распорной стойкой на каждой 3-й раме	48	60
Угол падения 36°		
Без распорных стоек	62	104
С распорной стойкой на каждой 6-й раме	59	83
С распорной стойкой на каждой 3-й раме	51	70

скольких плоскостей отдельности принимать, что мощность опасных в отношении сползания породных слоев кровли равна вынимаемой мощности пласта M.

Приведенные на графиках (рис. 4.2) кривые могут быть заменены прямыми линиями без большой погрешности.

Тогда для стоек, установленных нормально к напластованию и не усиленных дополнительными распорными стойками, необходимое удельное сопротивление крепи (кН/м²) при коэффициенте запаса k можно определить из выражения

$$A = (30 + \alpha/0{,}9)\,1{,}5h_2,$$

где α — угол падения пласта, градус; h_2 — мощность опасного по сползанию слоя непосредственной кровли (или в данном случае мощность пласта), м.

Его использование позволяет наиболее просто рассчитать необходимое сопротивление крепи. Так, например, при угле падения пласта 36° и его мощности 1 м, равной мощности опасного по сползанию слоя непосредственной кровли, $A = (30 + 36/0{,}9) \cdot 1{,}5 \cdot 1 = 105$ кН/м². Более точное значение сопротивле-

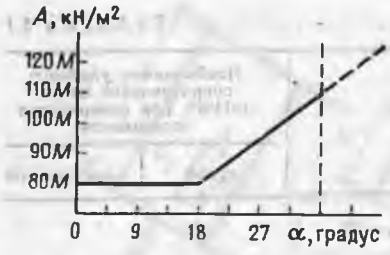


Рис. 4.3. График изменения необходимого сопротивления крепи A в зависимости от угла падения пласта α

ния, определенное по графикам (см. рис. 4.2), составляет 104 кН/м².

Требование органов горного надзора, согласно которому удельное сопротивление крепи (кН/м²) должно быть не меньше 80 M (M — вынимаемая мощность пласта, м), основано на том соображении, что крепь должна воспринимать нагрузку, соответствующую весу непосредственной кровли мощностью, равной двукратной вынимаемой мощности пласта при плотности пород 2,5 т/м³ и коэффициенте запаса 1,6.

При угле падения пласта свыше 18° для снижения опасности сползания кровли необходимо увеличивать силы сцепления между слоями за счет применения крепи с более высоким сопротивлением крепи (рис. 4.3). Еще большее сопротивление требуется при поперечном наклоне лавы. Можно принимать, что минимальное рабочее сопротивление крепи при индивидуальных гидростойках не должно быть ниже уменьшенного на 20% максимально достижимого усилия распора, при механизированных крепях — гарантированного в данных условиях минимального усилия начального распора.

4.1.2. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВЫВАЛОВ И СТУПЕНЧАТОГО ОСЕДАНИЯ КРОВЛИ

Успешная работа очистного забоя в значительной мере зависит от того, в какой степени удается предотвращать образование вывалов и ступенчатого оседания кровли. Проведенные исследования по разработке мероприятий, направленных на улучшение состояния кровли, позволили дать определенные рекомендации, которыми следует руководствоваться при выборе параметров механизированных крепей. Основными из этих параметров являются сопротивление крепи, расстояние между забоем и концами призабойных консолей перекрытий и продолжительность запаздывания крепления. При выборе крепи следует принимать во внимание, будет ли крепь в течение всего срока службы (который может составлять 8—10 лет) эксплуатироваться в уже известных горно-геологических условиях (к которым относятся строение кровли и ожидаемое горное давление) или же условия эксплуатации крепи в течение всего срока службы заранее нельзя достаточно точно предсказать.

В последнем случае необходимо исходить из наиболее неблагоприятных условий эксплуатации.

В приводимых ниже требованиях учитывалось то обстоятельство, что в действующих лавах проектные параметры крепи, как правило, не достигаются. Это относится как к сопротивлению крепи, так и к расстоянию между забоем и концами призабойных консолей перекрытий. Согласно результатам производственных наблюдений за состоянием кровли в лавах среднее рабочее сопротивление гидростоек механизированной крепи в течение рабочего цикла соответствует номинальному усилию начального распора. Среднее расстояние между забоем и призабойными консолями перекрытий крепи примерно вдвое больше номинального, т. е. при передвинутой к забою секции крепи и нормальном к напластованию положении плоскости забоя.

Требования к крепи для эксплуатации в неопределенных условиях. Они заключаются в следующем:

удельное сопротивление передвинутых к забою секций крепи при давлении в гидростойках, соответствующем усилию начального распора, — 400 кН/м²;

удельное рабочее сопротивление секций крепи, отстоящих от забоя на шаг передвижки, — 400 кН/м²;

расстояние между забоем и концами призабойных консолей перекрытий не должно быть больше безопасного зазора, требуемого для беспрепятственного прохода исполнительного органа выемочной машины. При выборе последней следует обращать внимание на ширину исполнительного органа, с тем чтобы безопасный зазор был как можно меньшим. Рекомендуемая ширина безопасного зазора — не более 30 см;

должна быть предусмотрена возможность встраивания в перекрытия дополнительных консольных элементов, уменьшающих ширину незакрепленной призабойной полосы кровли (откидных или выдвижных консолей);

запаздывание крепления должно быть как можно меньшим;

для комбайновых лав рекомендуются крепи, работающие с «резервированным» шагом передвижки.

Требования к крепи для эксплуатации при устойчивой непосредственной кровле (песчаники, песчанистые сланцы). При горном давлении менее 40 МПа* в кровле часто образуются заколы с образованием выступов, но почти не наблюдаются вывалы пород. Требования к крепи, работающей в таких условиях:

удельное сопротивление передвинутых к забою секций крепи при давлении в гидростойках, соответствующем усилию начального распора, — 400 кН/м²;

---

* Здесь и далее приводятся ориентировочные величины давления, которые в дальнейшем должны быть уточнены.

удельное рабочее сопротивление секций крепи, отстоящих от забоя на шаг передвижки, — 400 кН/м²;

расстояние между забоем и концами призабойных консолей перекрытий — не больше безопасного зазора, требуемого для беспрепятственного прохода исполнительного органа выемочной машины. В связи с ожидаемой малой склонностью кровли к вывалам ширина безопасного зазора может быть больше, чем в предыдущем случае, но не должна превышать 50 см;

ограничения к запаздыванию крепления не столь высоки, как в предыдущем случае, поэтому для комбайновых лав могут быть рекомендованы крепи, работающие без «резервирования» шага передвижки.

При горном давлении более 40 МПа и малой склонности кровли к вывалам требования к крепи следующие:

удельное сопротивление передвинутых к забою секций крепи при давлении в гидростойках, соответствующем усилию начального распора, — 300 кН/м²;

удельное рабочее сопротивление секций крепи, отстоящих от забоя на шаг передвижки, — 300 кН/м²;

расстояние между забоем и концами призабойных консолей перекрытий — не больше безопасного зазора, требуемого для беспрепятственного прохода исполнительного органа выемочной машины. В связи с малой склонностью кровли к вывалам этот зазор может быть достаточно большим;

ограничения к запаздыванию крепления не столь высоки, как при неустойчивой кровле, поэтому для комбайновых лав могут быть рекомендованы крепи, работающие без «резервирования» шага передвижки.

Требования к крепи для эксплуатации ее при неустойчивой кровле (глинистые сланцы) и горном давлении более 60 МПа. Когда над слабой непосредственной кровлей залегают более прочные породные слои, следует ожидать повышенной склонности кровли к вывалам, возрастающей с увеличением давления. Требования к крепи следующие:

удельное сопротивление передвинутых к забою секций крепи при давлении в гидростойках, соответствующем усилию начального распора, — 300 кН/м²;

удельное рабочее сопротивление секций крепи, отстоящих от забоя на шаг передвижки, — 300 кН/м²;

расстояние между забоем и призабойными консолями перекрытий — не больше безопасного зазора, требуемого для беспрепятственного прохода исполнительного органа выемочной машины. Ширина этого зазора должна приниматься возможно меньшей и не превышать 30 см. При высоком горном давлении для поддержания незакрепленной полосы призабойной кровли следует использовать выдвижные или откидные призабойные консоли;

запаздывание крепления должно быть минимальным; в комбайновых лавах рекомендуется применять крепи, работающие с «резервированием» шага передвижки.

4.1.3. РЕКОМЕНДАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ АВТОРОВ [55, 135]

На основе результатов проведенных исследований найдена гиперболическая зависимость между относительной конвергенцией и сопротивлением крепи (рис. 4.4). При удельном сопротивлении крепи в пределах 30—100 кН/м² кривая падает круто, а при больших значениях сопротивления она выполаживается. При удельном сопротивлении крепи свыше 100 кН/м² и конвергенции меньше 38 мм/м надежной зависимости не установлено. Зависимость между сопротивлением крепи и конвергенцией по Р. Шеперду характеризуется следующими данными:

Удельное сопротивление крепи, кН/м²	<50	100	>100
Относительная конвергенция, мм/м	80	≈40	Очень малая

Этому обстоятельству можно дать следующее объяснение. Если непосредственная кровля прижата к основной (в данном случае за счет удельного сопротивления крепи, превышающего 100 кН/м²), то происходит их совместное оседание, чему сопротивление крепи вряд ли может воспрепятствовать.

Гиперболическая зависимость конвергенции кровли и почвы в призабойном пространстве лавы от сопротивления крепи обнаружена также и при наблюдениях в шахтах Донецкого

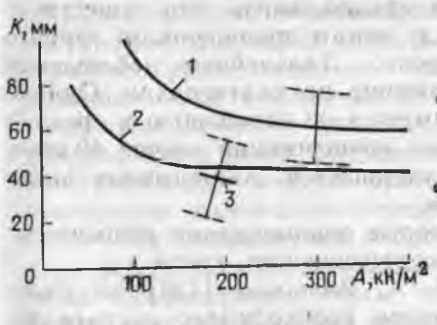


Рис. 4.4. График зависимости относительной конвергенции K от сопротивления крепи A:

1 — в Донецком бассейне, согласно Е. Д. Дубову; *2* — на шахтах Великобритании, согласно Р. Шеперду; *3* — в Рурском бассейне, согласно И. Леонхардту

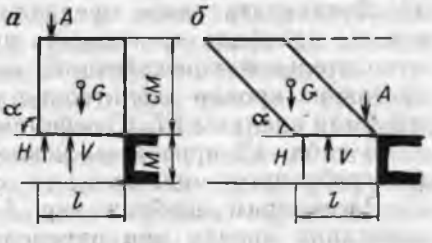


Рис. 4.5. Схемы к определению нагрузок на стойки переднего и заднего рядов крепи:

H и V — нагрузки соответственно на стойку заднего и переднего рядов; α — угол откоса плоскости обреза непосредственной кровли; G — вес породного блока непосредственной кровли; M — мощность пласта; cM — высота отделившегося от массива блока непосредственной кровли; A — пригрузка от основной кровли; l — ширина призабойного пространства

Таблица 4.2

Автор	Рекомендация
Р. Шеперд	Номинальное удельное сопротивление крепи должно быть не меньше 150 кН/м²
Ш. Шамбон, Ж. Ф. Раффу и Ж. Питсилис	При индивидуальной крепи сопротивление стоек не должно быть менее 300—400 кН, для механизированных крепей — несколько больше (с учетом свойств боковых пород). В одной из лав благодаря повышению сопротивления крепи до 290 кН/м удалось предотвратить образование трещин R4
Главное управление горного надзора земли Северный Рейн-Вестфалия	Удельное сопротивление крепи (кН/м²), соответствующее начальному распору, должно быть не меньше $80M$, на наклонных пластах — не меньше $(50+1{,}5\alpha/0{,}9)M$, (α — угол падения пласта, градус)
Лаборатория рудничной крепи и механики горных пород	См. раздел 4.1.2

бассейна Е. Д. Дубовым. Переход от крутой ветви кривой к пологой происходит в этом случае при удельном сопротивлении крепи около 200 кН/м², т. е. вдвое большем, чем на шахтах Великобритании (см. рис. 4.4). Конвергенция также вдвое выше, чем в шахтах Великобритании или ФРГ. По-видимому, указанное обстоятельство вызвано различием в горно-геологических условиях месторождений.

При попытке классифицировать поведение кровли по образованию трещин, появлению заколов и вывалов наблюдения Г. Янса от 1961 г. дали повод предположить, что существует определенная зависимость между этими проявлениями горного давления и сопротивлением крепи. Дальнейшие наблюдения И. Леонхардта такое предположение не подтвердили. Однако все же подобная зависимость имеется по отношению к средней относительной конвергенции: при конвергенции свыше 40 мм/м состояние кровли значительно ухудшается. Аналогичные выводы были сделаны Ш. Шамбоном.

В табл. 4.2 приведены некоторые рекомендации относительно требуемого минимального сопротивления крепи.

Рассмотрим соображения А. Х. Вильсона [155] по учету зависания кровли при определении необходимого сопротивления крепи. При большой ширине полосы вынимаемого угля (и соответственно большом шаге передвижки крепи) на наклонных пластах повышенной мощности, особенно при крутом расположении плоскости обреза кровли и значительном разрушении составляющих ее пород, силы трения между контактирующими поверхностями блоков расчлененной кровли становятся настолько малы, что это приводит к перегрузке переднего ряда стоек рамной крепи (рис. 4.5, *а*). При нависающей

Таблица 4.3

Мощность пласта M, м	Угол откоса плоскости обреза кровли, градус	Минимальное сопротивление стоек (кН/м) при ширине призабойного пространства*, м			Среднее удельное сопротивление крепи (кН/м²) при ширине призабойного пространства, м		
		3	3,6	4,2	3	3,6	4,2
1	90	140/10	210/0	310/0	50	60	70
	75	100/50	170/10	250/0	50	50	60
	60	60/90	120/60	190/20	50	50	50
	45	0/150	50/130	110/100	50	50	50
	30	0/210	0/210	0/220	70	60	50
2	90	270/30	430/0	610/0	100	120	140
	75	130/170	250/110	410/10	100	100	100
	60	0/320	5/310	170/250	110	100	100
	45	0/450	0/460	0/470	150	130	110
	30	0/670	0/660	0/660	220	180	160
3	90	410/40	640/0	920/0	150	180	220
	75	80/370	240/300	460/170	150	150	150
	60	0/610	0/630	0/660	200	170	160
	45	0/900	0/890	0/900	300	250	220
	30	0/1390	0/1350	0/1340	460	380	320

* В числителе показано сопротивление стоек переднего ряда, в знаменателе — заднего.

плоскости обреза мощной толщи непосредственной кровли основная часть нагрузки приходится на задний ряд стоек (рис. 4.5, *б*). Напрашивается вывод о необходимости принятия сопротивления переднего и заднего рядов стоек различным.

При мощности отслоившейся толщи непосредственной кровли, равной удвоенной мощности пласта M, и расположении переднего ряда стоек от забоя на расстоянии (l—1,6) м, а заднего — на расстоянии (l—0,5) м минимальное требуемое сопротивление стоек указанных рядов в забоях на пологих пластах будет равно приведенным в табл. 4.3 значениям.

Наибольшая ширина призабойного пространства 4,2 м соответствует положению перед передвижкой крепи, наименьшая — при придвинутых к забою секциях. Принятые значения угла откоса плоскости обреза кровли 90; 75; 60; 45 и 30° отвечают соответственно очень слабым, слабым, средней прочности, прочным и весьма прочным породам.

Как видно из данных табл. 4.3, в неблагоприятных случаях передний или задний ряд стоек должен воспринимать значительно более высокие нагрузки, чем требовалось бы для получения среднего сопротивления крепи. В лавах шахт Рурского бассейна плоскость обреза непосредственной кровли обычно расположена под углом 55—68° к напластованию. При таком ее расположении сопротивления рамных секций механизированных крепей обычных типов бывает вполне достаточно.

Но стойки заднего ряда могут все же подвергаться большему нагружению, чем переднего, особенно при отходе лав от разрезных печей. Более часто стойки заднего ряда испытывают меньшую нагрузку, чем переднего, из-за перемещения кромки обрушения в зону над перекрытиями крепи. Именно эта причина обусловливает перегрузку стоек переднего ряда, а не опрокидывание породного блока непосредственной кровли на забой.

Зависание кровли, как правило, разгружает стойки крепи, поскольку оно связано со сводообразным распором обрушающихся пород.

4.1.4. ПОВЕДЕНИЕ СЛАБОЙ КРОВЛИ ПО О. НАТАУ [131]

При малой прочности пород основной кровли крепь должна не только воспринимать нагрузку от веса породного слоя непосредственной кровли толщиной, равной двукратной мощности пласта, но и препятствовать косому срезу непосредственной кровли под воздействием оседающей основной кровли (рис. 4.6 и 4.7).

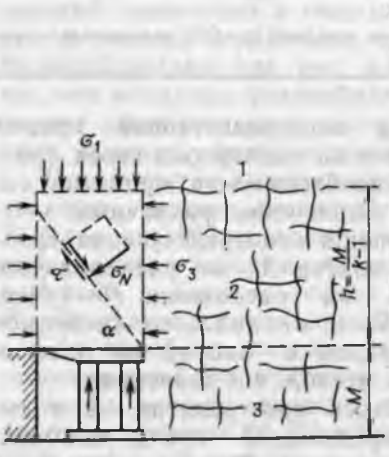


Рис. 4.6. Расчетная схема к определению нагрузки на крепь лавы при слабых породах непосредственной кровли:

1, 2 — соответственно основная и непосредственная кровля; *3* — пласт

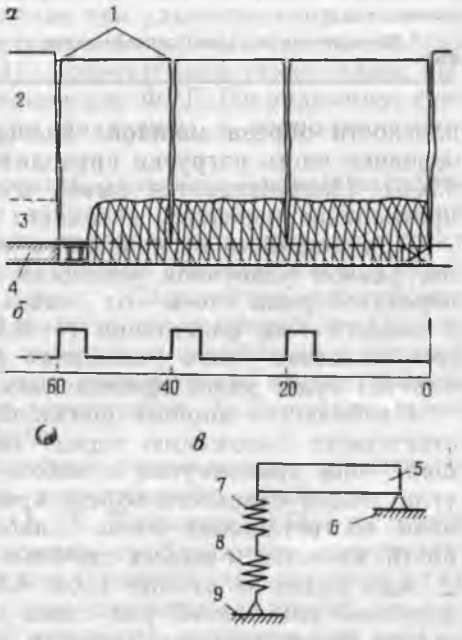


Рис. 4.7. Расчетная схема к определению нагрузки на крепь лавы при слабых породах непосредственной кровли:

а — схема периодических осадок основной кровли; *б* — график периодического нарастания нагрузки на крепь; *в* — кинематическая схема работы основной кровли; *1* — периодический обрез кровли; *2, 3* — соответственно основная и непосредственная кровля; *4* — пласт; *5* — балка основной кровли; *6* — опора в виде обрушенных пород; *7* — слои непосредственной кровли; *8* — крепь лавы; *9* — почва пласта

Из схемы (рис. 4.6) можно вывести следующее уравнение для определения требуемого удельного сопротивления крепи F (кН/м²):

$$F = 10\left[\frac{2c\cos\rho}{(1-\varkappa)-(1+\varkappa)\sin\rho}+\frac{\gamma M}{k-1}\right]n,$$

где c — удельное сцепление между слоями непосредственной кровли, кПа; ρ — угол внутреннего трения пород, градус; $\varkappa$ — коэффициент бокового давления обрушенных пород, $\varkappa=\sigma_3/\sigma_1$; γ — плотность пород, т/м³; k — коэффициент разрыхления обрушенных пород; n — коэффициент запаса.

Второй член этого уравнения (обозначим его через F_2) соответствует требованию о минимальном удельном сопротивлении крепи $80M$ (кН/м²), содержащемуся в инструкции горного надзора. При $\gamma=2{,}5$ т/м³; $M=1{,}8$ м; $k=1{,}5$ и $n=1{,}6$ $F_2=144$ кН/м².

Первый член расчетного уравнения (обозначим его через F_1) выражает собой ту часть сопротивления крепи, которая необходима для предупреждения косого среза непосредственной кровли. Он в значительной степени зависит от характеристики пород, что видно из сравнения следующих двух вариантов:

Вариант	1	2
c, кПа	10	100
ρ, градус	30	30
$\varkappa=\sigma_3/\sigma_1$	0	0,1
F_1, кН/м²	55	790

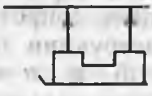
Требуемое общее удельное сопротивление крепи $F=F_1+F_2$ в первом варианте равно $55+144=199$ кН/м², а во втором — $790+144=934$ кН/м². Из этого видно, что даже в тех случаях, когда сцепление между слоями весьма невелико ($c=10$ кПа) и боковое давление обрушенных пород отсутствует ($\varkappa=0$), при малопрочных породах основной кровли требуется значительно большее сопротивление крепи, чем при прочных.

4.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КРЕПЯМ

4.2.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Основные конструктивные схемы механизированных крепей различных типов характеризуются данными, приведенными в табл. 4.4 (агрегатированные крепи) и 4.5 (комплектные крепи), формы звеньевых механизмов, передающих усилия от основания секции щитовой крепи к перекрытию, — в табл. 4.6, виды

Таблица 4.4

Схема крепи	Основные рабочие узлы	Способ передвижки
Рамная 	Две (или более) гидростойки, расположенные в ряд по направлению передвижения, с общим перекрытием, основанием и домкратом передвижки	Путем подтягивания секций крепи к конвейеру
Костровая 	Три (или более) гидростойки, расположенные продольно и поперечно по отношению к направлению передвижения, с общими перекрытием, основанием и домкратом передвижки	То же
Двухстоечная щитовая 	Две гидростойки, расположенные поперек направления передвижения, с общими перекрытием, ограждением, основанием и домкратом передвижки	»
Четырехстоечная щитовая 	Четыре гидростойки, расположенные вдоль и поперек направления передвижения с общими перекрытием, ограждением, основанием и домкратом передвижки	»

Примечание. Домкрат передвижки может быть соединен с конвейером или его базовой балкой непосредственно или через штангу-толкатель. Возможно объединение двух секций в самостоятельно передвигающийся комплект.

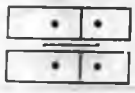
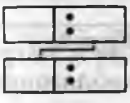
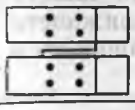
верхних перекрытий секций щитовых крепей — в табл. 4.7, виды перекрытий секций рамной и костровой крепи — в табл. 4.8, типы гидростоек — в табл. 4.9, конструкции оснований секций — в табл. 4.10.

4.2.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОСТРОВЫМ И РАМНЫМ КРЕПЯМ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО ТИПА

Перекрытия (верхняки)

1. Ширина перекрытий должна обеспечивать достаточно удовлетворительную затяжку поддерживаемой кровли, свободные зазоры между элементами перекрытия не больше 10—20 см. Желательно применение защитных щитков, перекрывающих зазоры.

Таблица 4.5

Схема комплектной крепи	Основные узлы	Способ передвижки
Рамная 	Две (или более) рамные секции с общими домкратами передвижки	Попеременным толканием или подтягиванием разгруженной секции общим домкратом передвижки
Костровая 	Две (или более) костровые секции с общими домкратами передвижки	То же
Двухстоечная щитовая 	Две (или более) щитовые секции с общими домкратами передвижки	»
Четырехстоечная щитовая 	Две (или более) щитовые секции с общими домкратами передвижки	»

2. Передняя консоль перекрытия должна быть приспособлена для укладки на перекрытие металлической сетки и иметь округлую форму для облегчения преодоления неровностей в кровле при передвижке крепи с небольшим подпором.

3. Передний конец консоли должен быть подрессорен, с тем чтобы при номинальной нагрузке он выпрямился, или же оснащен активным подвижным козырьком.

4. Сферические верхние опоры стоек должны обеспечивать возможность поворота перекрытия на 23° в продольном и 18° в поперечном направлении.

5. Длина передней консоли перекрытия 1,8 м или 1,5 м, если проход для людей предусматривается перед передними стойками или соответственно за ними. При небольшой мощности пласта допускается меньшая длина передней консоли. Между длиной отдельных элементов одношарнирного перекрытия (передняя консоль до первой стойки, от первой стойки до шарнира, от шарнира до второй стойки, от второй стойки до конца перекрытия) должно выдерживаться соотношение (2—2,5) : 1 : 0,8 : 1. Длина задней консоли перекрытия 0,7—0,9 м.

Таблица 4.6

Траектория перемещения перекрытия	Кинематическая схема
Дуга окружности (одношарнирное соединение основания с ограждением)	
Лемниската (двухрычажная связь с ограждением)	
Эллипс (гидростойка заменена горизонтальным домкратом)	

6. Должна сохраняться прочность на изгиб при нагрузке в 1,1 раза больше номинальной, при наиболее неблагоприятном ее распределении.

Стойки

1. Диапазон гидравлической раздвижности на пласте мощностью 1 м при применении стоек двойной раздвижности двухстороннего действия 0,75—1,45 м, на пластах мощностью 1,2 и

Таблица 4.7

Перекрытие	Схема	Перекрытие	Схема
Поддерживающий козырек с незащищенной завальной консолью		С передачей усилия от основания к перекрытию: угловым гидродомкратом	
Поддерживающий козырек с секторной защитой завальной консоли		гидростойкой	
Перекрытие, шарнирно соединенное с ограждением		гидростойкой и угловым гидродомкратом	
		С выдвижной призабойной консолью	
		С откидной призабойной консолью	

Таблица 4.8

Конструктивная форма перекрытия	Конструктивное исполнение перекрытия	Расположение шарнира
Жесткое	Сплошное	—
Одношарнирное	Передняя и задняя части	Между стойками
	Поджимная призабойная консоль и базовая часть	Перед передней стойкой
Двухшарнирное	Передняя и задняя части	Продольно подвижное
	Передняя, промежуточная и задняя части	Между стойками (два шарнира)

Таблица 4.9

Конструктивная форма раздвижности	Гидравлическое удлинение	Механическое удлинение	Перепад распорного усилия
Одинарная телескопическая	Возможно	Возможно	Нет
Двойная телескопическая	Не применяется	Не применяется	Есть
двойного действия	Не применяется	Не применяется	Практически отсутствует
Тройная телескопическая	Не применяется	Не применяется	Есть

Таблица 4.10

Вид крепи	Конструктивная форма основания	Основной признак
Рамная и костровая	Жесткая лыжа рамной секции	Прочная на изгиб опорная плита для нескольких стоек
	Рессорное основание рамной секции	Рессорная связь опорных башмаков нескольких стоек
	Опорная плита	Шарнирно закрепленная на нижнем конце стойки плита, увеличивающая опорную поверхность
	Основание костровой секции	Прочное на изгиб коробчатое основание, общее для стоек костра
Щитовая	Основание секции	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек секции, в сплошном или сборном исполнении
	Основание секции	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек, в функционально разделенном исполнении

3 м при применении стоек одинарной раздвижности — соответственно 0,8—1,25; 1,6—2,6 и 1,8—3,3 м.

2. Стопорное кольцо должно выдерживать 1,5-кратную номинальную нагрузку. Гидравлические подсоединения должны быть легкодоступными. Обязательно принудительное опускание.

3. Стойки должны быть устойчивы к боковому прогибу при осевой нагрузке, превышающей номинальную в 1,5 раза, а также при внецентренной нагрузке (при эксцентриситете, равном 2 см), составляющей $^2/_3$ номинальной.

4. Уплотнения должны быть рассчитаны на применение водомасляных эмульсий и сохранять герметичность при давлении в 1,5 раза больше номинального. Срок службы уплотнений при эксплуатации в подземных условиях — не менее двух лет.

5. Стойки должны иметь противокоррозионную защиту штоков и цилиндров и быть защищены от механических повреждений кусками породы, в том числе при взрывных работах.

6. Сферические верхние и нижние опорные пяты стоек должны обладать подвижностью $\pm 23°$ вверху и $\pm 9°$ внизу как в продольном, так и в поперечном направлении. Соединения стоек с верхняками и основаниями должны выдерживать ударные и тяговые нагрузки.

Основания секций

1. Рессорные основания не должны подвергаться остаточному деформированию при неровностях в почве высотой до 30 см.

2. Жесткие основания должны быть устойчивыми к изгибу при нагрузке, превышающей в 1,1 раза номинальную, при наиболее неблагоприятном ее распределении.

3. Должна обеспечиваться параллельность передвижки оснований с левой и правой сторон комплекта крепи.

Гидродомкраты передвижки

Нижний домкрат должен развивать усилие не менее 70 кН. При неблагоприятных условиях следует предусматривать более мощные домкраты. Усилие верхнего домкрата должно быть равным 50% усилия нижнего домкрата, но не более 80 кН.

Защита призабойного пространства от обрушенных пород

1. Должна быть предусмотрена защита, предупреждающая выпадение кусков породы с размером грани больше 10 см между рамными секциями и комплектами крепи; зазор между задними консолями и завальными ограждениями должен быть перекрыт, например, цепной завесой.

2. Завальное ограждение должно обеспечивать возможность пропуска через него в выработанное пространство кусков породы диаметром до 30 см.

3. Длину опущенных вниз задних консолей перекрытия, защищающих призабойное пространство от обрушенных пород, следует определять исходя из угла их откоса, равного 63°, и высоты лавы.

Корректировка положения крепи

1. Направленность передвижки:

для крепей, соединенных с конвейером, — самостоятельное выравнивание при уходе конвейера в сторону на ±7,5 см на шаг передвижки (за счет применения направляющих штанг, канатных направляющих, выравнивающих рычагов);

для крепей, не соединенных с конвейером, — возможность выравнивания поперечными домкратами или за счет передвижки несколькими домкратами.

2. Установка стоек в нормальное к плоскости кровли положение:

механическая — на пластах с углом падения менее 9° при мощности ниже 1,4 м; допустимый угол отклонения от нормали ±5°.

гидравлическая — верхним домкратом с ходом поршня в 1,1 раза больше шага передвижки. Для пластов с углом падения свыше 9° при мощности 1,4—2 м должен иметься дополнительный корректировочный домкрат в продольном направлении, а при мощности пласта более 2 м — также и в поперечном.

Проход для людей

Проход для людей должен устраиваться преимущественно перед передними стойками.

4.2.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЩИТОВОЙ КРЕПИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КРОВЛЕЙ ПОЛНЫМ ОБРУШЕНИЕМ [22, 49, 53]

Перекрытия

1. Соотношение длин элементов перекрытия по отношению к точке приложения результирующей нагрузки 2 : 1, длина консольной части не более 1,8 м.

2. Передняя консоль должна быть приспособлена для укладки на перекрытие металлической сетки или же иметь закругленный (без острых кромок) край. Зазор между задней консолью козырька перекрытия и завальным ограждением должен быть защищен от проникновения обрушенных пород при любом положении козырька. Необходимо механическое стопорное устройство для предупреждения опускания призабойной консоли более чем на 13°.

3. Прижимные призабойные консоли должны обладать способностью подниматься вверх на 20 см (считая по концу консоли) и опускаться не более чем на 5 см. Прижимное усилие на конце консоли 100 кН. Полное восприятие нагрузки при отжатой вниз консоли.

4. Перекрытие должно быть приспособлено для монтажа системы орошения.

5. Следует предусматривать устройство чалочных приспособлений для закрепления крюков грузоподъемностью 80 кН.

6. На перекрытиях должны иметься щитки активного действия для перекрытия межсекционных зазоров.

Завальные ограждения и выдвижные борты перекрытий

1. Завальное ограждение должно воспринимать нагрузки на скручивание, возникающие при наличии в кровле продольных выступов.

2. Соединения завального ограждения со стойками должны выдерживать растягивающие нагрузки, соответствующие усилиям принудительного опускания стоек, и быть удобными для демонтажа.

3. Должна быть предусмотрена возможность установки и замены устройств пылеподавления.

4. Секции с обеих сторон должны быть оснащены взаимозаменяемыми выдвижными бортами для перекрытия межсекционных зазоров.

5. Верхние кромки выдвижных бортов должны быть подвижными.

6. Выдвижные борта должны управляться домкратами двустороннего действия.

7. Ширина выдвижных бортов должна превышать шаг передвижки на 10 см.

8. Кромки выдвижных бортов должны быть неизогнутыми и остроугольными.

Стойки

1. Гидравлическая раздвижность во всем диапазоне мощности; применение по возможности стойки одинарной раздвижности.

2. Стойки двустороннего действия.

3. Остальные требования те же, что и в разд. 4.2.2.

Основания секций и домкраты передвижки

1. Давление на почву у носков основания не более 0,4 МПа.

2. Отсутствие вдавливания основания в почву при передвижке секций.

3. Возможность преодоления порогов в почве высотой до 20 см.

4. Наличие отверстий (размером не менее 30×30 см) между секциями для пропуска по почве штыба в выработанное пространство.

5. Удобная для передвижения людей и нескользкая верхняя поверхность, небольшая высота и отсутствие острых граней.

6. Соединения основания со стойками должны выдерживать растягивающие усилия, соответствующие усилию принудительного опускания стоек, и должны быть защищены от заштыбовки.

7. Чалочные устройства для закрепления крюков грузоподъемностью 80 кН.

8. Возможность перестановки домкратов передвижки по высоте: на 25 см вверх и на 15 см вниз.

9. Самоочистка штоков домкратов.

10. Усилие подтягивания 200—300 кН.

11. Отсутствие поперечных нагрузок на домкраты.

12. Возможность отклонения домкратов в горизонтальной плоскости (от нормали к конвейеру) на ±13°.

13. Возможность отхода конвейера от забоя на 5 см.

14. Максимальный шаг передвижки крепи 80 см.

Общие требования

1. Возможность встраивания в секцию устройств для мокрого пылеподавления.

2. Возможность встраивания в секцию аппаратуры громкоговорящей связи и осветительной арматуры.

3. Защита от опрокидывания секций.

4. Пригодность для работы как с «резервированием», так и без «резервирования» шага передвижки (по «заряженной» и «незаряженной» схемам).

5. Эффективная защита всех узлов гидравлической системы от коррозии.

6. Пригодность для работы на наклонных пластах при использовании дополнительных элементов.

Следствием обобщения производственного опыта являются характерные для современных конструктивных форм щитовых крепей шарнирные сопряжения завальных ограждений с верхними перекрытиями и двухрычажная связь основания с ограждением (рис. 4.8). Сопротивление крепи создается двумя или четырьмя гидростойками, передающими усилия ограждению или верхнему перекрытию. Щитовые секции связаны с забойным конвейером домкратами передвижки и могут работать как по «заряженной», так и «незаряженной» схеме.

Приведенные на рис. 4.8 основные формы щитовых крепей различаются как по длине перекрытий, так и по конструктивному оформлению в целом. При этом предусматривается, что соотношение длин элементов перекрытия (относительно точки приложения результирующей нагрузки) у всех конструктивных форм щитовых крепей одинаково. Это соотношение не должно

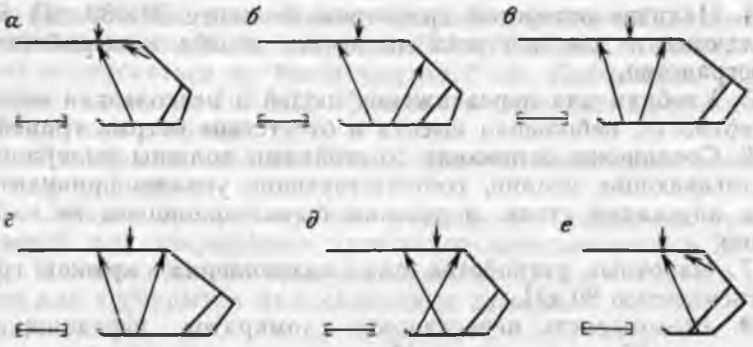


Рис. 4.8. Конструктивные формы секции щитовой крепи с шарнирным сопряжением перекрытия с ограждением и двухрычажной связью основания с ограждением

по возможности превышать 2 : 1, поскольку в противном случае перекрытие не будет контактировать с кровлей по всей длине.

При таких условиях двухстоечная секция щитовой крепи с угловым домкратом между перекрытием и ограждением (рис. 4.8, *а*) отличается от других щитовых крепей особо коротким перекрытием. Каждый участок кровли при передвижке секции с потерей контакта подвергается чередующимся разгрузкам и нагрузкам всего лишь 4—5 раз. Угловой домкрат предназначен для фиксирования угла между перекрытием и ограждением во время передвижки секции.

В четырехстоечной секции щитовой крепи (рис. 4.8, *б*) эту задачу выполняют задние стойки, поддерживающие ограждение. Результирующая нагрузка приложена к перекрытию на большем расстоянии от забоя, чем при двухстоечной щитовой крепи. Перекрытие имеет соответственно бо́льшую длину, кровля при передвижке секции подвергается более частому чередованию разгрузок и нагрузок, чем при двухстоечной крепи. К достоинствам такой крепи следует отнести то обстоятельство, что точка приложения результирующей нагрузки удалена от завальной кромки перекрытия на большее расстояние, чем у двухстоечной крепи. Линия обреза кровли может переместиться на большее расстояние, пока стойки не будут разгружены.

Наибольшую конструктивную длину имеют четырехстоечные секции щитовой крепи с V-образным расположением стоек с упором в перекрытие (рис. 4.8, *в*). Такое расположение стоек позволяет расширить диапазон раздвижности крепи.

Конструктивная схема секции с подобным же расположением гидростоек, но с меньшей длиной перекрытия показана на рис. 4.8, *г*. Консольная часть перекрытия разделена шарниром, что позволяет иметь активные поджимные призабойные консоли. Прижимное усилие на конце консоли составляет 100 кН. Его вполне достаточно для предупреждения расслоения кровли и забоя.

На пластах небольшой мощности из-за затруднений с монтажо́м и демонта́жем щитовой крепи желательно применять секции уменьшенной длины и к тому же с увеличенным диапазоном раздвижности для приспособления к частым изменениям мощности пласта. Указанные требования реализуемы при Х-образном расположении стоек с их упором в перекрытие (рис. 4.8, *д*). Однако при таком расположении стоек приходится мириться с неблагоприятным соотношением длины элементов перекрытия относительно точки приложения результирующего распорного усилия, приемлемым лишь на пластах малой мощности.

Еще меньшую длину секции щитовой крепи можно получить, если передние рычаги звеньевого механизма закрепить недалеко от носков основания (рис. 4.8, *е*). При этом можно даже сохранить благоприятное соотношение длины элементов перекрытия 2 : 1.

Для управления кровлей в лаве особо большое значение имеют сокращение расстояния между забоем и концами консолей перекрытия, а также уменьшение отставания крепления от выемки угля. Поэтому щитовую крепь в комбайновых лавах часто передвигают сразу же после обнажения призабойной кровли, еще до передвижки конвейера, т. е. по «заряженной» схеме. При такой схеме работы крепи требуется на 1 м большая длина консольной части перекрытия, чем при работе по «незаряженной» схеме. Напрашивается мысль обеспечить сокращение расстояния между забоем и концами перекрытий и равным образом уменьшить отставание крепления от выемки угля также и при нормальной конструктивной схеме секций крепи, т. е. без «резервирования» шага передвижки. Это возможно в том случае, если на концах перекрытий будут устроены выдвижные или откидные призабойные консоли. При втянутых в базовую часть перекрытия подобных консолях соотношение длины элементов перекрытия относительно точки приложения результирующего распорного усилия равно 2 : 1, при выдвинутых оно увеличивается до 2,7 : 1. Для относительно короткого промежутка времени между выемкой полосы угля и подтягиванием секций крепи вслед за передвижкой конвейера такое соотношение вполне допустимо. При прижатой к кровле откидной консоли на базовую часть перекрытия через шарнир передается относительно небольшой момент сил, так что условия нагрузки на крепь ухудшаются незначительно.

4.2.4. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ КРЕПИ ДЛЯ ЛАВ С УПРАВЛЕНИЕМ КРОВЛЕЙ ПНЕВМОЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА [39, 42, 48]

В настоящее время способ управления кровлей пневмозакладкой выработанного пространства можно применять в лавах, оборудованных как костровыми, так и щитовыми механизиро-

ванными крепями. Однако работы по созданию подобных крепей еще полностью не завершены. В частности, продолжаются работы по созданию механизированных крепей, пригодных для применения на пластах малой мощности.

Рамные механизированные крепи. Лавы с полной закладкой выработанного пространства могут быть оснащены механизированными крепями в том случае, если традиционная технология пневматической закладки, при которой лавный пневмозакладочный трубопровод рассоединяется по мере надобности и переносится отдельными участками, будет приспособлена к работе механизированной крепи. Был разработан пневмозакладочный трубопровод, передвигаемый без разборки вместе с механизированной крепью, закладочный материал из которого подается в выработанное пространство через гидравлически управляемые устройства для бокового выпуска.

В лавах с пневмозакладкой механизированная крепь, кроме обычных для нее функций, должна также:

поддерживать кровлю в закладываемой полосе выработанного пространства вплоть до откоса закладочного массива, образованного при предыдущем цикле закладки;

перемещать закладочный трубопровод при передвижке крепи;

ограждать призабойное пространство от закладываемой полосы выработанного пространства.

При разработке механизированной крепи, соответствующей этим требованиям, исходили из обычных конструктивных схем секций рамной крепи, предназначенных для лав с обрушением кровли. Длина завальной консоли перекрытия была увеличена более чем до 2 м, а вся остальная часть перекрытия, включая его средний шарнир, оставлена без изменений. Применение таких секций дает при наличии дополнительного верхнего домкрата передвижки удовлетворительные результаты на пластах мощностью свыше 2,5 м.

Для улучшения условий поддержания кровли над закладываемой полосой выработанного пространства вначале решили ограничить подвижность среднего шарнира перекрытия за счет использования накладок из листовой стали. Однако в связи с неудовлетворительными результатами испытаний пришлось перейти на усиленные перекрытия с шарнирами, имеющими одностороннее ограничение подвижности. Такая весьма прочная на изгиб конструкция позволила подвесить к задним консолям перекрытия пневмозакладочный трубопровод, размещавшийся ранее на установленных на почве гидравлических опорах (рис. 4.9).

Существенным фактором для эффективности ведения работ с пневматической закладкой выработанного пространства при применении такой крепи является довольно высокое сопротивление на концах консолей, противодействующее смещению кровли над весьма широким поддерживаемым рабочим про-

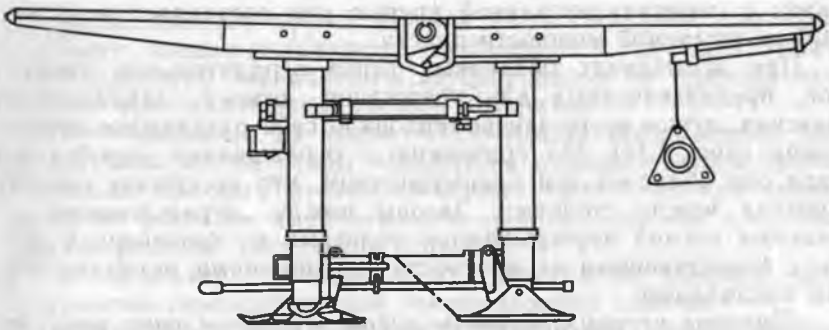


Рис. 4.9. Схема секции механизированной крепи с подвеской пневмозакладочного трубопровода на завальной консоли перекрытия

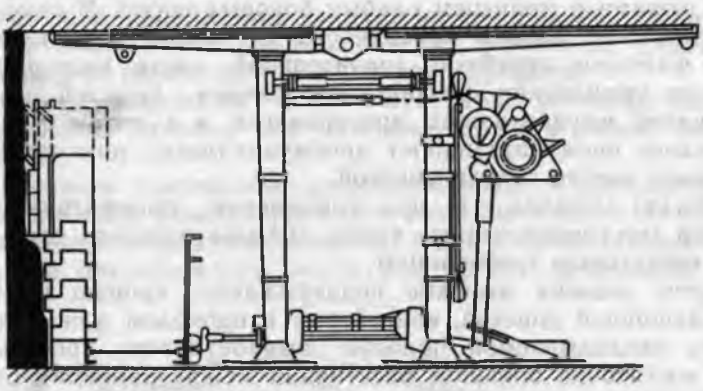


Рис. 4.10. Схема секции механизированной крепи с раздвижным ограждением (системы шахты «Нордштерн»)

странством лавы и создающее условия для укладки максимального объема закладочного материала за цикл. Однако важно и то, что задние консоли перекрытий не приходится вытягивать из закладочного массива, так что в кровле закладываемой полосы не образуются вывалы.

По сравнению с обычной технологией пневматической закладки в лавах с индивидуальной крепью при механизированных крепях в закладочном массиве не образуются «мертвые» зоны (благодаря отсутствию стоек и отшивки), расход закладочного материала на единицу объема выработанного пространства увеличивается на 10—15% при соответствующем уменьшении опускания кровли. Наблюдениями при проведении выработки по закладочному массиву установлено, что опускание кровли равнялось 40—45% вынимаемой мощности пласта (коэффициент усадки закладочного массива 0,55—0,6), тогда как в

лавах с немеханизированной крепью оно составляет не менее 50% вынимаемой мощности пласта.

При испытаниях различных типов оградительных элементов, предназначенных для удержания откоса закладочного массива, лучше всего зарекомендовало себя раздвижное ограждение (рис. 4.10). По сравнению с ограждением коробчатого типа оно обладает тем преимуществом, что не сужает ширину прохода между стойками. Зазоры между ограждениями отдельных секций перекрываются полосами из конвейерной ленты с повышающими их жесткость пружинящими металлическими накладками.

Щитовые механизированные крепи. Месторождение, разрабатываемое шахтой «Луизенталь», отличается сильной тектонической нарушенностью и включает 4—5 пластов мощностью 3—5 м. Их разработка осложнена высокой газоносностью пластов, склонностью угля к самовозгоранию, проявлениями сильного отжима и наличием слабых боковых пород. В связи с необходимостью охраны поверхности, а также из-за геологических факторов отработка значительной части месторождения требует применения способа управления кровлей с полной закладкой выработанного пространства, в качестве которой в последнее время применяют преимущественно пневматическую закладку вместо гидравлической.

Анализ показал, что при применении пневматической закладки механизированные крепи должны отвечать следующим дополнительным требованиям:

крепь должна надежно поддерживать кровлю не только над машинной дорогой, конвейером и проходом для людей, но и над закладываемой полосой выработанного пространства. При достаточно большом расстоянии между забоем и откосом закладочного массива она должна обладать высоким рабочим сопротивлением и обеспечивать высокий коэффициент затяжки кровли;

пневмозакладочное оборудование должно быть приспособлено к работе механизированной крепи. Пневмозакладочный трубопровод необходимо размещать на секциях крепи таким образом, чтобы обеспечить независимость работ по выемке угля и закладке выработанного пространства;

большая мощность пласта и значительная длина верхних перекрытий, а также дополнительная нагрузка от пневмозакладочного трубопровода требуют жесткой и стабильной конструкции крепи, устойчивой при передвижении;

ограждение закладываемой полосы от призабойного пространства лавы должно создавать прочную опору для закладочного массива, предупреждать проникновение закладочного материала в призабойное пространство и не препятствовать нормальной работе крепи. Ограждение не должно требовать больших затрат труда на его обслуживание и быть дорогим в изготовлении;

закладываемая полоса должна быть доступна для обслуживания пневмозакладочного трубопровода; функции арматуры управления закладочным трубопроводом не должны нарушаться при подаче закладочного материала.

Проводившиеся на шахте «Луизенталь» исследования были направлены на то, чтобы попытаться воспользоваться преимуществами щитовых механизированных крепей, но при пневматической закладке выработанного пространства они предусматривали решение следующих вопросов:

использование ограждающего перекрытия щитовой крепи в качестве ограждения для закладываемой полосы;

устройство в ограждающих перекрытиях секций щитовой крепи надежных в эксплуатации закрываемых проходов в закладываемую полосу;

разработка конструкции, жестко соединенной с базовой частью перекрытия завальной консоли, предназначенной для поддержания кровли над закладываемой полосой выработанного пространства и для закрепления устройства подвески и перемещения пневмозакладочного трубопровода;

создание надежных в эксплуатации исполнительных и управляющих органов для дополнительных функций щитовой крепи.

На основе результатов предварительных исследований был создан щитовой механизированный комплекс (рис. 4.11). При его разработке в дополнение к перечисленным выше исходным требованиям потребовалось учесть ряд других требований, выте-

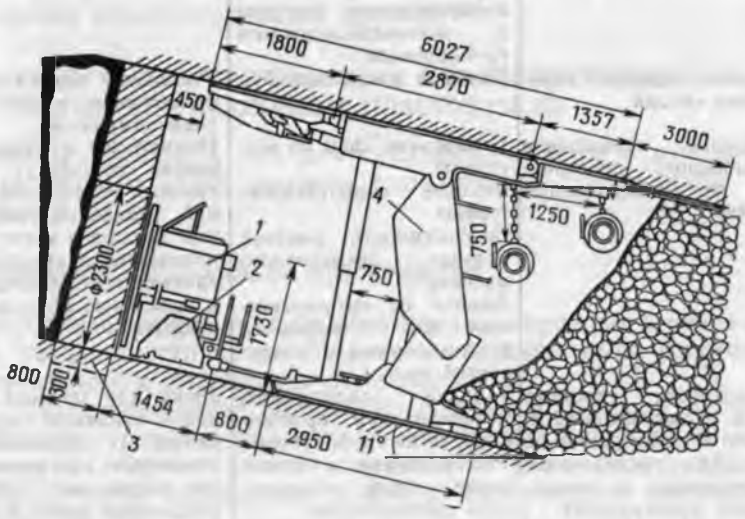


Рис. 4.11. Комплекс оборудования со щитовой крепью для лавы, работающей с пневматической закладкой выработанного пространства:
1 — комбайн EW-300L; *2* — забойный конвейер EKF-3; *3* — присекаемый в почве слой; *4* — щитовая крепь

Таблица 4.11

Требование	Причины	Решение
Высокое сопротивление	Большая площадь поддерживаемой кровли	Четыре гидростойки двустороннего действия с высоким рабочим сопротивлением
Возможно более полная затяжка кровли	Склонность кровли к вывалам	Перекрытия длиной 6 м
	Значительная ширина призабойного пространства	Подкровельный фартук из рессорной стали длиной 3 м
	Невозможность затяжки кровли проволочной сеткой	Выдвижные борта на базовой части перекрытия
Возможность безопасного прохода крепи под куполами вывалов из кровли	Склонность кровли к вывалам	Активные поджимные призабойные консоли
Высокая стабильность при передвижке секций	Сползание крепи из-за подвигания лавы по восстанию, длинной завальной консоли перекрытия, дополнительных нагрузок на перекрытие, вызванных весом перекрывающих межсекционные зазоры выдвижных бортов, скоплений разрушенной породы на перекрытиях, подкровельного фартука и пневмозакладочного трубопровода	Удлиненные задние лыжи основания секции
Высокие усилия передвижки секций	Большая масса секций	Рычажный механизм передвижения с мощным гидродомкратом
Надежное ограждение призабойного пространства от закладываемой полосы	Подвигание лавы по восстанию	Нормальное к напластованию положение завальных ограждений секций, резиновые уплотнения зазоров в месте расположения шарнира, соединяющего ограждение и завальную консоль перекрытия
	Высокое сопротивление трению	
	Необходимость плотной укладки закладочного массива	
	Защита от выбрасываемых из трубопровода кусков породы и взвихренной пыли	
Возможность доступа людей в закладываемую полосу и наблюдений за работой закладочного трубопровода из призабойного пространства	Укладка закладочного материала при торцовом выпуске из трубопровода	Люки для прохода людей в завальных ограждениях (с запираемыми крышками) и размещение вблизи них органов управления работой трубопровода
	Рассоединение и соединение секций закладочного трубопровода	
	Необходимость ремонта и обслуживания закладочного трубопровода	

Продолжение табл. 4.11

Требование	Причины	Решение
Защита механизма подвески трубопровода от загрязнений	Опасность нарушения функций механизма подвески и перемещения трубопровода вылетающим закладочным материалом и просыпающейся через зазоры в перекрытии породной мелочью	Размещение гидроцилиндров в «мертвой» зоне выпуска закладочного материала из трубопровода Возможность очистки скребками и водяными струями
Хороший обзор пунктов управления и системы гидроразводки	Большое число функций управления (23)	Дистанционное управление по системе многоканальных рукавов

кающих из условий взаимодействия щитовой крепи и пневмозакладочной установки (табл. 4.11).

На технико-экономических показателях первых трех месяцев работы лавы сказались трудности пускового периода. При среднесуточной нагрузке по товарному углю 1457 т сменная производительность труда по забою составляла лишь 16,8 т. В последующий период нагрузка на лаву была лишь незначительно больше (1591 т/сут), но сменная производительность рабочего по забою возросла до 36,3 т. Средние их показатели (1541 т/сут и 27,1 т/смену) были соответственно в два и три раза выше, чем в лаве соседнего участка, оборудованной костровой механизированной крепью.

4.2.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КРЕПЯМ ДЛЯ НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ [22, 35]

Механизированные крепи для наклонных пластов в дополнение к изложенным выше должны удовлетворять следующим требованиям.

Ограждение призабойного пространства

1. Надежное ограждение от обрушенных пород во всем диапазоне раздвижности крепи. Максимально допустимое расстояние нижней кромки ограждения от почвы 30 см.

2. Предупреждение высыпания обрушенных пород в призабойное пространство при передвижке секций (ширина боковых выдвижных бортов должна превышать шаг передвижки на 10 см с учетом отклонения секций от направления передвижки на 5°).

3. Возможность пропуска в выработанное пространство находящейся на почве горной массы; размеры выпускных отверстий у почвы не менее 30×30 см.

4. Ограждение призабойного пространства со стороны кровли выдвижными бортами, перекрывающими межсекционные зазоры по всей ширине призабойного пространства. Симметричное расположение выдвижных бортов с обеих сторон каждой секции (один из бортов может быть жестким).

Связь секций и их направленная передвижка

1. Опора передвигаемой секции на нижнюю распертую. Соприкасающиеся опорные и направляющие поверхности без выступов. Выдвижные борта для перекрытия межсекционных зазоров — активного действия. Обеспечение направленной передвижки при отклонении секции на 2° от нормали к плоскости пласта или от направления передвижки.

2. Усилия, удерживающие распертую секцию, должны быть достаточны для корректировки положения трех расположенных выше разгруженных секций (с учетом веса секций и сил трения, противодействующих изменению их положения). Усилие, удерживающее секцию крепи, должно быть в любом случае выше усилия, требуемого для корректировки положения соседней секции.

3. Удобное обслуживание органов управления. Корректировка положения с одного пункта управления. Функции передвижения и корректировки положения секции должны осуществляться одновременно.

4. Защита секций от опрокидывания при передвижке. Недопустимость подъема основания при передвижке.

5. Возможность подсоединения к каждой секции устройств для удержания конвейера от сползания с усилиями подтягивания и отталкивания 300 кН.

Сохранение направленности передвижения и нормального к плоскости пласта положения

1. Допустимое отклонение от направления передвижения 2° и возможность корректировки положения секций.

2. Корректировка положения секции при ее отклонении от нормали к плоскости пласта до 2°.

3. Защита от просыпания породной мелочи и штыба при корректировке положения секции.

4. Симметричное расположение устройств для корректировки положений секций, их легкая взаимозаменяемость.

Проход для людей

1. Защита прохода для людей за счет полного перекрытия кровли.

2. Отделение прохода для людей от машинной и конвейерных дорог специальными приспособлениями.

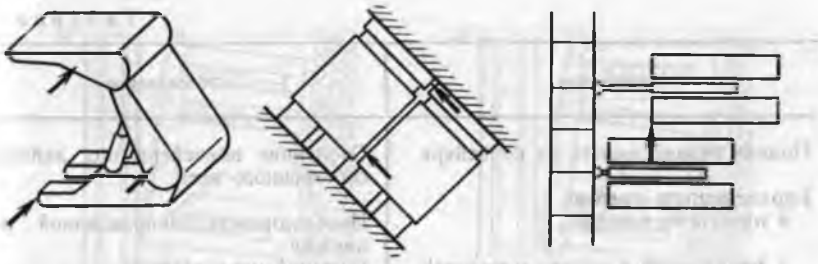


Рис. 4.12. Расположение точек приложения усилий гидродомкратов для выравнивания секций щитовой крепи

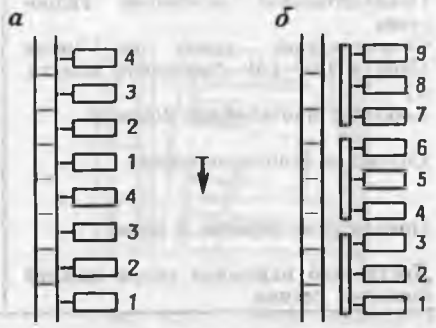


Рис. 4.13. Схемы передвижки секций механизированной крепи на наклонных пластах (цифрами показаны порядковые номера секций)

3. Устройство в проходе для людей ступенчатых трапов.

Механизированные щитовые крепи для пологих пластов вследствие прочности и стабильности их конструкции и наличия сплошного ограждения от выработанного пространства могут быть успешно применены и на наклонных пластах. Изготовители модифицировали выпускаемые ими щитовые крепи с учетом рассмотренных выше требований. В частности, было обращено внимание на предупреждение сползания секций по падению при передвижке, изменение направления передвижения и опрокидывания. Поскольку небольших отклонений секций от нормального положения все же избежать невозможно, требуются эффективные корректирующие устройства. И, наконец, секции крепи должны удерживать от сползания забойный конвейер. Для этого механизированные крепи следует оснащать дополнительными домкратами двустороннего действия. Точки приложения усилий корректирующих домкратов, предназначенных для выравнивания секций в плоскости пласта и относительно нормали к нему, показаны на рис. 4.12 стрелками.

На наклонных пластах применяют две системы передвижки секций механизированных крепей (рис. 4.13). При одной из них (рис. 4.13, *а*) секции крепи, как и на пологих пластах, связаны с лавным конвейером домкратами передвижки и передвигаются последовательно снизу вверх.

При второй системе (рис. 4.13, *б*) секции крепи не связаны с конвейером. Комплекты из трех секций передвигаются самостоятельно по восстанию, причем в каждом комплекте вначале

Таблица 4.12

Требование	Обоснование
Полная независимость от конвейера	Сползание конвейера под действием собственного веса
Управляемость крепью:	
в плоскости пласта	Необходимость направленной передвижки
в нормальной к пласту плоскости	Большой угол падения
Принудительное опускание гидростоек	Небольшое горное давление
Сопротивление крепи не менее $150M$ кН/м² (M — мощность пласта, м)	Предупреждение ступенчатого опускания кровли
Короткие призабойные консоли	Небольшая ширина призабойного пространства
Сплошное основание секций	Необходимость достаточно высокой жесткости при внецентренной нагрузке
Преодоление порогов в почве	Необходимость перехода геологических нарушений
Достаточно надежная опора нижней концевой секции	Большой угол падения

передвигают среднюю секцию, затем подтягивают к ней нижнюю и верхнюю секции.

Обе системы успешно испытаны на практике. Ниже обосновывается целесообразность создания трехсекционных комплектов щитовой крепи, практическая реализация этой идеи и производственный опыт первого применения такой крепи.

Работники одной из шахт Рурского бассейна после успешного применения щитовых крепей на пологих пластах, в том числе в сложных горно-геологических условиях, решили совместно с фирмой-изготовителем разработать новую конструкцию такой крепи для наклонных пластов. Целью работ являлось обеспечение безопасных условий управления неустойчивой кровлей при одновременном выполнении процессов по выемке угля и креплению лавы, а также повышение скорости крепления, которая не должна была ограничивать нагрузки на струговую лаву.

При ее проектировании исходили из следующих основных требований и их обоснований (табл. 4.12).

Совместно с фирмой-изготовителем было найдено техническое решение, предусматривающее объединение трех щитовых секций общей базовой балкой в один комплект шириной 4,5 м. Крепь названа «Тройкой». В комплекте средняя секция соединена с базовой балкой механически, а обе внешними гидродомкратами передвижки. Передвижка средней секции, не имеющей собственного домкрата, осуществляется совместно с базовой балкой посредством домкратов соседних секций. Сначала передвигается средняя секция, а затем поочередно внешние.

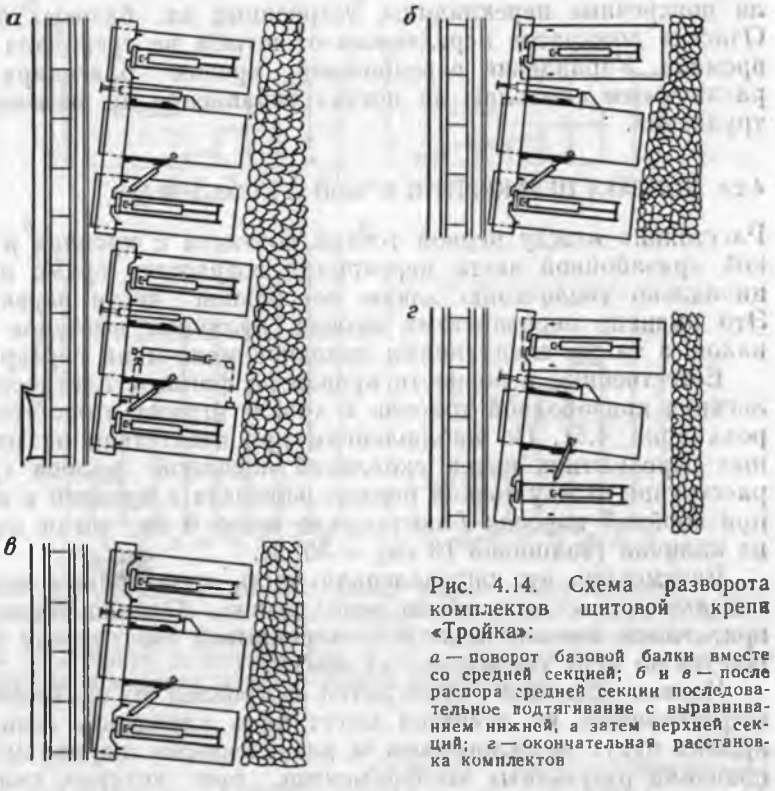


Рис. 4.14. Схема разворота комплектов щитовой крепи «Тройка»:

а — поворот базовой балки вместе со средней секцией; *б* и *в* — после распора средней секции последовательное подтягивание с выравниванием нижней, а затем верхней секций; *г* — окончательная расстановка комплектов

Проверка на стенде показала работоспособность подобной системы передвижки крепи. Удалось также подтвердить возможность корректировки положения крепи в лаве.

Разрезная печь была пройдена таким образом, что верхняя ее часть опережала нижнюю на 4 м. Секции были установлены перпендикулярно к конвейеру, так что по мере подвигания лавы они должны были постепенно смещаться в направлении к нижнему концу лавы. Для предупреждения выхода нижнего комплекта крепи в зону привода струговой установки все комплекты были повернуты в соответствии с показанной на рис. 4.14 схемой. После подвигания лавы примерно на 15 м они поднялись на 1 м по восстанию. Нижний конец лавы несколько опередил верхний, и лава приняла положение, благоприятное для предупреждения смещений крепи по падению.

При испытаниях в шахте крепь работала вполне удовлетворительно, а ее эксплуатация не вызывала каких-либо затруднений. Выемка угля и его доставка полностью не зависели от работ по креплению кровли.

Вывалы породы из кровли не наблюдались. Передвижение людей по лаве было достаточно удобным, чему способствова-

ли поперечные перекладины, устроенные на базовых балках. Очистка домкратов передвижки от штыба не требовала много времени. Управление передвижной крепью благодаря четко различимым символам на постах управления не вызывало затруднений.

4.2.6. КОНТАКТ ПЕРЕКРЫТИЙ КРЕПИ С КРОВЛЕЙ [20]

Расстояние между первой точкой контакта с кровлей и кромкой призабойной части перекрытия возрастает прямо пропорционально увеличению длины консольной части перекрытия. Это вызвано неровностями кровли, наличием выступов и вывалов, а также скоплениями породной мелочи на перекрытиях.

Естественные неровности кровли по фактору плотности прилегания призабойной консоли к кровле играют второстепенную роль (рис. 4.5). По наблюдениям при отсутствии на шарнирных перекрытиях крепи скоплений породной мелочи среднее расстояние между точкой первого контакта с кровлей и концом призабойной консоли l составляло всего 6 см, тогда как при их наличии (толщиной 10 см) — 30 см.

Разумеется, что определенная часть призабойных консолей контактирует с кровлей по всей длине. Однако вероятность прилегания концов консолей перекрытий к кровле уменьшается по мере увеличения их длины.

Контактирование перекрытий с кровлей и, следовательно, эффективность их действия могут быть улучшены, если перекрытия будут не сплошными, а разделенными шарнирами. Как показали результаты экспериментов, при которых сплошной жесткий верхняк длиной 2,2 м и верхняк, состоящий из двух частей, прижимали по 65 раз к кровле в различных местах лавы и определяли с интервалом 10 см по длине верхняка наличие контакта с кровлей, в разделенном на две части верхняке его длинный и короткий отрезки контактировали с кровлей соответственно на 61 и 160% чаще, чем соответствующие участки сплошного жесткого верхняка (рис. 4.16).

При наличии в кровле выступов или вывалов перекрытия крепи часто неудовлетворительно контактируют с кровлей. При переходе через вывал одношарнирное перекрытие прогибается в полость вывала, а призабойная консоль отходит от кровли. Выступ в кровле может привести также к опусканию призабойной консоли.

К перекрытиям секций механизированных крепей предъявляются следующие требования:

возможно более полное прилегание к неровной кровле вплоть до передней кромки консоли;

возможность перекрытия вывалов шириной до 1,5 м без потери передней консолью контакта с кровлей.

Шарнирные перекрытия соответствуют указанным требованиям в разной мере. Критерием эффективности функциониро-

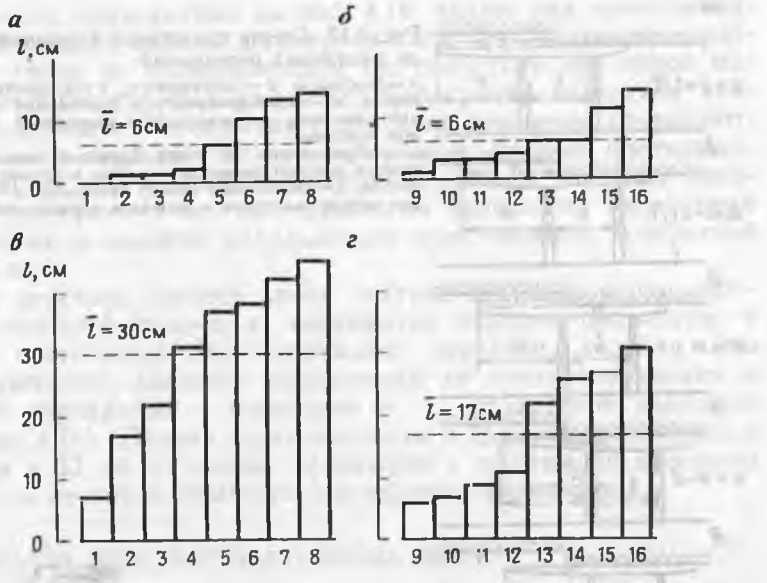


Рис. 4.15. Диаграммы расстояния l между первой точкой контакта с кровлей и передней кромкой консоли на перекрытиях без (*а* и *б*) и со скоплением (*в* и *г*) породной мелочи толщиной 10 см; *а* и *в* — перекрытия с шарнирным соединением с ограждением; *б* и *г* — перекрытия с поджимными призабойными консолями; цифры — номера обследованных лав

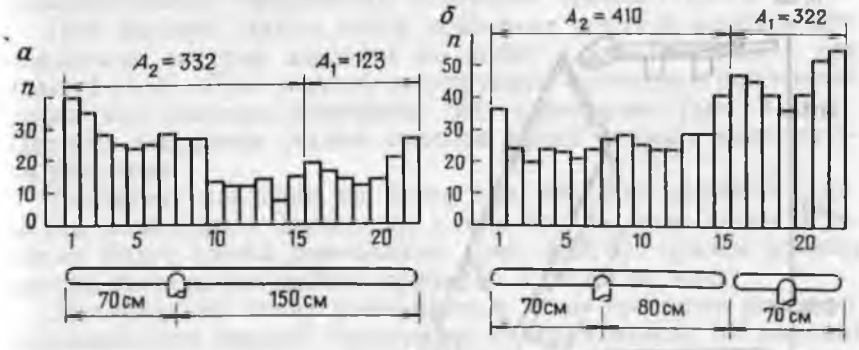


Рис. 4.16. Диаграммы числа контактирований с кровлей n по длине L сплошного (*а*) и разделенного на две части (*б*) верхняка при 65 измерениях:

A_1, A_2 — число контактов соответственно на коротком и длинном участках верхняка

вания консольной части перекрытия является расстояние между выступом в кровле и концом консоли, при котором последняя может быть прижата к кровле передней стойкой. В этом отношении применение сплошного перекрытия менее благоприятно, чем шарнирного (рис. 4.17).

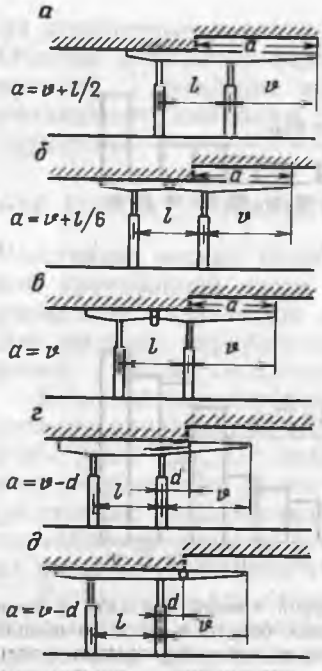


Рис. 4.17. Схемы прилегания к неровной кровле различных перекрытий:

а — жесткого; *б* — шарнирного; *в* — с двойным шарниром; *г* — одношарнирного с поджимной призабойной консолью; *д* — жесткого с шарнирной призабойной консолью

а, *в* — расстояние от конца передней консоли перекрытия соответственно до выступа в кровле и первой стойки; *l* — расстояние между стойками; *d* — расстояние между выступом в кровле и первой стойкой

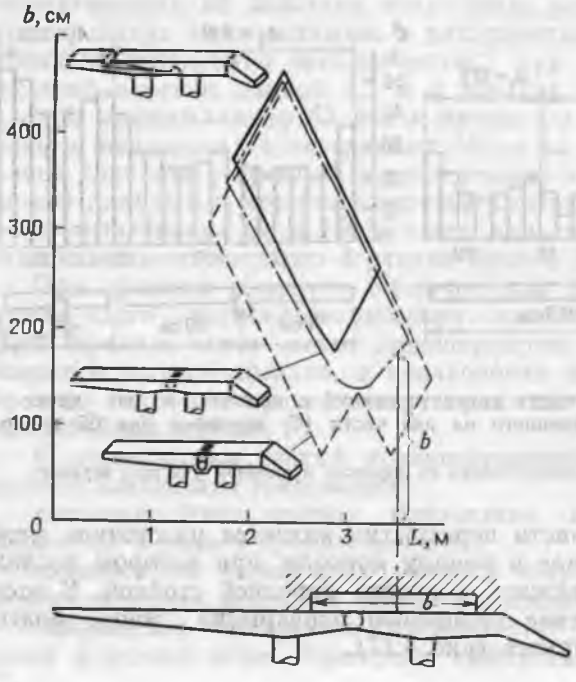


Рис. 4.18. Схемы подхватывания вывалов шириной *b* перекрытиями длиной *L* различной конструкции

Из схем, приведенных на рис. 4.18, видно, при какой минимальной ширине вывала шарнирная часть перекрытия трех различных типов не вдавливается в его полость и при какой минимальной ширине вывала кромки перекрытий не теряют контакта с кровлей. Перекрытия с двойным шарниром прогибаются в полость вывала уже при небольшой ширине последнего. Способность перекрытий подхватывать вывалы в кровле зависит от соотношения между отдельными линейными элементами перекрытия и должна определяться для каждой конкретной конструкции.

При переходе секцией крепи выступа в кровле и при скоплении породной мелочи на перекрытии хорошее прилегание к кровле достигается при поджимной передней консоли. Это подтверждается данными наблюдений за контактированием с кровлей перекрытий с шарниром и с поджимной консолью (см. рис. 4.16). Первая точка контакта с кровлей находилась в среднем в 17 см от конца перекрытия с поджимной консолью и в 30 см от конца обычного шарнирного перекрытия.

4.2.7. СЛАБАЯ (НЕУСТОЙЧИВАЯ) ПОЧВА [22]

Основания секций щитовой крепи должны быть выполнены таким образом, чтобы при распоре секции носки основания не вдавливались в почву, а при передвижке не происходило их «запахивания» в почву. Исследования на испытательном стенде позволили дать следующие выводы в отношении наиболее целесообразного оформления основания щитовой крепи.

При распоре секции носки основания жесткой конструкции оказывают высокое давление на почву и вдавливаются в нее (рис. 4.19, *а*). При упругой конструкции основания перегрузки почвы под носками основания не происходит (рис. 4.19, *б*). Поэтому основания секций щитовой крепи должны выполняться упругими.

Снижения давления на почву под передней кромкой основания может быть достигнуто в том случае, если носки основания будут слегка приподняты (рис. 4.20, *б*), причем кромка изгиба должна находиться примерно в 30 см от края.

Давление на почву уменьшается, если проекция шарнира, соединяющего верхнее перекрытие с ограждением, не выходит за пределы контура основания и находится как можно дальше от его передней кромки (рис. 4.21). Чем длиннее основание секции, тем меньше его давление на почву.

На степень «запахивания» почвы при передвижке крепи можно влиять путем изменения формы носков основания (рис. 4.22). Экспериментами на моделях с песчаной почвой было установлено, что особыми достоинствами обладают носки основания, скошенные снизу под углом 30°.

Способ закрепления домкратов передвижки к основанию секции и к конвейеру не оказывает влияния на глубину вдав-

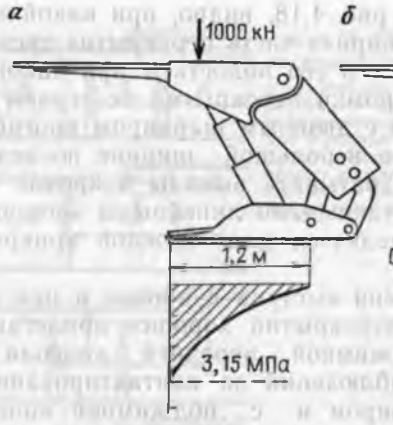


Рис. 4.19. Эпюры давления на почву при разных формах основания секции щитовой крепи

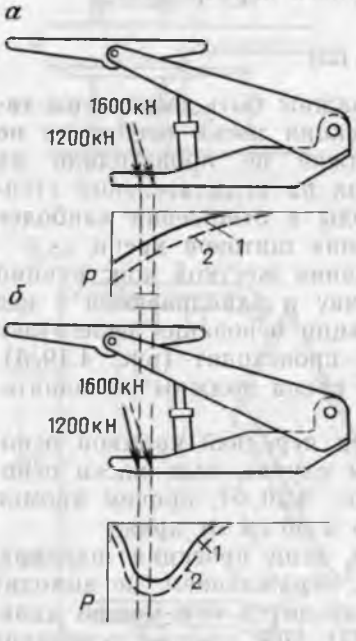
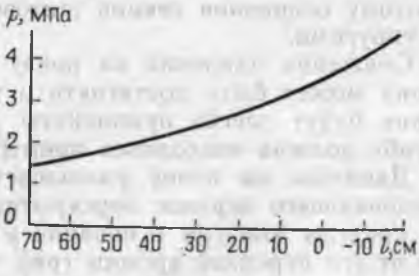


Рис. 4.20. Эпюры давления на почву P при прямой ($а$) и приподнятой ($б$) передней кромке основания секции щитовой крепи:
1 и *2* — соответственно при начальном распоре (1200 кН) и рабочем (1600 кН) сопротивлении

Рис. 4.21. График изменения давления на почву p, оказываемого основанием секции щитовой крепи с одношарнирной его связью с ограждением, в зависимости от расстояния l, на котором находится проекция шарнира, связывающего козырек перекрытия с ограждениями, от передней кромки основания (знак «минус» означает, что проекция шарнира выходит за контур основания)



ливания основания в почву. Это справедливо для щитовых секций как с двухрычажной, так и с одношарнирной связью основания с ограждением.

Характер нагружения почвы щитовыми секциями крепи с шарнирным соединением перекрытия с ограждением виден из рис. 4.23. Наибольшее давление наблюдается при коротком жестком основании (см. рис. 4.23, $а$). Удлиненное упругое

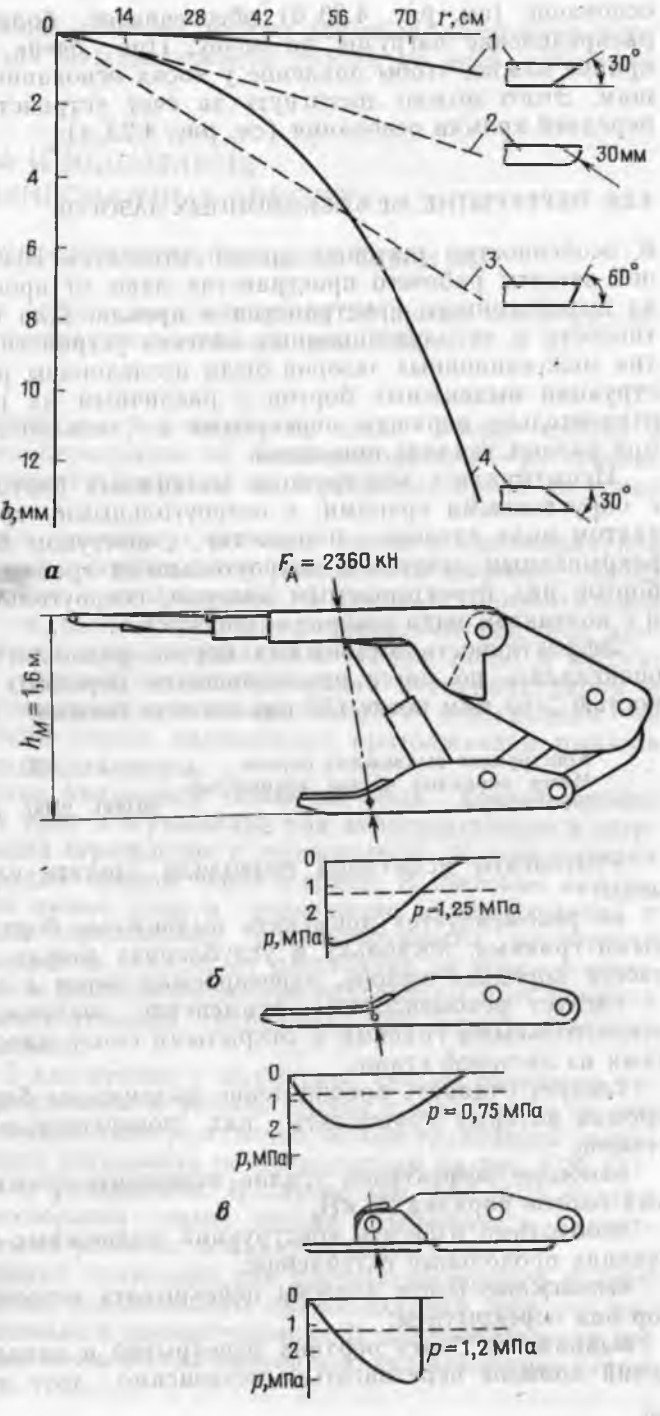


Рис. 4.22. График изменения глубины вдавливания основания в почву b в зависимости от длины шага передвижки r при различных формах носка (*1—4*)

Рис. 4.23. Давление на почву p при коротком жестком (*а*), удлиненном упругом (*б*) и коротком с поворотной передней кромкой (*в*) основаниях

основание (см. рис. 4.23, *б*) обеспечивает более равномерное распределение нагрузок на почву. При очень слабой почве крайне важно, чтобы давление у носка основания было небольшим. Этого можно достигнуть за счет устройства поворотной передней кромки основания (см. рис. 4.23, *в*).

4.2.8. ПЕРЕКРЫТИЕ МЕЖСЕКЦИОННЫХ ЗАЗОРОВ

К особенностям щитовых крепей относится возможность полной защиты рабочего пространства лавы от просыпания пород из выработанного пространства и кровли. Для оценки эффективности и эксплуатационных качеств устройств для перекрытия межсекционных зазоров были исследованы различные конструкции выдвижных бортов с различным их расположением относительно верхнего перекрытия и завального ограждения при разных усилиях прижатия.

Испытывались конструкции выдвижных бортов пяти типов: с округленными гранями; с остроугольными гранями; с контактом вида «лезвие — плоскость»; с выступом бортов над перекрываемым зазором и остроугольными гранями; с выступом бортов над перекрываемым зазором, остроугольными гранями и с контактом вида «лезвие — плоскость».

Эффективность выдвижных бортов различных конструкций оценивалась по массе просыпавшихся породных частиц крупностью >63 мкм после 150 циклов передвижки.

Конструкция выдвижных бортов	1	2	3	4	5
Масса породных частиц крупностью >63 мкм, г	39 000	2400	154	75	38

Результаты испытаний позволили сделать следующие выводы:

не рекомендуется применять выдвижные борта с округленными гранями, поскольку в углублениях между ними скапливается породная мелочь, перетираемая затем в мелкую пыль;

следует рекомендовать применение выдвижных бортов с остроугольными гранями и открытыми снизу плоскими элементами из листовой стали;

следует отдавать предпочтение выдвижным бортам, верхние кромки которых приподняты над поверхностью перекрытия секции;

наиболее эффективно усилие взаимного прижатия выдвижных бортов порядка 20 кН;

необходимо избегать конструкций выдвижных бортов, образующих продольные углубления;

выдвижные борта должны перекрывать межсекционный зазор над перекрытием;

выдвижные борта верхних перекрытий и завальных ограждений должны передвигаться независимо друг от друга, так

как только таким образом можно добиться достаточно плотного перекрытия межсекционного зазора по всей длине секции.

4.3. РАСЧЕТЫ И ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

4.3.1. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЩИТОВОЙ КРЕПИ [49]

Сопротивление секции щитовой крепи St проще всего рассчитывать по уравнению моментов сил (рис. 4.24)

$$A = Ste/f,$$

где A — нагрузка; e — расстояние от точки упора стойки в ограждение или перекрытие до точки поворота; f — расстояние от точки приложения нагрузки на перекрытие крепи до точки поворота.

Общая точка поворота в щитовой крепи с одношарнирной связью основания с ограждением находится в шарнире, связывающем основание с ограждением, в крепи с горизонтальной гидростойкой — в точке пересечения линии, являющейся продолжением рычага связи основания с ограждением, и восстановленным из нижней точки ограждения перпендикуляром в крепи с двухрычажной связью основания с перекрытием — в точке пересечения линий, являющихся продолжением рычагов шарнирного четырехзвенника.

Сопротивление указанных типов щитовых крепей, стойки которых имеют упор в ограждение или непосредственно в шарнир, соединяющий ограждение с перекрытием, во всех случаях передается породам кровли через шарнир. В щитовых крепях, стойки которых имеют упор в перекрытие, сопротивление и положение точки приложения результирующего распорного усилия на перекрытии зависят от расстояния до точки поворота, направления и распорного усилия гидроопоры и от момента сил, создаваемого угловым гидродомкратом между ограждением и перекрытием.

Расстояние f для крепей с шарнирной связью развитого перекрытия с ограждением и упором стойки в перекрытие не может быть определено непосредственно по конструктивной схеме. Однако его можно установить по приведенным на рис. 4.25 расчетным схемам и уравнениям. В случае (см. рис. 4.25, *б*) при определении распорного усилия секции учитывается, в частности, развиваемый угловым домкратом момент сил Z.

При составлении уравнений для расчета распорного усилия секции исходят из упрощающего предположения, что оно направлено по нормали к напластованию. В действительности же указанное усилие почти всегда направлено под некоторым углом к нормали.

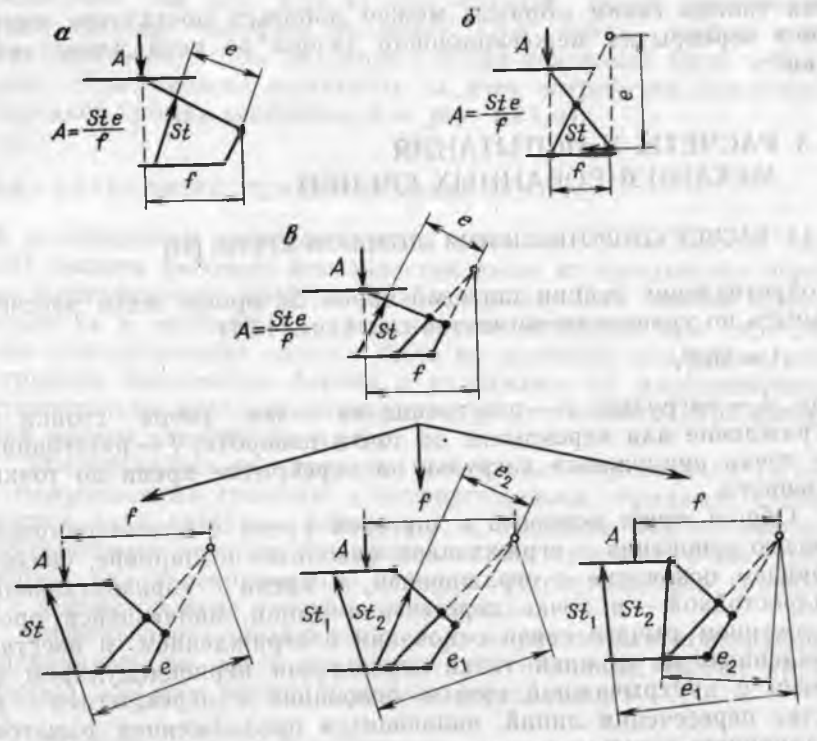


Рис. 4.24. Схемы к расчету сопротивления секции щитовой крепи:
а — с одношарнирной связью основания с ограждением; *б* — с подвижной связью основания с ограждением; *в* — с двухрычажной связью основания с перекрытием при неопределенном параметре *f*

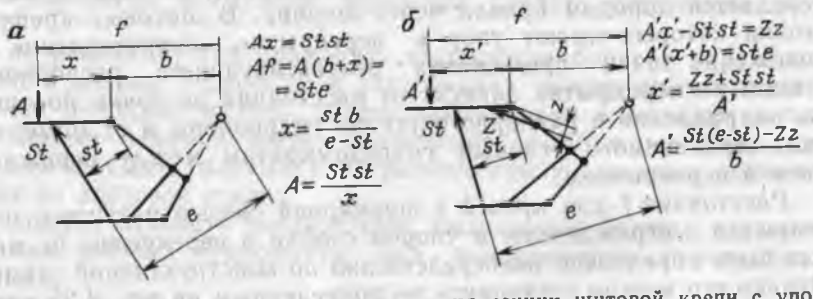


Рис. 4.25. Схемы к расчету сопротивления секции щитовой крепи с упором гидростойки в перекрытие:
а — при начальном распоре; *б* — при рабочем сопротивлении

В щитовых крепях с двухрычажной связью основания с ограждением усилие гидростоек как после начального распора, так и при последующем нагружении также может быть направлено не по нормали к напластованию. Угол отклонения от нормали из-за наличия люфта в шарнире зависит от того,

в какой мере параллельная напластованию компонента распорного усилия стойки передается породам кровли. Возможность передачи от перекрытия щитовой секции параллельных напластованию усилий доказана как на испытательном стенде, так и в производственных условиях. При наблюдениях в шахтах установлено, что передаваемое кровле распорное усилие может отклоняться от нормали на 0—18° в сторону выработанного пространства.

Отклонение распорного усилия секции от нормали имеет значение для определения устойчивости крепи.

4.3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ [49]

При распоре секции щитовой крепи с одношарнирной связью основания с ограждением нагрузка воспринимается передней частью основания, а его задняя часть приподнимается над почвой. При этом результирующее распорное усилие передается на почву носками основания.

При длинном упругом основании задняя его часть при распоре также несколько поднимается над почвой, однако результирующее распорное усилие прилагается в этом случае уже не к носкам основания, а в нескольких дециметрах от них. Как видно из схемы (рис. 4.26), величина и направление результирующей усилия при распоре секции зависят от размеров секции, а также от степени жесткости основания (и от податли-

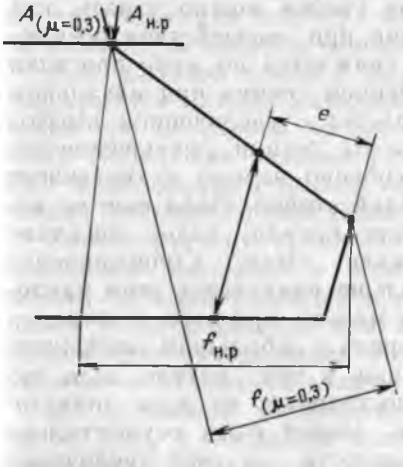


Рис. 4.26. Схема к расчету сопротивления секции щитовой крепи с одношарнирной связью основания с ограждением при начальном распоре ($A_{н.р}$) и при проседании гидростойки (A)

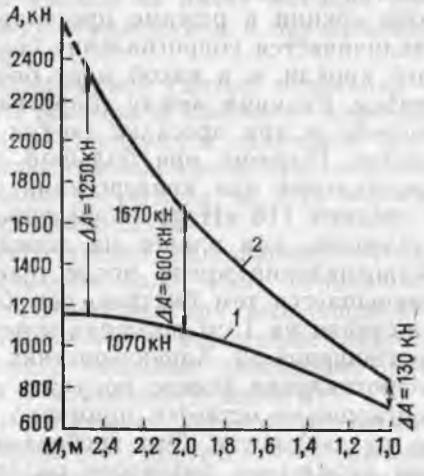


Рис. 4.27. Характеристики щитовой крепи с одношарнирной связью основания с перекрытием при распоре (*1*) и при просадке гидростойки (*2*) в зависимости от высоты секции *M*

вости почвы). Сопротивление A бывает тем больше, чем больше оно направлено в сторону выработанного пространства, т. е. чем короче основание секции. При оседании кровли задний конец основания секции щитовой крепи с одношарнирной связью основания с перекрытием опускается на почву, а перекрытие несколько смещается к забою. Из-за сил трения, возникающих между перекрытием и породами кровли, направление распорного усилия в еще большей степени поворачивается к выработанному пространству, в том числе и при длинном основании. В результате сопротивления секции становится выше, чем при начальном распоре (в предположении, что распорное усилие стойки осталось тем же), и при наибольшей высоте секции в 1,5—2 раза превышает сопротивление начального распора. Так как рабочее сопротивление стойки, как правило, в 1,25 раза выше усилия начального распора, сопротивление секции при оседании кровли в 2—2,5 раза выше, чем при начальном распоре.

На рис. 4.27 показаны характеристики щитовой крепи с одношарнирной связью основания с ограждением. Величина распорного усилия секции при его отклонении от нормали к напластованию 16° ($\mu=0{,}3$) всего лишь на 5% больше его нормальной компоненты, поэтому отклонением направления распорного усилия от нормального при построении характеристик можно пренебречь. Характеристика крепи для работы секции в режиме начального распора показывает, как увеличивается сопротивление секции в зависимости от мощности пласта (т. е. степени раздвижки секции). Из характеристики крепи для работы секции в режиме проседания стойки можно узнать, как увеличивается сопротивление секции при воздействии оседающей кровли, и в какой мере оно снижается по мере просадки стойки. Разница между сопротивлением секции при начальном распоре и при просадке стойки растет с увеличением высоты секции. Поэтому при большой высоте секции уменьшение сопротивления при конвергенции особенно велико и составляет в среднем 116 кН на 10 см просадки стойки. Пока еще не исследовано, как влияет на поведение кровли такое снижение сопротивления крепи после просадки стоек. Сопротивление уменьшается тем быстрее, чем больше изменяется угол наклона стойки на 1 см просадки и чем меньше при этом становится соотношение e/f. Характеристику крепи с небольшим снижением сопротивления можно получить лишь в том случае, если это соотношение остается примерно постоянным во всем диапазоне раздвижности. Это требование может быть осуществлено при небольшом диапазоне раздвижности за счет увеличения расстояния между шарниром, связывающим основание с ограждением, и основанием.

Увеличение сопротивления крепи за счет трения между перекрытием и кровлей при конвергенции возможно только в щитовых крепях с одношарнирной связью основания с ограж-

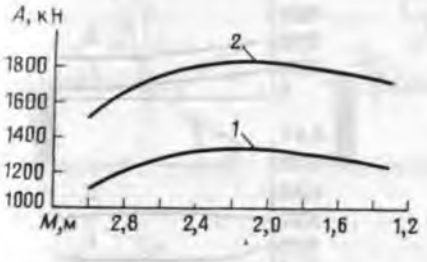


Рис. 4.28. Характеристики щитовой крепи с двухрычажной связью основания с перекрытием при начальном распоре (*1*) и при просадке гидростоек (*2*) в зависимости от высоты секции *M*

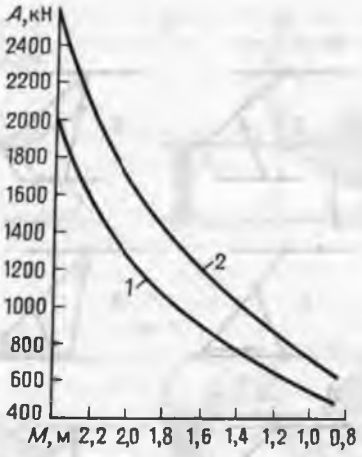


Рис. 4.29. Характеристики щитовой крепи с подвижной связью основания с перекрытием при начальном распоре (*1*) и при просадке гидростоек (*2*) в зависимости от высоты секции *M*

дением, в которых концы призабойных консолей перемещаются при проседании стойки по дуге окружности. В двух других разновидностях щитовых крепей, в которых концы перекрытий перемещаются при изменении раздвижности стоек по лемнискате или дуге эллипса, смещение перекрытия относительно кровли незначительно (если только кровля не имеет наклона или же если проекция шарнира между ограждением и перекрытием не выходит за пределы основания).

Для щитовой крепи с двухшарнирной связью основания с перекрытием усилия начального распора и рабочего сопротивления при опускании кровли характеризуются графиком (рис. 4.28). Небольшая разница в сопротивлении крепи при наименьшей и наибольшей высоте секции достигнута за счет относительно небольшого диапазона раздвижности.

Характеристики крепи со скользящим одношарнирным соединением основания с ограждением (рис. 4.29) отличаются весьма большей разницей в сопротивлении при небольшом отличии в сопротивлении при наибольшей и наименьшей высоте секции. Это определяется особенно большим диапазоном раздвижности указанной крепи (2,8 наименьшей высоты).

Из сравнения характеристик щитовых крепей различных типов (рис. 4.30) видно, что крепи с двухрычажной связью основания с ограждением при упоре стоек как в ограждение, так и в шарнир между ограждением и перекрытием при одинаковом сопротивлении стоек обладают увеличенным на 50—80% сопротивлением секции по сравнению с крепями с одношарнирной связью основания с ограждением. Сопротивление крепей с длинными перекрытиями еще выше и достигает значе-

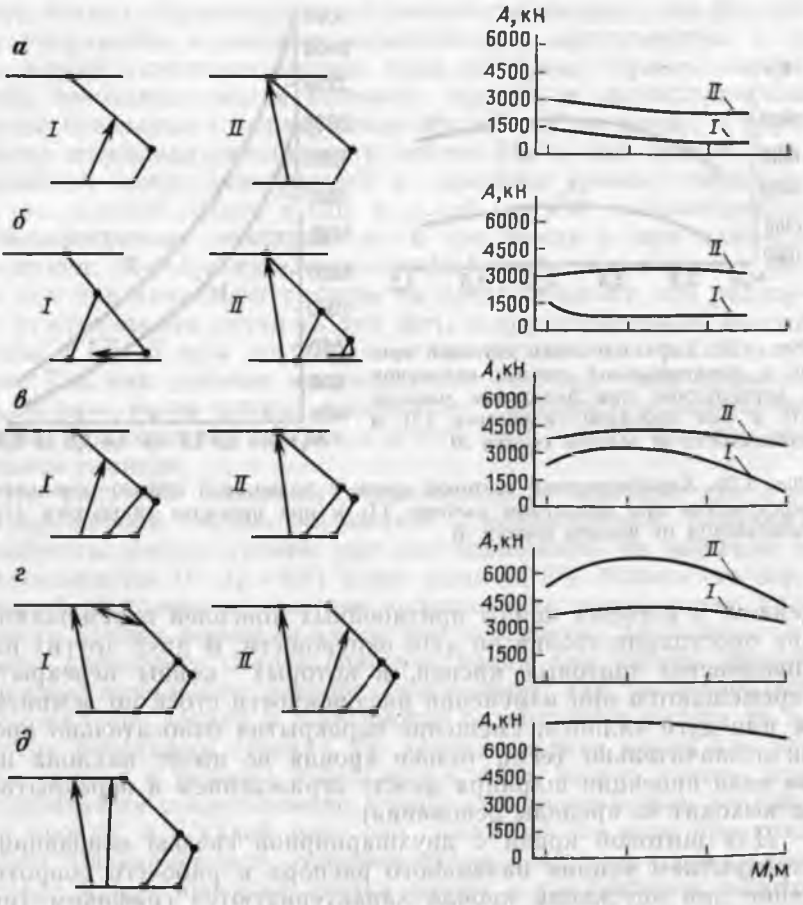


Рис. 4.30. Характеристики щитовой крепи различных типов:

а — с одношарнирной связью основания с перекрытием; *б* — с подвижной связью основания с перекрытием; *в* — с двухрычажной связью основания с перекрытием; *г* — с длинным перекрытием, шарнирно связанным с ограждением; *д* — четырехстоечной костровой *I*, *II* — при упоре стоек соответственно в ограждение и перекрытие

ния костровой крепи, в которой все четыре стойки имеют упор в перекрытие. В последней сопротивление с уменьшением мощности снижается лишь в том случае, если стойки принимают наклонное положение.

4.3.3. УСТОЙЧИВОСТЬ СЕКЦИЙ ЩИТОВОЙ КРЕПИ В НАПРАВЛЕНИИ ИХ ПЕРЕДВИЖКИ

При отсутствии на ограждении обрушенных пород:

в случае параллельности кровли и почвы (рис. 4.31, *а*) условие устойчивости $\gamma \leqslant \rho$. Результирующая распорного усилия пересекает почву в зоне основания секции, угол ее откло-

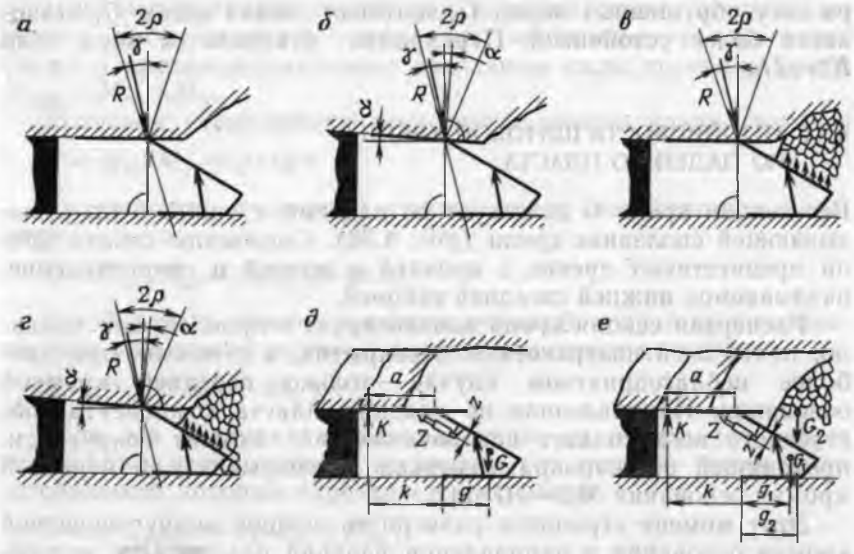


Рис. 4.31. Схемы к расчету устойчивости секций щитовой крепи по направлению движения

нения от нормали γ к напластованию меньше угла внутреннего трения пород ρ, величину которого можно принять равной 16° (при $\mu=0{,}3$);

в случае непараллельности кровли и почвы (рис. 4.31, *б*) условие устойчивости $\alpha+\gamma=\rho$. Результирующая распорного усилия пересекает почву в зоне основания секции, угол ее отклонения от нормали меньше разности между углом трения ρ и углом наклона перекрытия α, величину которого можно принять равной 3°.

При наличии на ограждении обрушенных пород:

в случае параллельности кровли и почвы (рис. 4.31, *в*) условия устойчивости $\gamma\leqslant\rho$ не требуется, так как вес обрушенных пород противодействует опрокидывающим силам;

в случае непараллельности кровли и почвы (рис. 4.31, *г*) условия устойчивости $\alpha+\gamma\leqslant\rho$ не требуется, так как вес обрушенных пород противодействует опрокидыванию секции.

При отсутствии на задней консоли перекрытия и ограждении обрушенных пород (рис. 4.31, *д*) условия устойчивости $Zzk/a\leqslant Gg$ и $K=zZ/a$. Сопротивление K на конце призабойной консоли не должно быть выше величины, обусловленной весом секции крепи G и длиной плеча a. Сопротивление крепи на конце консоли ограничивается усилием Z углового домкрата и соотношением плеч моментов сил z и a.

При наличии на ограждении обрушенных пород (рис. 4.31, *е*) условия устойчивости $ZzK/a\leqslant G_1g_1+G_2g_2$ и $K=zZ/a$. Благода-

ря весу обрушенных пород G_2 щитовая секция весом G_1 становится более устойчивой. Перекрытие отклоняется вниз, если $K > zZ/a$.

4.3.4. УСТОЙЧИВОСТЬ ЩИТОВОЙ КРЕПИ ПО ПАДЕНИЮ ПЛАСТА

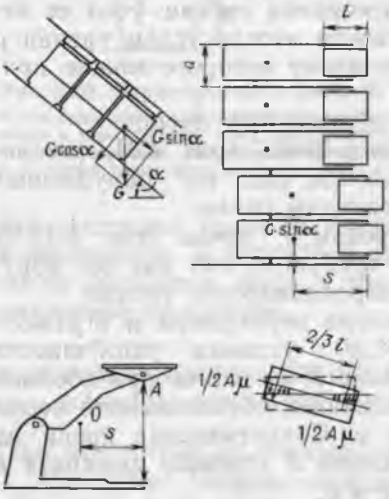
Вес секции крепи G действует по падению с силой $G \sin \alpha$, вызывающей сползание крепи (рис. 4.32). Сползанию секции крепи препятствуют трение с кровлей и почвой и сопротивление, оказываемое нижней соседней секцией.

Распертая секция крепи контактирует с кровлей, как правило, почти всей поверхностью перекрытия, а с почвой при наиболее неблагоприятном случае — только передней кромкой основания. Направленная по падению пласта компонента собственного веса создает поворачивающий момент вокруг оси, проходящей от шарнира козырька перекрытия до передней кромки основания $M_{ab} = sG \sin \alpha$.

Этот момент стремится развернуть секцию вокруг передней кромки основания в направлении падения пласта. При воздействии веса обрушенных пород на ограждение величина G может увеличиться.

В разгруженной секции крепи моменту сил, приводящих к сползанию, противодействуют силы трения основания по почве $M_{hL} = sG\mu \cos \alpha$.

В распертой усилием A секции крепи момент сил, препятствующих сползанию, увеличивается за счет сил трения между перекрытием и кровлей $M_{hH} = A\mu l/3$.



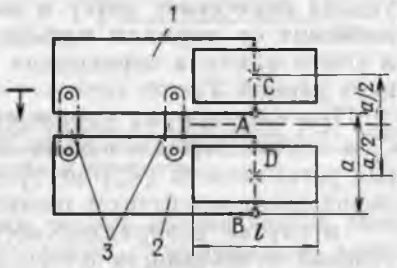


Рис. 4.33. Схема к расчету устойчивости спаренной секции щитовой крепи по падению:

A, B — точки приложения в почву результирующей распорного усилия соответственно в верхней (*1*) и нижней (*2*) секциях; *C* и *D* — точки приложения в кровлю результирующей распорного усилия соответственно в верхней (*1*) и нижней (*2*) секциях; *3* — рессорные связи между секциями

Рис. 4.32. Схемы к расчету устойчивости секций щитовой крепи по падению пласта (*O* — центр тяжести)

При выравнивании положения щитовой секции по падению пласта, кроме момента сползания, необходимо преодолевать также и противодействующие сползанию силы трения у почвы $M_{ausr}=M_{ab}+M_{Lh}$.

Условием устойчивости нераспертой секции крепи является

$$S=M_{hL}/M_{ab}=\mu \operatorname{ctg}\alpha.$$

Устойчивость распертой секции крепи определяется условием

$$S=M_{hH}/M_{ab}=A\mu l/(3sG\sin\alpha).$$

Устойчивость нижней секции, служащей опорой при корректировке положения соседней секции, находится из условия

$$S=M_{hH}/(2M_{ab}+M_{hL}).$$

Если эта величина меньше единицы, то в качестве опоры необходимо использовать несколько (n) секций, суммарная устойчивость которых определяется условием

$$S=nM_{hH}/[(n+1)M_{ab}+M_{hL}].$$

Из последнего выражения при $S\geqslant 1$ можно установить требуемое число распертых секций, используемых в качестве опоры.

Если необходимо одновременно выравнять несколько (m) секций крепи, то устойчивость опоры может быть определена из выражения

$$S=nM_{hH}/[(n+m)M_{ab}+mM_{hL}].$$

В случае спаривания двух секций щитовой крепи (рис. 4.33) в расчет может быть принята также сила трения оснований по почве, поскольку имеется плечо a момента сил трения. Таким образом, для нераспертой спаренной секции крепи момент сползания

$$M_{2ab}=2sG\sin\alpha,$$

а удерживающий момент

$$M_{h2L}=2sG\mu\cos\alpha.$$

При распертой спаренной секции в зависимости от положения точки поворота появляются следующие дополнительные моменты удерживающих сил:

при точке поворота E или C у перекрытия, A, B или E у основания (см. рис. 4.33)

$$M_{hHK}=A\mu(2a+l/3);$$

при точке поворота E у перекрытия, A, B и E у основания

$$M_{hHK}=2A\mu a.$$

Момент сил, необходимый для выравнивания спаренной секции, определяем по аналогии с одинарной секцией

$$M_{ausr} = A_{2ab} + M_{h2L}.$$

Коэффициент запаса устойчивости отдельной спаренной нераспертой секции

$$S = M_{h2L}/M_{2ab} = \mu \operatorname{ctg} \alpha.$$

Коэффициент запаса устойчивости отдельной спаренной нераспертой секции

$$S = M_{hHK}/M_{2ab},$$

а в неблагоприятном случае с точкой поворота E у перекрытия, а также A, B или E у основания

$$S = A\mu a/Gs \sin \alpha.$$

Коэффициент запаса устойчивости распертой спаренной секции, служащей опорой,

$$S = \frac{M_{hHK}}{3M_{ab} + M_{hL}}.$$

Из указанного выражения определяется число секций, которые могут поддерживаться опорной секцией.

Если требуется произвести выравнивание одновременно нескольких секций, то коэффициент запаса устойчивости опорной секции

$$S = M_{hHK}/[(1 + m) M_{ab} + mM_{hL}].$$

4.3.5. ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Для определения прочности отдельных узлов щитовой крепи, а также ее эксплуатационных свойств в целом, имеющих важное значение для оценки возможности практического применения, институтом «Бергбау-форшунг» разработана специальная программа испытаний. Она основана на опыте эксплуатации механизированных крепей в шахтах и подвергается постоянному усовершенствованию.

Этой программой, в частности, предусматривается:

установление устойчивости секции крепи и эффективности передачи распорного усилия гидростоек перекрытию;

определение степени подвижности перекрытия относительно ограждения с установлением поведения крепи при исчерпывании запаса подвижности шарнира;

установление характеристики крепи при начальном распоре секции и при проседании гидростоек;

определение соосности и внецентренности нагрузки на почву при начальном распоре секции, работе в режиме рабочего сопротивления и при передвижке;

установление способности преодолевать неровности в кровле;

исследование действия устройств для перекрытия межсекционных зазоров;

определение боковой подвижности секции при выравнивании их положения в лавах на пологих и наклонных пластах.

Испытания на устойчивость и эффективность передачи распорного усилия гидростоек перекрытию, а также поведение крепи при исчерпывании запаса подвижности шарнира между ограждением и перекрытием позволяют получить представление о работе крепи при переходе через вывалы в кровле и при подхватывании подкровельной пачки угля.

Сопротивление секций щитовой крепи определяется распорным усилием гидростоек, конструктивными параметрами крепи и силой трения между кровлей и перекрытием. Данные о сопротивлении секций щитовой крепи в раздвинутом и сдвинутом состоянии при различных значениях коэффициента трения получают по характеристикам крепи.

Щитовые крепи при начальном распоре, работе в режиме рабочего сопротивления и при передвижке оказывают наибольшее давление на почву передней частью основания. Его величина зависит от линейных размеров секции и жесткости основания. Характер и место приложения наибольшей удельной нагрузки на почву от секции щитовой крепи определяется на испытательном прессе.

Неровности почвы вызывают нежелательные нагрузки в местах соединения секций крепи с конвейером или базовой балкой. Поэтому крепи подлежат специальным испытаниям на способность преодолевать неровности в почве и кровле. Далее исследуется поведение крепи при внецентренной нагрузке и при смещении непосредственной кровли.

В связи с тем, что устройства для перекрытия межсекционных зазоров играют важную роль в снижении трудоемкости работ по зачистке лавы, проверка их функционирования производится во всем диапазоне раздвижности крепи.

На пологих и наклонных пластах нельзя исключить смещений конвейера и секций крепи относительно друг друга по длине лавы. Сползание конвейера ведет к возникновению изгибающих нагрузок в соединенных с ним домкратах передвижки крепи. Во время испытаний на стенде определяют допустимые взаимные смещения конвейера и крепи и возможность выравнивания положения секций крепи относительно конвейера.

Испытания эксплуатационных качеств щитовых крепей следует, насколько это возможно, привязывать к проектируемым условиям их применения. Перед началом испытаний шахтой и фирмой-изготовителем обсуждаются и принимаются особые условия испытаний.

Благодаря исследованиям эксплуатационных качеств крепей на испытательном стенде имеется возможность обнаружить

слабые места в конструкции крепи и ее соединениях с конвейером и устранить их еще до начала эксплуатации в шахте. Поэтому комитетами «Очистные работы» и «Рудничная крепь и механика горных пород» Общества каменноугольной промышленности ФРГ рекомендовано подвергать исследованиям все новые конструкции щитовых механизированных крепей для установления их эксплуатационных качеств.

4.4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОПЫТ И ВЫВОДЫ

4.4.1. ЩИТОВАЯ И КОСТРОВАЯ КРЕПИ

В каменноугольной промышленности ФРГ в конце 1980 г. подавляющую часть добычи получали из лав, оборудованных щитовыми механизированными крепями, преимущественно двух-, трех- и четырехстоечными. Около четверти добычи приходилось на лавы с костровой и рамной механизированными крепями, причем применение механизированных крепей с рамными секциями заметно сокращается (с 1978 г. таких крепей больше не изготавливают)*.

Рамные механизированные крепи, как показал опыт их эксплуатации, подвержены повреждениям при вывалах пород из кровли или наличии выступов в кровле и почве. Они недостаточно защищают призабойное пространство лавы от обрушивающихся пород.

Щитовые и костровые крепи при переходе через зоны вывалов в кровле и выступов в кровле или почве повреждаются в значительно меньшей степени и лучше защищают призабойное пространство от обрушенных пород. Поэтому и в будущем они останутся основными видами механизированной крепи для очистных забоев в шахтах ФРГ.

В связи с весьма разнообразными условиями разработки в отношении мощности и угла падения пластов, свойств боковых пород, величины горного давления и тектонической нарушенности участков каменноугольной промышленностью ФРГ накоплен достаточно богатый практический опыт применения механизированных крепей кострового и щитового типа. На его основе можно сделать следующие выводы, относящиеся к эксплуатации костровых и щитовых крепей.

Эффективность поддержания призабойной полосы кровли, определяемая частотой образования вывалов и появления выступов в кровле, при применении костровых и щитовых крепей зависит от таких факторов, как расстояние между забоем и концами перекрытий крепи, отставание крепления от выемки

---

* В 1986 г. из 192 лав, действовавших на шахтах ФРГ, 172 лавы были оснащены щитовыми и 15 костровыми механизированными крепями; в одной лаве использовали индивидуальную гидравлическую крепь и в четырех лавах на крутых пластах — деревянную крепь. — *Примеч. пер.*

угля и рабочее сопротивление крепи. В этом отношении костровые и щитовые крепи примерно равноценны.

В то же время костровые и щитовые крепи существенно различаются по работоспособности в лавах с трудноуправляемыми кровлями или при переходе геологических нарушений. Если, в общем случае секции щитовой крепи воспринимают параллельные напластованию нагрузки, неизбежно возникающие при преодолении вывалов в кровле и выступов в кровле или почве, без повреждений, то костровые секции выдерживают их лишь в ограниченной мере, подвергаясь разрушающим деформациям при превышении предела податливости секций в продольном направлении.

Щитовые крепи с широкими перекрытиями и ограждениями и выдвижными бортами, перекрывающими межсекционные зазоры, полностью ограждают призабойное пространство лавы от обрушенных пород. Костровые крепи такой удовлетворительной защиты не обеспечивают. При неустойчивой кровле призабойное пространство приходится дополнительно защищать применением затяжки из металлической сетки.

Щитовые крепи, имеющие достаточно большой диапазон раздвижности, лучше приспособлены к колебаниям мощности пластов, чем костровые.

Однако из-за большей длины и большей на 40—60% массе при том же рабочем сопротивлении щитовые секции требуют намного более высоких затрат на монтаж, демонтаж и транспортирование, чем костровые. То же относится и к стоимости щитовой крепи.

Поэтому щитовые крепи особенно пригодны для сложных условий эксплуатации при неустойчивой непосредственной кровле, наличии тектонических нарушений и переменной мощности пласта. Из-за высоких затрат на монтаж и демонтаж экономичное применение щитовых крепей возможно лишь при достаточно большой длине выемочных участков.

Костровые крепи целесообразно применять при устойчивой непосредственной кровле. Правда, при использовании затяжки из металлической сетки область ее применения может быть расширена и на пласты с неустойчивой непосредственной кровлей. При этом длина выемочных участков может быть небольшой. Однако при переходе лавой зон геологических нарушений приходится считаться с более высокими затратами на ремонт, чем при щитовых крепях.

Конструктивные схемы щитовых крепей с двух- и четырехстоечными секциями мало отличаются друг от друга по фактору поддержания призабойной полосы кровли. Двухстоечные секции, как правило, короче четырехстоечных. Секции меньшей длины более целесообразны при переходе зон вывалов породы из кровли, но они оказываются в сложной ситуации при смещении линии обреза кровли над перекрытием к забою.

Требуемое для эффективного управления кровлей рабочее сопротивление может быть реализовано в щитовых крепях всех конструктивных форм. При всех конструктивных формах щитовой крепи может быть обеспечена достаточно низкая удельная нагрузка на почву.

Четырехстоечные секции щитовой крепи позволяют, начиная с пластов средней мощности, устраивать проход для людей между передним и задним рядами стоек. В этом случае люди надежно защищены от травмирования крупными кусками отжимаемого из забоя угля, однако условия обслуживания выемочной машины несколько хуже, чем при устройстве прохода перед передними стойками.

При двухстоечных щитовых секциях проход для людей находится перед стойками. На мощных пластах необходима дополнительная защита от отжимаемого из забоя угля, например, в виде противоотжимных щитков.

Двухстоечные секции щитовой крепи на пластах небольшой мощности более удобны для ремонта, чем четырехстоечные, у которых вследствие стесненных условий крайне затруднена замена задних стоек. Требования к операторам, обслуживающим крепи с двухстоечными секциями, менее высоки, чем к операторам, обслуживающим четырехстоечные.

В то же время последние позволяют более просто добиваться полного прилегания перекрытия к кровле за счет регулирования распорного усилия передних и задних стоек.

При выборе конструктивной схемы щитовой крепи необходимо учитывать ожидаемые производственные условия. Ввиду большого числа факторов, оказывающих влияние на правильный выбор крепи, целесообразно составлять перечни исходных требований и анализировать предложения методом экспертных оценок.

4.4.2. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЩИТОВЫХ КРЕПЕЙ [21]

Щитовые механизированные крепи благодаря хорошим эксплуатационным качествам чрезвычайно быстро нашли широкое распространение в угольных шахтах ФРГ. Область их применения отличается широким диапазоном: по мощности пластов — от мощных до тонких, по углу падения — от горизонтально залегающих до 45°. Во всех этих условиях щитовые крепи в значительной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к механизированным крепям. Необходимое удельное рабочее сопротивление в 300 кН/м² обеспечивается во всех случаях, а во многих оно значительно выше. Кровля над рабочим пространством лавы надежно затягивается перекрытиями крепи и устройствами для защиты межсекционных зазоров. Лава хорошо изолируется от выработанного пространства. Конструкция крепи отличается высокой прочностью и мало подвержена повреждениям. Вывалы из кровли в меньшей степени, чем раньше, пре-

пятствуют нормальной работе крепи. Для лав с трудноуправляемыми породами кровли из песчаников имеются щитовые крепи с достаточно высоким (свыше 400 кН/м²) удельным рабочим сопротивлением.

Тем не менее оптимального управления кровлей пока еще достигнуть не удалось. Как показывают результаты производственных наблюдений, часто еще не удается обеспечить достаточно малое расстояние между передней кромкой перекрытия и забоем, необходимое при неустойчивой непосредственной кровле. В струговых лавах на участках большой протяженности вывалы пород занимают более 30% площади призабойной полосы кровли. Расстояние между забоем и концами перекрытий превышало на таких участках лав 85 см, в том числе из-за отжима угля. Первая точка контакта перекрытия с кровлей отстоит более чем на 40 см от концов призабойных консолей. Подобные же величины характерны и для комбайновых лав. Особую роль играет на мощных пластах отжим угля, вызывающий обнажение призабойной полосы кровли.

В связи с изложенным дальнейшее развитие механизированных крепей должно быть направлено на создание таких конструктивных схем, которые позволяли бы компенсировать увеличение расстояния между забоем и концами перекрытий и обеспечивали бы плотное прилегание всей поверхности перекрытия к неровной кровле. Следовательно, речь идет о необходимости разработки крепей с более совершенными средствами поддержания кровли в призабойной полосе. Требования к таким крепям ясны из схем (рис. 4.34).

Ниже рассмотрены четыре возможных пути решения этой проблемы (рис. 4.35), которые должны позволить обеспечить достаточное сопротивление призабойной консоли при наличии выступа в кровле над перекрытием без опасности опрокидывания секции. Для сравнения примем, что сопротивление секции крепи составляет 2000 кН. Задача состоит в том, чтобы прилегание консольной части перекрытия к кровле было возможно и в том случае, когда выступ в кровле находится в 60 см от передней кромки перекрытия секции щитовой крепи, имеющей принятую в настоящее время конструктивную схему.

Удлиненное основание (см. рис. 4.35, *а*). Передняя часть основания удлиняется на 60 см и заходит под конвейер. Благодаря этому секция крепи будет находиться в состоянии равновесия, но работа выемочной машины существенно усложняется.

Основание крепи с удлиненной завальной частью (см. рис. 4.35, *б*). Удлиняется задняя часть основания. Равновесие секции увеличивается в том случае, если вес обрушенных пород, находящихся на завальной части основания, способен противодействовать опрокидывающему моменту с усилием в 420 кН. Такое решение представляется вполне приемлемым при крупных кусках обрушенной породы.

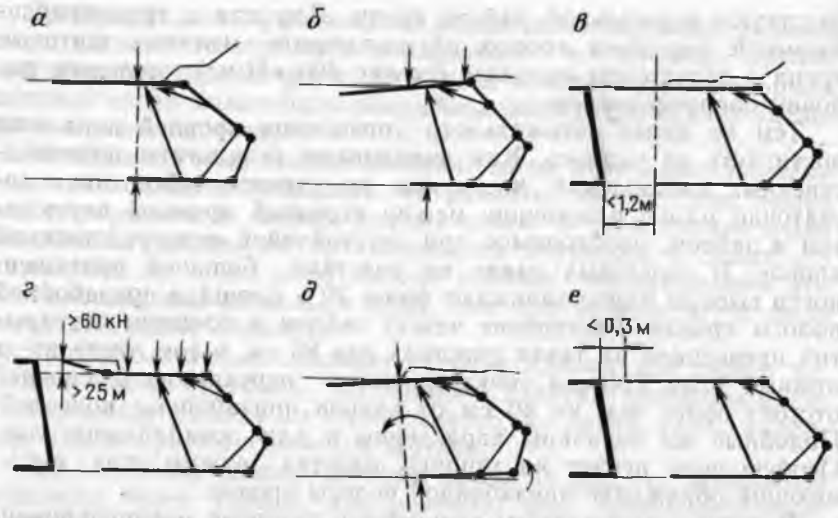


Рис. 4.34. Схемы, поясняющие требования к совершенствованию консольной части перекрытия щитовых крепей:

а—г — условия равновесия секции; *д, е* — неустойчивость секции при недостаточном трении между перекрытием и породами кровли

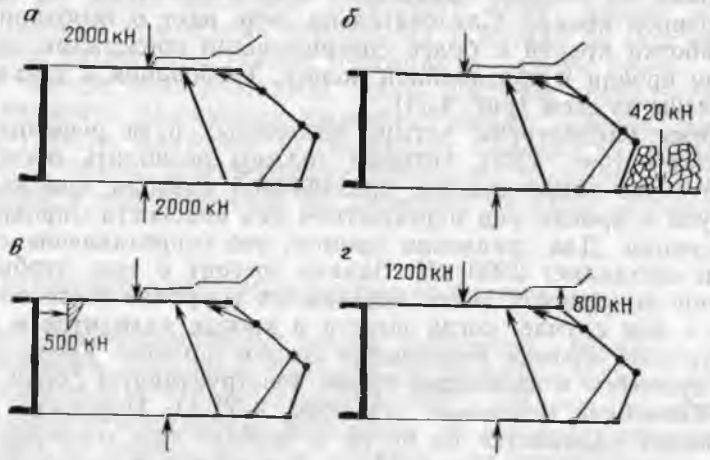


Рис. 4.35. Схемы к возможным техническим решениям повышения устойчивости секции щитовой крепи с удлиненным перекрытием

Опора секции крепи на забой (см. рис. 4.35, *в*). Секция крепи опирается призабойной консолью перекрытия на забой. Проблема состоит в том, чтобы секция крепи могла опираться на забой и во время прохода выемочной машины.

Опора секции крепи о кровлю (см. рис. 4.35, *г*). Секция крепи в задней части перекрытия дополнительно распирается в кровлю при помощи выдвижной опоры. Благодаря этому сек-



Рис. 4.36. Схемы возможных технических решений, направленных на уменьшение расстояния между забоем и передним концом перекрытия

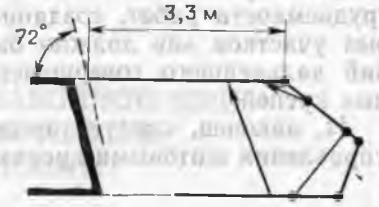


Рис. 4.37. Схема придания забою наклонного положения с целью предотвращения отжима угля

ция крепи становится достаточно устойчивой, даже если кромка выступа в кровле находится непосредственно над концом призабойной консоли.

Технические решения для обеспечения лучшего прилегания перекрытия к неровной кровле и уменьшения расстояния между забоем и концом консолей части перекрытия показаны на рис. 4.36. Два из них предусматривают использование призабойных консолей: поджимных выдвижных (см. рис. 4.36, *а*) и откидных (см. рис. 4.36, *б*). Уменьшить расстояние между забоем и передней кромкой перекрытия крепи можно также за счет перемещения на забой всего перекрытия (см. рис. 4.36, *в*).

Задача состоит в том, чтобы найти наиболее эффективное и в то же время наиболее простое с технической точки зрения решение.

Техническое решение проблемы консольной части перекрытия упростится, если можно будет отказаться от применения выдвижных или навесных консолей. Речь идет о том случае, когда с помощью выемочной машины забою будет придаваться форма, исключающая проявления отжима угля (рис. 4.37).

Малая подверженность щитовых секций крепи повреждениям при переходе через вывалы пород в кровле достигнута за счет увеличения массы крепи и ее конструктивного усложнения. Масса щитовой крепи составляет в настоящее время от 3,5 до 12 т на 1 м длины лавы. Поскольку стоимость механизированных крепей определяется прежде всего их массой, следовало бы попытаться снизить ее. Направления уменьшения массы крепи: более точное соответствие параметров крепи конкретным условиям эксплуатации, улучшение знания эксплуатационных качеств отдельных разновидностей механизированных крепей; уменьшение массы секций за счет более полного использования распорного усилия гидростоек (перехода на управление крепью с гарантированными начальным распором и рабочим сопротивлением).

На концевых участках лав применение щитовой крепи связано с особыми трудностями из-за повышенной склонности

кровли к вывалам, недостатком свободного места вследствие размещения там конвейерных приводов и необходимости согласования работы механизированной крепи с креплением концевых участков и выкладкой околоштрековой полосы. В связи с тем, что трудоемкость выполнения процессов и операций на концевых участках лав составляет примерно половину общей трудоемкости работ, создание специальных секций для концевых участков лав должно быть одним из основных направлений дальнейшего совершенствования щитовых механизированных крепей.

И, наконец, следует продолжать работы по автоматизации управления щитовыми крепями.

5. ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ*

5.1. ВЫВАЛЫ ПОРОД В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, НЕ ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ОЧИСТНЫХ РАБОТ [60]

Рассмотрим характер обрушения пород в призабойной зоне подготовительной выработки на примере проведения квершлага длиной 400 м комбайном бурового действия. Глубина заложения выработки 900 м. Форма поперечного сечения — круглая, диаметром 5,1 м. Квершлаг крепили кольцами из спецпрофиля GI100 и GI120 с четырьмя жесткими и одним податливым соединениями. Расстояние между кольцами 1,1 м. При их установке использовалась проволочная сетчатая затяжка. Расстояние между забоем и первым кольцом крепи колебалось от 2,3 до 7 м, составляя в среднем 4,2 м.

Во времени крепление отставало от проведения на 2—2,5 смены, или на 12—15 ч. Средняя скорость проходки составляла 12,2 м/сут.

Породы, по которым проходили квершлаг, были преимущественно устойчивыми, местами склонными к вывалам (рис. 5.1). Угол наслоения пород по отношению к оси квершлага составлял 9—13°. По протяженности квершлага были выделены три типа пород: *I* — породы, соответствующие по прочности глинистым сланцам и песчаникам, при наличии только параллельных напластованию плоскостей отдельности; *II* — те же породы, но с природной косой трещиноватостью, а также «кучерявчик» с поверхностями хрупкого излома размерами в несколько дециметров; *III* — угольные пласты, а также «кучерявчик», залегающий в почве пластов.

Для количественной оценки устойчивости кровли и боков квершлага были приняты следующие условные показатели KZ: отсутствие вывалов — $KZ=1$; отдельные вывалы — $KZ=2$; многочисленные крупные и высокие вывалы, занимающие не менее 20% площади поверхности кровли — $KZ=3$.

Зависимость показателя интенсивности вывалов из кровли квершлага в месте крепления от наличия в месте установки ближайшего к забою кольца крепи при различных породах характеризуется графиком (рис. 5.2).

---

* Авторы раздела О. Якоби и Н. Бушман.



Рис. 5.1. Характеристика пород по оси квершлага; стрелкой показано направление проведения выработки

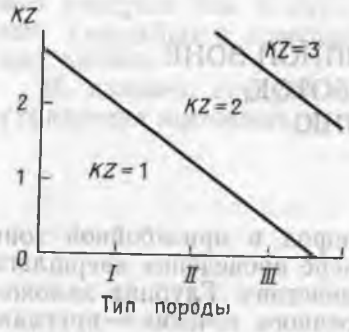


Рис. 5.2. График зависимости показателя интенсивности вывалов породы из кровли на незакрепленном участке от типа породы и наличия вывалов у последнего кольца крепи

При крупном вывале у ближайшего к забою кольца крепи и слабых породах в незакрепленной части выработки происходят, как правило, не менее крупные вывалы. Таким образом, в выработке со слабой кровлей после происшедшего однажды вывала дальнейшее вывалообразование предотвратить очень трудно. И, наоборот, если вывалы из кровли происходят редко или вообще не происходят, то при установке рам крепи можно особенно не опасаться вывалов даже при неустойчивых породах. В то же время при породах средней устойчивости или устойчивых наблюдаются лишь единичные мелкие вывалы (даже если у предыдущей рамы произошел крупный вывал).

Как видно из графика (рис. 5.3), указанные выводы справедливы также для вывалов пород из боков выработки (от свода до половины ее высоты).

Результаты проведенных наблюдений показывают, насколько важно предупреждать появление даже мелких вывалов, особенно при неустойчивых породах.

Интенсивность вывалов в зависимости от времени запаздывания крепления при различном расстоянии между забоем и последним кольцом крепи (длина незакрепленного участка) и типе пород характеризуется графиком (рис. 5.4). При неустойчивых породах крупные вывалы происходят через 2 сут, если длина незакрепленного участка соответствует 2,5-кратным расстояниям между рамами крепи. Если эта длина в два раза больше, то крупный вывал из кровли можно ожидать уже через 24 ч. В породах средней устойчивости крупный вывал из кровли возможен через 4 сут, если длина незакрепленного участка выработки в 4 раза больше расстояния между рамами.

Для каждого типа пород характерно свое «критическое время запаздывания крепления», которое, однако, зависит от дли-



Рис. 5.3. График зависимости показателя интенсивности вывалов породы из боков выработки на незакрепленном участке от типа породы и наличия вывалов у последнего кольца крепи

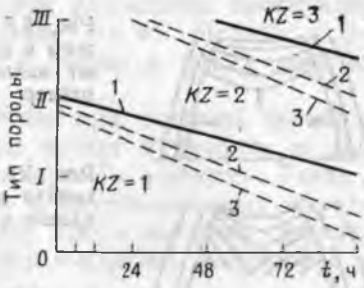


Рис. 5.4. График интенсивности вывалов породы из кровли *KZ* в зависимости от времени запаздывания крепления *t* при различных типах пород и длине незакрепленного участка выработки:

1, 2 и *3* — длина незакрепленного участка, равная соответственно 2,5; 4 и 5 расстояниям между рамами крепи

ны незакрепленного участка выработки. Критическое время запаздывания крепления и, следовательно, допустимое отставание во времени работ по креплению тем больше, чем меньше расстояние между забоем и последней рамой крепи. При небольшом времени запаздывания крепления длина незакрепленного участка выработки не играет существенной роли. Если же крепление выработки ведется с большим отставанием во времени, то длина незакрепленного участка выработки приобретает важное значение.

5.2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ

5.2.1. ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД В КРОВЛЕ И ПОЧВЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК [110]

Смятие и прогиб породных слоев. Под смятием породных слоев подразумеваются направленные параллельно напластованию пластические деформации сжатия.

Особенно часто явление смятия породных слоев наблюдается в кровле штреков на пологих пластах. В зоне, которая распространяется на глубину, достигающую двойной ширины выработки, с обеих сторон штрека нередко образуются вертикальные трещины. Отделенные от массива блоки пород смещаются в полость выработки, сжимая породные слои в кровле и почве выработки (рис. 5.5).

В мягких породах при сжатии породные слои в кровле штрека первоначально укорачиваются с образованием складки утолщения с округленной поверхностью (см. рис. 5.5, *а*). Если

5.5

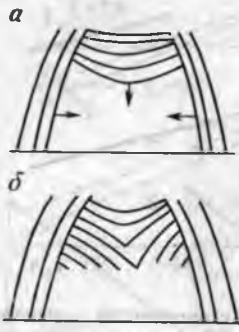
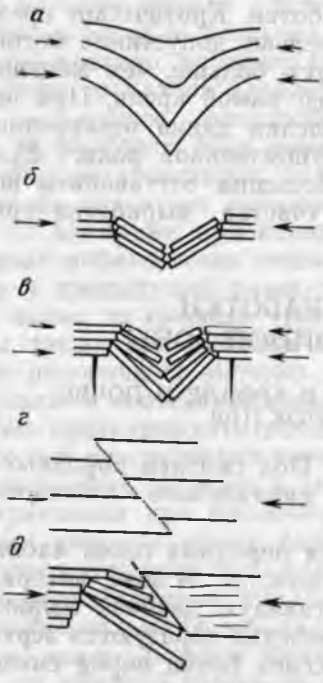


Рис. 5.5. Характер деформирования приконтурного в кровле штрека; деформации в почве имеют аналогичный, но зеркально отраженный характер

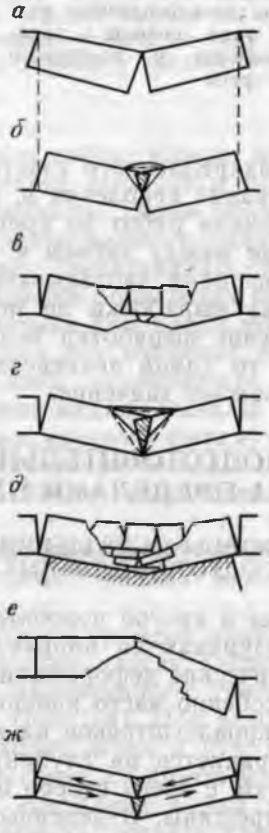
Рис. 5.6. Характер разрушения породных слоев кровли при продольном сжатии (возможны зеркально отраженные виды разрушения)

Рис. 5.7. Виды разрушения породных слоев кровли при изгибающей нагрузке

5.6



5.7



же деформация пород вокруг контура выработки продолжается (см. рис. 5.5, *б*) или ширина выработки невелика, то складка может стать остроугольной (рис. 5.6, *а*). Прочные породные слои при продольном сжатии прогибаются с изломом (рис. 5.6, *б*). Крылья складки остаются при этом плоскими. При образо-

вании плит неодинаковой длины или вследствие нарастающего бокового давления может произойти расслоение прогнувшихся в выработку породных слоев (рис. 5.6, *в*). Мелкие и более крупные складки обнаруживаются также в боках выработок при крутом залегании пластов.

Явление прогиба породных слоев при наличии перекрещивающихся систем трещиноватости может приводить к характерным для деформации сжатия хрупким изломам. Такие явления происходят особенно часто в крутонаклонных породных слоях. Образующиеся клиновидные блоки взаимно смещаются по наклонным плоскостям, что обусловливает увеличение толщины породного слоя.

При отсутствии перекрещивающихся трещин происходит надвиг разделенных косой трещиной частей породного слоя (рис. 5.6, *г*), который также может привести к расслоению (рис. 5.6, *д*).

Прогиб породных слоев с разломом. Если породный слой в кровле штрека подвержен нагрузке, то его боковые плоскости становятся вогнутыми (если смотреть снизу), а средняя часть выпуклой. При возможности бокового удлинения образуется А-образный излом (рис. 5.7, *а*).

Если же боковое удлинение частично ограничено, то верхняя зона породного слоя сминается (рис. 5.7, *б*) и образуется Х-образный излом с выдавленной вверх клиновидной частью, которая может быть причиной выдавливания в полость выработки нижележащего породного блока.

Х-образный излом в мягкой породе может быть тупоугольным. В таком случае породы в нижней зоне (зоне растяжения) обрушаются, а в верхней (зоне сжатия) разделяются на несколько блоков (рис. 5.7, *в*).

Если боковое удлинение полностью невозможно, то образуется V-образный излом (рис. 5.7, *г*). Клиновидный блок выдавливается вверх, отжимая вниз контактирующие с ним крылья складки.

При очень мягких породах и полной невозможности бокового удлинения (особенно при подпоре слоя другими мягкими породными слоями) широкий треугольный клин сильно раздавливается и выдавливается (рис. 5.7, *д*).

V-образный излом может быть опрокинутым, если происходит одностороннее опускание (например, в выемочном штреке или в кровле лавы). Породный слой в этом случае расслаивается и частично обрушается (рис. 5.7, *е*).

Клиновидный блок значительно уменьшается в размерах, если породный слой разделен параллельными напластованию трещинами (рис. 5.7, *ж*). Чем тоньше отдельные плиты, тем меньше утолщение деформируемого слоя. Такая форма разрушения наблюдается, в частности, при полностью ограниченном боковом удлинении и при выраженных плоскостях ослабления осадочного происхождения.

5.2.2. ФОРМЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МОДЕЛЯХ [87]

В разгруженных в горизонтальном направлении породных слоях, т. е. в слоях, разрезанных подготовительной выработкой, разрушение пород вызывается исключительно вертикальной составляющей горного давления. Разрушения пород могут происходить в виде излома по плоскостям сдвига (скалывания), хрупкого излома или же в смешанной форме. Вид разрушения зависит от геологического строения пород. При наличии в породных слоях плоскостей скольжения особенно велико выдавливание боков выработок (рис. 5.8).

В породных слоях, не разгруженных в горизонтальном направлении, т. е. в слоях, не разрезанных подготовительной выработкой, характер разрушения пород обусловлен воздействием горизонтальных составляющих горного давления. В них может наблюдаться образование складок (округлых, остро- и тупо-

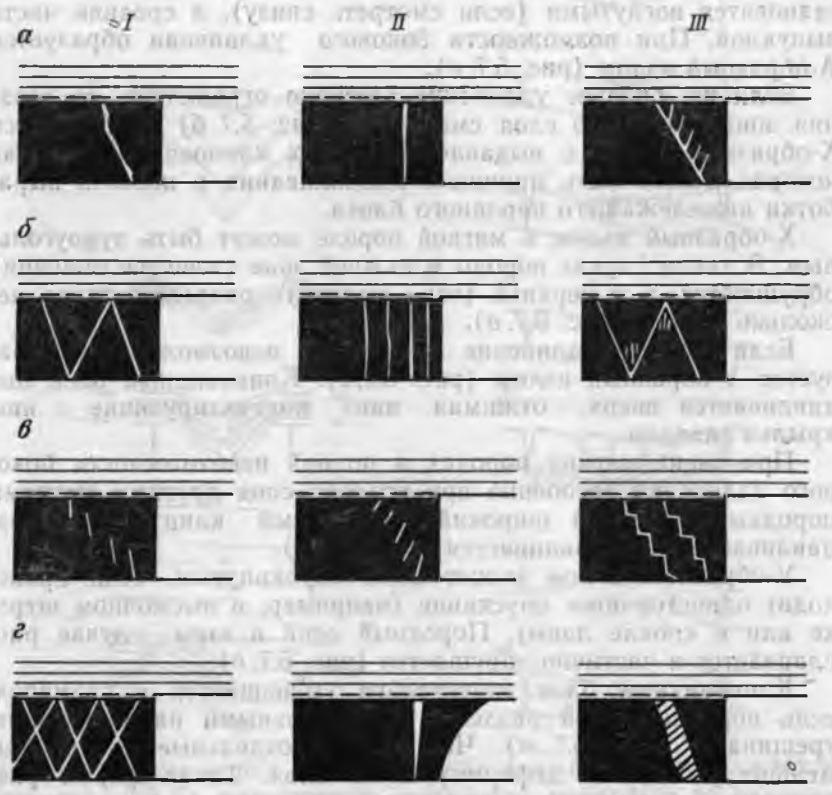


Рис. 5.8. Виды разрушения породных слоев, разрезанных контуром выработки, с изломами простыми (*а*), клиновидными (*б*), ступенчатыми (*в*) и пересекающимися (*г*):
I — по плоскости сдвига; *II* — хрупкие; *III* — смешанного вида

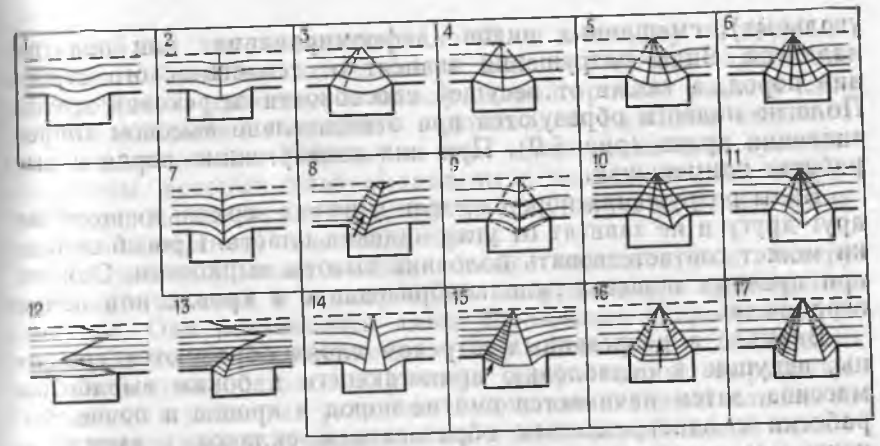


Рис. 5.9. Виды разрушения пород кровли (в породах почвы — их зеркальное отражение) с образованием:
1—6 — круглых складок без разрыва (*1*) и с разрывом сплошности в одном (*2*), двух (*3*), трех (*4*), четырех (*5*) и более (*6*) местах; *7—11* — острых складок с разрывом сплошности в одном (*7*), двух (*8*), трех (*9*), четырех (*10*) и более (*11*) местах; *12* — плоского надвига; *13* — надвига смешанного типа; *14—17* — тупых складок с разрывом сплошности в двух (*14*), трех (*15*), четырех (*16*) и более (*17*) местах

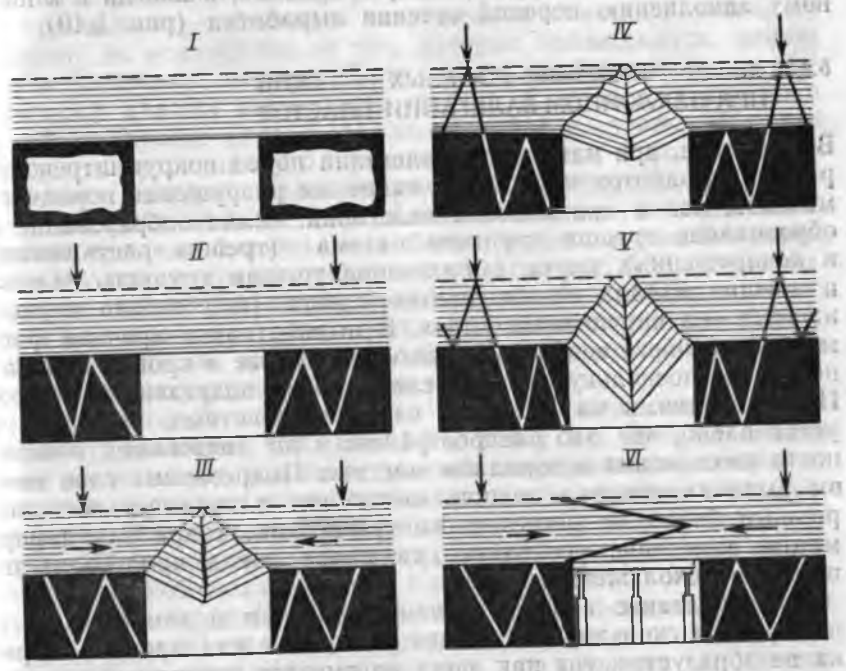


Рис. 5.10. Стадии развития (*I—VI*) деформации пород в кровле штрека; подобные же стадии наблюдаются в почве выработки

угольных), смешанных видов деформирования или пологих надвигов. Виды разрушения зависят от геологического строения пород, а также от несущей способности штрековой крепи. Пологие надвиги образуются при относительно высоком сопротивлении крепи (рис. 5.9). При них конвергенция пород в выработке наименьшая.

Виды разрушения пород кровли и почвы зеркально подобны друг другу и не зависят от угла падения пласта. Прогиб складки может соответствовать половине высоты выработки. Однако при прочных породах складкообразование в кровле или почве ограничено.

Вначале в разрезанных штреком слоях образуются трещины, ведущие к ослаблению прилегающего к бокам выработки массива, затем начинается смятие пород в кровле и почве выработки с одновременным образованием складок в кровле и почве или только в кровле либо почве. После того как породы кровли и почвы подвергнутся такого рода разгрузке от горизонтальных напряжений, трещины в массиве у боков выработки распространяются под действием нормального к напластованию давления в выше- и нижележащие слои. В определенных условиях там могут образоваться новые трещины. По плоскостям этих трещин происходит сдвижение породного массива, приводящее к увеличению размеров складок, а иногда и к полному заполнению породой сечения выработки (рис. 5.10).

5.2.3. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ ШТРЕКОВ ПРИ НАКЛОННОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТОВ

В принципе, при наклонном залегании пород вокруг штрекообразных выработок происходят такие же разрушения породного массива, как и при пологом залегании: складкообразование и образование трещин хрупкого излома (трещин растяжения) в ненарушенных слоях, образование трещин хрупкого излома и трещин излома по плоскостям сдвига (или только первых из них) — в нарушенных слоях. В выработках с арочной формой поперечного сечения складкообразование в кровле вначале невелико, поскольку незначителен пролет подрезанных пород. Исследованиями на моделях из эквивалентных материалов установлено, что оно распространяется до ближайшей поверхности скольжения в породном массиве. Подрезанные слои почвы выдавливаются в полость выработки в виде цельного породного блока, не рассеченного трещинами. Такой вид деформации возможен, поскольку сдвижение пород происходит по плоскости скольжения.

При контакте арочной крепи выработки в замке свода с плоскостью скольжения складок в породах над кровлей штрека не образуется, так как здесь не имеется плоскостей отдельности, а породы при малой ширине пролета не склонны к смятию. Правая опора арочной рамы находилась в модели на рас-

стоянии 5 см (что соответствовало 50 см в натуре) по нормали к напластованию находившейся в породах почвы плоскости скольжения. В промежутке между опорой арочной рамы и плоскостью скольжения имелись условия для развития высокого срезающего усилия. Поэтому в этом месте произошел срез пород почвы, которые были выдавлены в полость штрека с правой стороны. Такая картина деформации штреков типична для условий наклонного залегания пород.

Обе исследованные модели имели одинаковую структуру породного массива и подвергались нагружению в одинаковых условиях. Они различались лишь положением штрека относительно плоскостей скольжения. Это различие и послужило причиной столь разного характера деформации выработки. Поскольку в реальных условиях положение активной плоскости скольжения может изменяться на участках небольшой протяженности, оба вида деформации могут сменять друг друга в одной и той же выработке.

5.3. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

5.3.1. СРОК СЛУЖБЫ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА [68]

Трещинообразование и деформации контура выемочного штрека, проводимого с большим опережением очистного забоя, по существу не отличаются от тех, которые наблюдаются, например, в групповых штреках. Если лава *1* приближается к определенному участку выемочного штрека *А*, поддерживаемого в угольном массиве (рис. 5.11), то ее забой и угольный целик образуют внутренний угол угольного массива, в котором опережающее опорное давление невелико. Соответственно незначительны разрушающие деформации в штреке впереди лавы. Однако трещинообразование в боках штрека и смятие пород кровли и почвы все же наблюдаются (см. рис. 5.11, точка *А*). Если же выемочный штрек проводят общим забоем с лавой или с отставанием от нее, то такие явления первичной деформации вообще не происходят. Соответственно уменьшаются также и последующие разрушения.

После прохода лавы краевая часть пласта подвергается опорному давлению (см. рис. 5.11, точка *Б*), которое в зоне точки *Б* достигает величины, равной опережающему опорному давлению. Кровля пласта, опускающаяся в выработанном пространстве, опирается на угольный массив у забоя лавы и у штрека. При этом она может подвергнуться разрушению на относительно небольшие блоки. Кровля теряет значительную часть своей несущей способности и под действием опорного давления выдавливается в штрек. В боку штрека со стороны угольного массива могут возникнуть разрушения по плоскостям сдвига, по которым расчлененные глыбы угля и породы смещаются в штрек. При приближении второй лавы (см. рис.

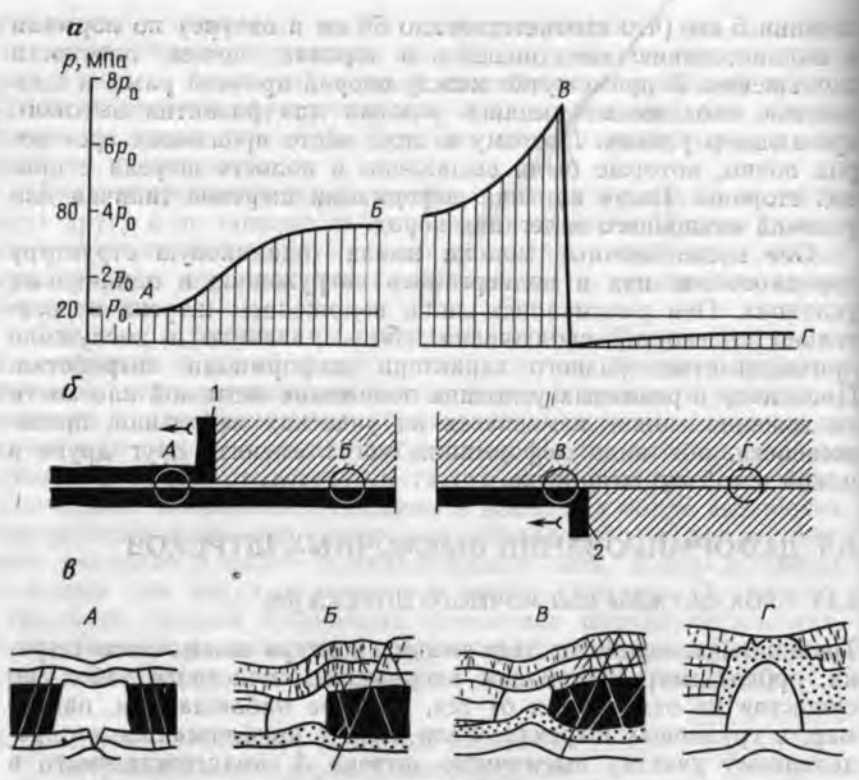


Рис. 5.11. Проявления горного давления в штреке, пройденном с опережением лавы:

а — график изменения горного давления по длине штрека; *б* — схема ведения горных работ; *в* — эскизы состояния штрека и деформации пород в точках *А, Б, В* и *Г* выработки

5.11, точка *В*) на опорное давление в краевой части пласта накладывается опорное давление, опережающее лаву, что приводит к увеличению давления примерно в два раза и росту деформаций выработки. Породный массив, разрушенный еще раньше при одностороннем опускании кровли, часто не удается удержать даже при весьма высокой несущей способности крепи.

Если штрек необходимо поддерживать после прохода второй лавы, то, несмотря на снижение горного давления, его приходится полностью перекреплять (см. рис. 5.11, точка *Г*); зачастую при большом высыпании пород из кровли.

5.3.2. РАССЛОЕНИЕ И ВЗАИМНОЕ СМЕЩЕНИЕ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ

При выемке пласта кровля лишается опоры. Слои непосредственной кровли отделяются от вышележащих пород и опускаются под действием собственного веса. Нижние слои основ-

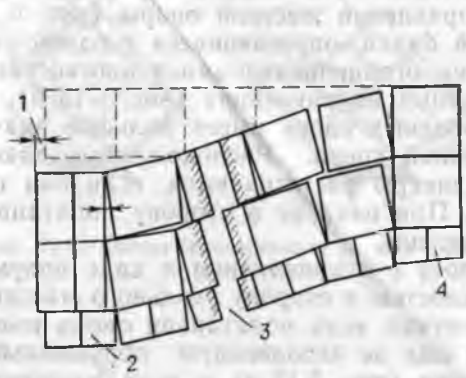


Рис. 5.12. Модель расслоения кровли, состоящей из прямоугольных блоков:

1 — удлинение балки; *2* — податливая опора (околоштрековая полоса); *3* — контрольная скважина; *4* — жесткая опора (угольный массив)

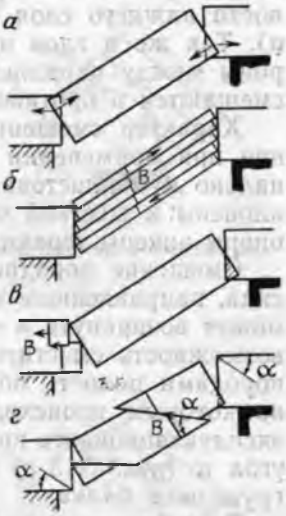


Рис. 5.13. Схемы смещения и продольного сжатия (смятия) породных слоев:

а — при осадке одной из опор; *б* — при разделении породной балки на отдельные слои с их взаимным смещением относительно друг друга; *в* — при сдвижении породных слоев в выработанное пространство над податливой опорой; *г* — при разрушении породной балки по наклонным плоскостям сдвига; *В* — ось скважины

ной кровли медленно оседают на опустившуюся непосредственную кровлю.

Расслоение пород, распространяющееся снизу вверх, вызывает искривление породных слоев, проявляющееся наиболее сильно в нижних слоях и постепенно исчезающее в верхних. Это обусловливает возникновение полостей между отдельными слоями.

Опускание нижних породных слоев, в особенности при креплении штреков деревом, и возникающее искривление вышележащих слоев бывают настолько большими, что они разрушаются и смещаются относительно друг друга (рис. 5.12). Подобный характер смещения слоев подтверждается данными наблюдений, проведенных в пробуренных в кровле штрека скважинах. Смещение породных слоев в кровле выработки, закрепленной рамной крепью, превышает 30 см, анкерной крепью — 10 см.

Слои смещаются в разных направлениях, в связи с чем ось скважины, пробуренной в кровле штрека, может иметь S-образное искривление. Как правило, нижние слои смещаются в сторону выработанного пространства, верхние — в сторону угольного массива. Хотя процесс обрушения кровли над выработанным пространством весьма многообразен, все же можно выявить некоторые закономерности смещения породных слоев над выемочным штреком. При S-образном опускании искривление в виде полумесяца должно произойти со стороны податливой опоры в боку штрека, в то время как нижняя поверх-

ность верхнего слоя сместится по отношению к верхней поверхности нижнего слоя в направлении жесткой опоры (рис. 5.13, *а*). Так же и слои прямой балки, опускающиеся с одной стороны между параллельными ограничивающимися плоскостями, смещаются в противоположных направлениях (рис. 5.13, *б*).

Характер смещения породных слоев имеет большое значение при применении анкерной крепи. Расположенные диагонально к напластованию анкеры растягиваются, если они наклонены к жесткой опоре. При наклоне в сторону податливой опоры анкеры теряют натяжение.

Смещение породных слоев с искривлением в виде полумесяца, направленным выпуклостью в сторону угольного массива, может возникнуть в том случае, если податливая опора имеет возможность сместиться в еще не заполненную обрушенными породами полость обрушения (рис. 5.13, *в*) и если плоскости, по которым происходит смещение (трещины природного или эксплуатационного происхождения), образуют с кровлей штрека угол α (рис. 5.13, *г*) или если слои прогибаются как малонагруженная балка.

Смещение породных слоев и, следовательно, разрыхление пород в кровле штрека можно предупредить, если его проходить с раскоской шириной в несколько метров, обеспечивая перемещение в нее зоны перекоса породных слоев и параллельное опускание пород над штреком в виде одного блока.

5.3.3. СМЕЩЕНИЕ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ КРОВЛИ ПРИ НАКЛОННОМ ЗАЛЕГАНИИ ПЛАСТА [127]

Смещение породных слоев в кровле выемочного штрека, проведенного по наклонному пласту, геометрически более сложно, чем на пологом падении.

Если породный блок (рис. 5.14, *а*) поворачивается вокруг точки A вследствие конвергенции на угол α, то точка B переместится в положение B^1. Такой поворот должен был бы вызвать смещение вверх по восстанию находящегося слева породного блока. Но этому препятствует расчленение поворачивающегося породного блока на слои, смещающиеся относительно друг друга (рис. 5.14, *б*). Поскольку поворот породного блока в кровле штрека вследствие конвергенции кровли пласта в лаве неизбежен, а подъем вышележащего породного блока невозможен, расслоение пород в кровле штрека предотвратить также невозможно.

Если вписать теперь в сместившиеся породные слои контур поперечного сечения выработки (рис. 5.14, *в*), то окажется, что в точке C подрезанный слой породы сместится в полость выработки, а в точке D раскроется трещина, поскольку подрезанный контуром выработки слой E не принимает участия в повороте породного блока.

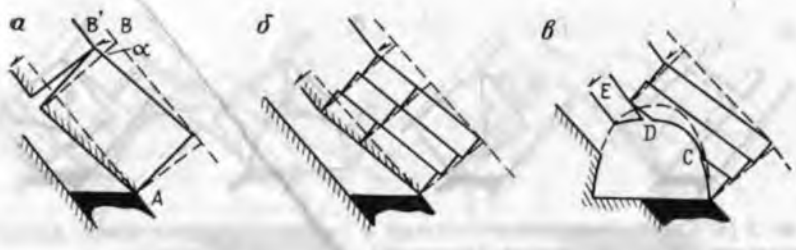


Рис. 5.14. Схемы конвергенции и деформации штрека на наклонном пласте



Рис. 5.15. Схемы деформации штрека на наклонном пласте при разломе породных слоев кровли

Для случая разлома кровли справедливы те же положения. Разлом кровли на два крупных блока (рис. 5.15, *а*) должен был бы вызвать смещение вверх по восстанию пласта вышележащего породного блока (рис. 5.15, *б*). Но поскольку это невозможно, отделившиеся блоки разделяются на слои, смещающиеся относительно друг друга (рис. 5.15, *б*). В результате разлому кровли не препятствуют никакие другие факторы, кроме собственной прочности пород. Если же теперь вписать в сместившиеся породные слои контур поперечного сечения штрека (рис. 5.15, *в*), то опять в точках *C* и *D* появляются остроугольные выступы, находящиеся в полости выработки.

Расслоение пород в кровле выработки можно рассматривать как последствия смятия породного блока. Вместо разделения пород на отдельные слои может произойти выдавливание в полость штрека клиновидного породного блока (рис. 5.16). Клиновидные смещения могут возникнуть также при наличии двух систем пересекающихся трещин.

Величина смещения породных слоев зависит от радиуса изгиба кровли и, следовательно, от прочности пород. Для прочных пород характерны больший радиус и меньшая величина смещения породных слоев. Мягкие породы искривляются в большей степени, с бо́льшими относительными смещениями по плоскостям наслоения. Перевод зоны смещения породных слоев

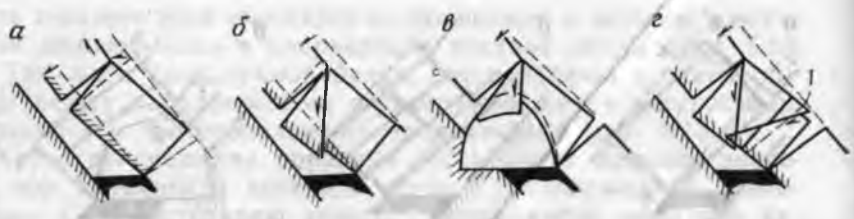


Рис. 5.16. Схемы продольного сжатия и смятия породных слоев кровли с выдавливанием клиновидных блоков при наклонном залегании:

а — поворот породного блока без смещения по косой плоскости среза; *б* — поворот породного блока со смещением по косой плоскости среза; *в* — выдавливание клиновидного блока в полость выработки; *г* — образование двух клиновидных блоков; *1* — скважина

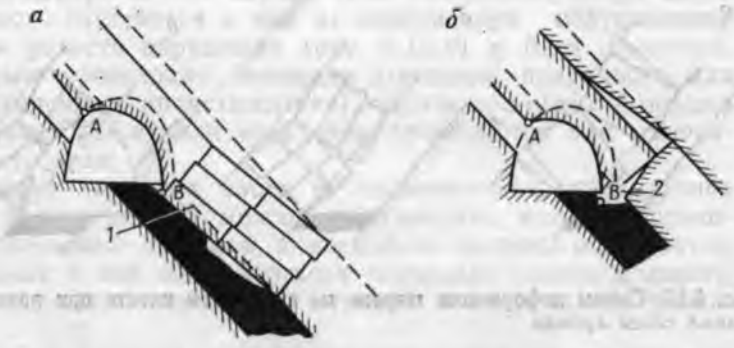


Рис. 5.17. Схемы деформации приконтурного породного массива без смещения по плоскостям напластования:

1 — щель, параллельная напластованию, или нижняя раскоска; *2* — отрезная щель

за пределы лавы и штрека можно осуществить путем прорезки щели в нижнем боку штрека или проведении его с нижней раскоской (рис. 5.17, *а*), предотвращая S-образный изгиб кровли под штреком. Благодаря этому нагрузка значительно снизится. Дальнейшая возможность достижения уменьшения нагрузки заключается в образовании отрезной щели (рис. 5.17, *б*).

На рис. 5.18, *а* показан штрек со сместившимися породами кровли, закрепленный податливыми арочными рамами. Выдавленный за контур поперечного сечения выработки остроугольный породный блок *C* оказывает боковое давление, деформирующее раму крепи. Породный блок, не участвующий в деформации крепи, совместно с выдавленным в полость штрека остроугольным блоком *D*, определяет просадку крепи. Из-за этого в зоне *F* образуется полость между породами и крепью, в результате чего создается возможность прогиба и последующего разлома породных слоев. Такой недостаток может быть устранен при использовании крепи, показанной на рис. 5.18, *б*. Податливость имеет только прямолинейный сегмент крепи, арочная часть *AB* выполняется жесткой. Выдавливаемый в штрек остроугольный клиновидный блок *C* рекомендуется под-

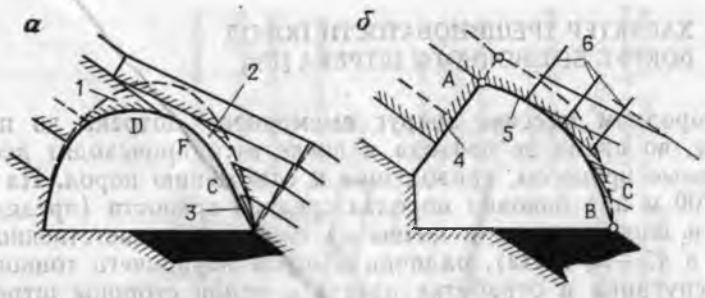


Рис. 5.18. Схемы крепления штрека:

1 — осадка кровли, определяющая степень податливости крепи; *2* — полость между контуром выработки и крепью; *3* — место деформирования крепи; *4* — податливый сегмент крепи; *5* — жесткая арочная часть крепи; *6* — анкеры

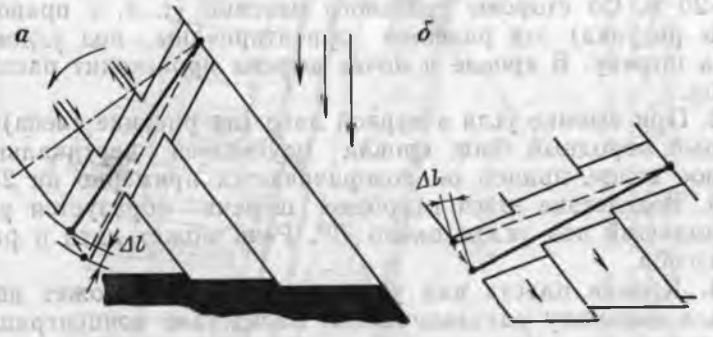


Рис. 5.19. Схемы расположения анкеров, приводящие к уменьшению их натяжения

резать, с тем чтобы не подвергать крепь ненужной деформации. При осадке арочная часть рамы не отходит от пород кровли. Разлом взаимно сместившихся породных слоев предупреждается анкерами, пробуренными по нормали к напластованию. Следует отметить, что такая крепь не учитывает другие факторы, такие, в частности, как слишком мягкая почва.

Если анкеры устанавливают под бóльшим чем 90° углом к напластованию (рис. 5.19, *а*), то при повороте ближайшего к штреку блока пород в кровле происходит уменьшение длины шпура на величину Δl, ведущее к ослаблению натяжения анкера.

При выемке угля в нише кровля опускается. Анкер ослабляется в том случае, если он установлен под углом к напластованию меньше 90° (рис. 5.19, *б*). Для поддержания кровли на участке сопряжения с лавой целесообразно устанавливать анкеры под несколько бóльшим чем 90° углом к напластованию (см. рис. 5.19, *а*) и подтягивать их сразу же после выемки угля в машинной нише. Действие веса пород кровли после выемки угля из ниши ведет к удлинению анкерного шпура, способствуя дальнейшему натяжению анкера.

5.3.4. ХАРАКТЕР ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД ВОКРУГ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА [104]

В породном массиве вокруг выемочного штрека до подхода лавы, во время ее прохода и после него происходят деформационные процессы, приводящие к сдвижению пород. На глубине 700 м при боковых породах средней крепости (предел прочности пород кровли и почвы на сжатие соответственно 100—600 и 45—70 МПа), наличии в почве нерабочего тонкого пласта-спутника и отработке пласта с одной стороны штрека наблюдаются следующие явления (рис. 5.20).

1. Опережающее лаву опорное давление создает систему разломов, распространяющуюся в обе стороны от штрека на 15—20 м. Со стороны угольного массива (т. е. с правой стороны рисунка) эти разломы ориентированы под углом 25—35° к штреку. В кровле и почве штрека происходит расслоение пород.

2. При выемке угля в первой лаве (на рисунке слева) монолитный породный блок кровли опускается вертикально как единое целое, причем он поворачивается примерно на 20°.

3. Вследствие этого в кровле штрека образуется разлом, проходящий под углом около 70°. Речь может идти о разломе от изгиба.

4. Кровля пласта над угольным массивом может подвергнуться сильному раздавливанию. Вследствие концентрации напряжений возможно дальнейшее развитие разломов.

5. Одновременно происходит выдавливание угля в полости штрека, из-за чего при слабой непосредственной кровле пласта могут образоваться разломы с зияющими трещинами. Расчлененные этими разломами породные глыбы смещаются относительно друг друга. Образуются зоны скалывания с S-образными вторичными разломами.

6. В породах почвы образуются сбросовые трещины.

7. Почва штрека, уже сильно ослабленная расслоением пород, под действием надвига разрушается.

8. По форме обломков можно было сделать вывод, что наиболее сильно сдвигаются породы вдоль пласта-спутника справа от штрека.

9. Полностью развивается сдвижение пород вокруг штрека, подобное тому, которое наблюдается в сыпучих грунтах в соответствии с условием Прандтля.

5.3.5. ДЕФОРМАЦИИ ШТРЕКА ПЕРЕД ВТОРОЙ ЛАВОЙ

Опорное давление над краевой частью пласта после прохода первой лавы разрушает угольный массив в определенных условиях на глубину до 20 м. Исследования на моделях из эквивалентных материалов показали, что в зависимости от наличия

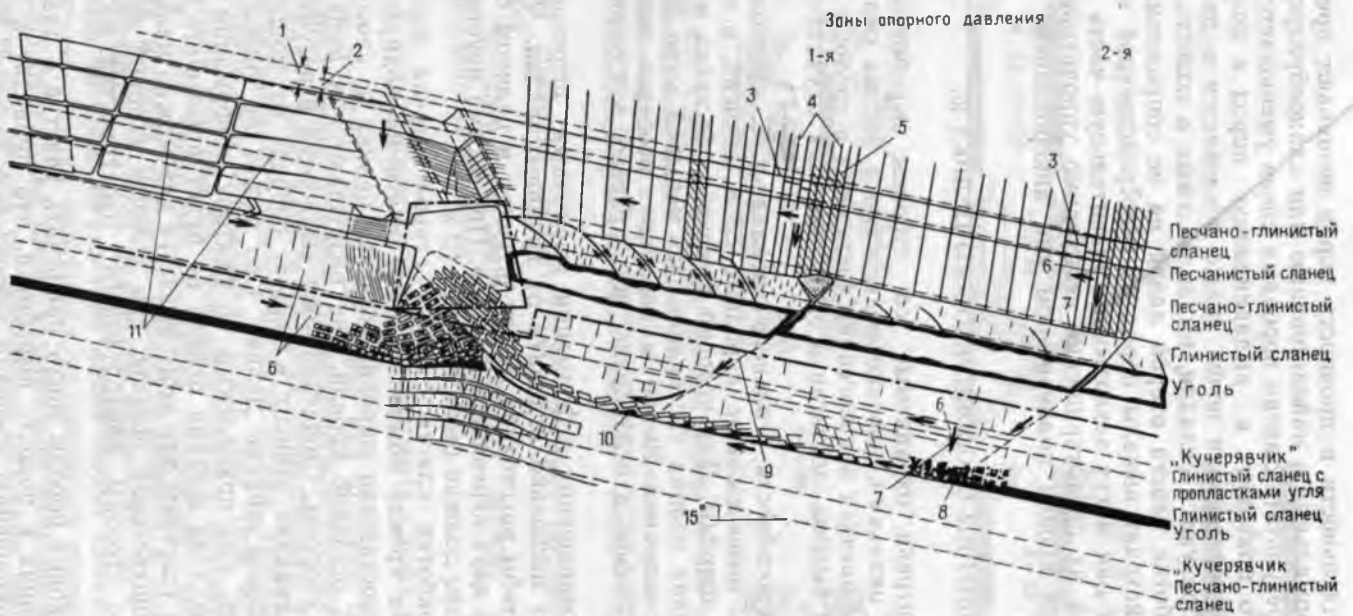


Рис. 5.20. Характер сдвижения и разрушения породного массива вокруг выемочного штрека (по И. Грамбергу):

1 — общее опускание; *2* — осадка; *3* — различаемые в зоне обрушения плоскости отрыва; *4* — первичные разломы в направлении действия давления; *5* — S-образные плоскости вторичных разломов; *6* — смятые породные блоки; *7* — оседание в результате смятия пород; *8* — смятый пласт-спутник; *9* — сбросовая трещина; *10* — полностью разрушенный уголь пласта-спутника; *11* — породные блоки

плоскостей отдельности и прочности пород возникают преимущественно нормальные к напластованию или клинообразующие трещины. В результате смятия породных слоев уменьшается их мощность, что приводит к выдавливанию пород в полость штрека. Непосредственная почва также вовлекается в движение. В ней образуются складки, выдавливаемые в полость.

При отработке пласта второй лавой на ее сопряжении со штреком происходят вывалы пород из непосредственной кровли. При этом они могут захватывать значительную часть длины лавы. Для их предотвращения необходимо упрочнение непосредственной кровли полиуретаном или анкерованием.

5.3.6. ВЫБОР ШИРИНЫ ОКОЛОШТРЕКОВОГО ЦЕЛИКА [5]

Выемочные штреки, охраняемые со стороны выработанного пространства целиками, нередко подвергаются весьма сильной деформации. Конечная конвергенция составляет в среднем 65% их начальной высоты, достигая в экстремальных случаях 80% и более.

Несущая способность угольного целика, т. е. способность поддерживать вышележащие породные слои, зависит, в частности, от его ширины. Для условий Рурского бассейна минимальная ширина целика составляет по меньшей мере 20 м. При целиках шириной 20—40 м давление особенно велико, поэтому разрушение и ослабление их краевых зон особенно значительны.

Для предотвращения деформации выемочных штреков их целесообразно несколько отдалить от границы целика. Часто достаточно, чтобы расстояние между штреком и целиком было равно ширине двух деревянных костров. При весьма неустойчивых породах оно должно быть не менее 10 м.

После отработки пласта с обеих сторон штрека верхние породные слои кровли обычно оседают почти на полную его мощность. Недостаточно широкие угольные целики не способны предотвратить оседание кровли, они разрушаются и выдавливаются в обе стороны. Смещение бока выработки в результате такого выдавливания зависит в первую очередь от мощности пласта и особенно ширины целика. Оно может не превышать 20%, т. е. быть еще приемлемым по фактору деформации рам арочной крепи, если ширина целика не будет превышать 2 м. Необходимым условием для этого является как можно меньшая ширина околоштрековой полосы, при помощи которой штрек охраняется со стороны выработанного пространства второй лавы.

Мягкие боковые породы могут принимать участие в пластических смещениях в полость выработки, что приводит к значительному сокращению площади поперечного сечения. В полость выработки выдавливаются породы и уголь, объем кото-

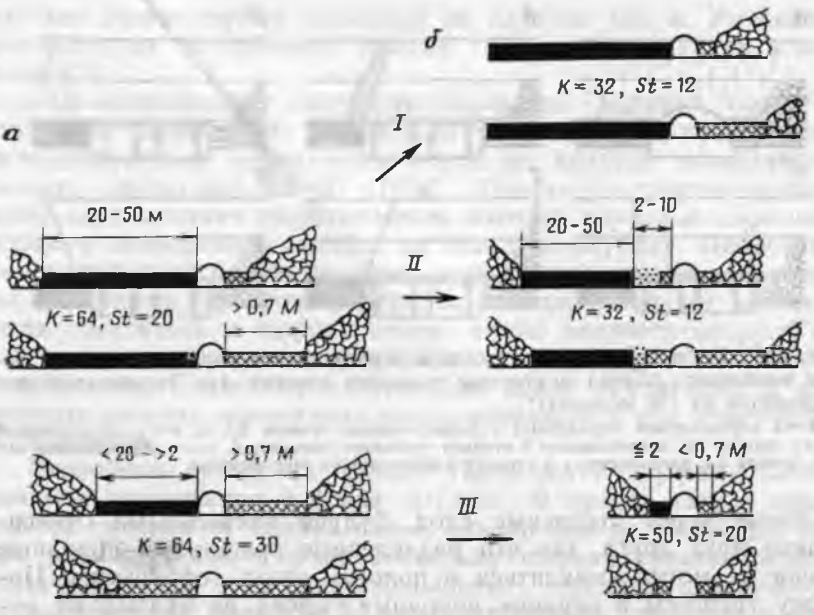


Рис. 5.21. Схемы, поясняющие влияние ширины целика на состояние пройденного с опережением лавы штрека:

а — неблагоприятные; *б* — благоприятные (*I* — увеличение ширины целика; *II* — проведение штрека с раскоской; *III* — уменьшение ширины целика и околоштрековой полосы); *K* — конвергенция, %; *St* — сближение боков, %; *M* — мощность пласта, м

рых примерно соответствует половине объема угольного целика.

Рассмотренные выше положения можно иллюстрировать следующими схемами (рис. 5.21).

5.3.7. ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ КРОВЛИ

При оседании кровли за лавой над штреком образуется S-образная линия прогиба, приводящего к растягивающим напряжениям. Если кровля сложена относительно тонкими слоями, разделенными плоскостями скольжения, прогиб может распространяться в относительно узкой зоне. При мощных же слоях кровли или при наличии шероховатых контактов между слоями зона трещинообразования достигает большой высоты. На моделях трещины распространяются в породы кровли на расстояние до трех диаметров выработки. Хотя внешний контур зоны трещинообразования имеет форму свода, этот контур не образует свода обрушения, остающегося после завала штрека. Свод обрушения имеет значительно меньшие размеры; на моделях его высота не превышала половины ширины выработки. Трещиноватые породные слои над сводом обрушения поддерживаются за счет бокового распора, а трещины не проходят

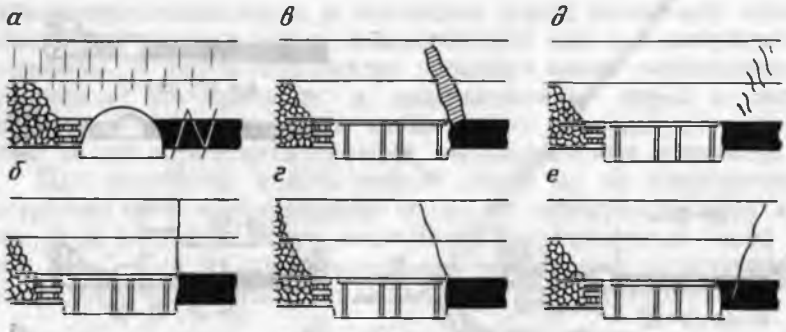


Рис. 5.22. Виды разрушения нижних и верхних слоев пород кровли над боком выемочного штрека со стороны угольного массива (по результатам экспериментов на 130 моделях):

а, б — с образованием нормальных к напластованию трещин R2; *в, г* — с образованием косых трещин R3, направленных в сторону угольного массива; *д, е* — с образованием косых трещин R4, направленных в сторону выработанного пространства

насквозь через отдельные слои, будучи смещенными относительно друг друга, так что разделенные трещинами породные блоки не могут вывалиться в полость свода обрушения. Поэтому трещины в верхних породных слоях не оказывают совсем или оказывают весьма малое влияние на давление, действующее на очистные выработки. Однако прогиб кровли обусловливает повышенную конвергенцию в штреке; при весьма растянутой S-образной кривой прогиба конвергенция штрека соответственно мала. Трещины в почве из-за меньшего прогиба выражены в меньшей степени.

На модели с достаточно большим трением на контактах между слоями трещины появляются лишь над боком выработки со стороны угольного массива. С противоположной стороны трещины образуются над выработанным пространством.

Другие виды разрушения пород кровли, которые могут распространяться на высоту, в несколько раз превышающую ширину штрека, показаны на рис. 5.22.

5.4. ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И КРЕПИ ШТРЕКА НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД

5.4.1. КРЕПЬ С ЗАМЕДЛЕННЫМ И БЫСТРЫМ ВОСПРИЯТИЕМ НАГРУЗКИ

Влияние быстроты восприятия крепью нагрузки на характер разрушения пород исследовалось на модели, имитировавшей четырехзвенную арочную крепь в штреке. Вмещающие породы — слабые, со многими плоскостями скольжения. Заполнение закрепного пространства плохое. Вначале крепь еще не оказывает сопротивления сдвижению пород; породы по контуру выработки удерживаются сами по себе. Напряжения в породном

массиве соответствуют давлению на глубине 450 м. Уменьшение площади поперечного сечения штрека составляет всего лишь 1%.

При напряженном состоянии породного массива, соответствующем глубине 750 м, удельное сопротивление крепи, противодействующее деформации пород на контуре поперечного сечения, составляет 40—80 кН/м². Однако со стороны почвы крепь не оказывает сопротивления, поэтому породные слои под штреком подверглись смятию на большую глубину. Подрезанные выработкой породные слои (в ее боках) сильно расчленены трещинами. Трещины раскрыты, поскольку породы должны были сместиться в сторону крепи, чтобы получить опору. Такая крепь оказывает сопротивление смещению пород с большим запозданием. Поскольку нагрузка на крепь прилагается в отдельных точках, деформация крепи возможна и при небольших ее величинах.

Повторная пригрузка модели увеличивает пучение пород почвы и разрушения в боках штрека. В кровле также появляются складки от смятия слоев, однако они не достигают таких размеров, как в почве, поскольку ширина пролета неподрезанных слоев невелика. Уменьшение площади поперечного сечения штрека равно 42% (при отсутствии пучения почвы 24%).

Для сравнения исследовалась модель штрека с арочной формой поперечного сечения, крепь которого была усилена установкой анкеров длиной по 2,5 м. Плотность установки — 1,5 анкера на 1 м². Анкеры упрочняют породы на контуре выработки, действуя как мгновенно воспринимающая нагрузку крепь (в противоположность рамной арочной крепи, рассмотренной в предыдущем случае).

При последующем увеличении нагрузки трещины в боках штрека хотя и появляются, но они не раскрываются. Бока штрека сохраняют свою несущую способность, правда, в меньшей чем ранее степени.

Увеличение несущей способности пород по контуру выработки за счет анкерования массива заметно по более интенсивным, чем при рамной арочной крепи, смятию и выдавливанию пород почвы и вдавливанию в почву упрочненных боков штрека.

Таким образом, деформация и разрушение пород по контуру штрека зависят от вида крепи (с замедленным или быстрым восприятием нагрузки) и от величины ее несущей способности.

Плохое заполнение закрепного пространства приводит к разрушению пород на контуре выработки и снижению несущей способности рамной арочной крепи вследствие неравномерного приложения нагрузки. Из этого вытекает следующий вывод: закрепное пространство необходимо заполнять твердеющими смесями механизированным способом.

5.4.2. СРАВНЕНИЕ ШТРЕКОВ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И АРОЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Свод, образующийся в слоистых породах при проведении выработки арочного поперечного сечения, соответствует искусственному своду в архитектуре, в котором консоли создаются за счет выступов плит. Такие консоли уменьшают ширину пролета верхних сплошных породных плит. В условиях подземных выработок это обеспечивает значительное уменьшение смятия пород кровли и, следовательно, меньшую конвергенцию.

На двух одинаковых моделях при нулевом сопротивлении крепи конвергенция в штреках с прямоугольной и арочной формой поперечного сечения составляла соответственно 50 и 10 см. Так как арочные выработки имеют, как правило, бóльшую высоту, чем прямоугольные, различие в относительной конвергенции еще более значительно.

При установке в штреке с прямоугольной формой поперечного сечения рамной крепи несущей способностью $A=100$ кН/м² конвергенция в выработке уменьшается до величины, равной конвергенции в выработке с арочной формой поперечного сечения без крепи (т. е. при $A=0$). Следовательно, одно лишь арочное сечение обеспечивает такую же несущую способность контура выработки, как рамная крепь в выработке прямоугольной формы при $A=100$ кН/м². Следует отметить, что подпорное действие консолей по мере развития деформации породного массива прекращается из-за их облома. Арочная форма поперечного сечения штрека превращается в прямоугольную.

Смятие породных слоев кровли над штреком прямоугольной формы можно предотвратить повышением несущей способности крепи до $A=200$ кН/м². В выработке арочной формы образования складок в кровле можно избежать при упрочнении кровли тремя анкерами. Эти три анкера заменяют, таким образом, поддерживающую рамную крепь несущей способностью $A=350$ кН/м².

5.4.3. СРАВНЕНИЕ КРЕПЕЙ БЕЗ ОБРАТНОГО СВОДА И С НИМ [63]

При моделировании для получения количественных показателей горного давления можно использовать задаваемые величины сопротивления крепи. Для этого была проведена серия экспериментов на модели, в которой использовали «пневмобаллонную крепь». В выработках круглого поперечного сечения для удобства измерений вместо металлической крепи устанавливали воздушную подушку, в которой поддерживали постоянное заранее заданное давление. Под действием давления на контуре выработки воздух из подушки вытесняет определенное количество воды из весьма несложного устройства. По объему

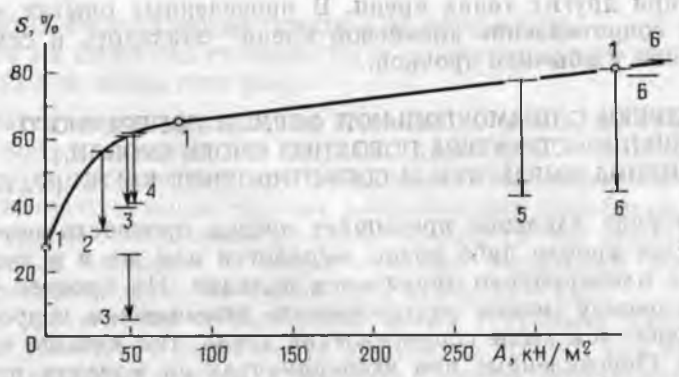


Рис. 5.23. График зависимости остаточной площади поперечного сечения выработки S от удельного сопротивления крепи A различных типов:

1 — «пневмобаллонной»; *2* — арочной с анкерованием кровли; *3* — арочной; *4* — арочной на кострах; *5* — арочной с анкерованием почвы; *6* — кольцевой

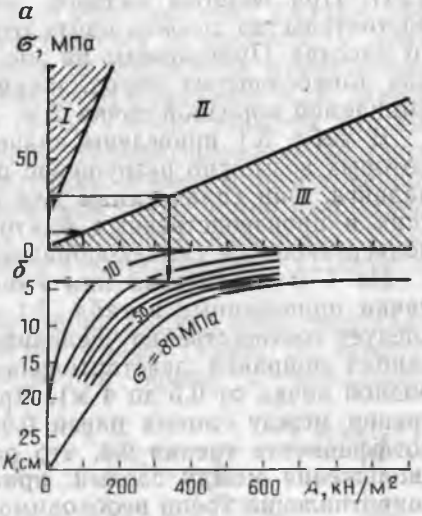


Рис. 5.24. Графики условий появления складкообразования *I*, смешанных форм разрушения *II* и разрушений по пологим плоскостям надвига *III* при различной прочности пород на сжатие σ (*а*) и зависимости конвергенции K от удельного сопротивления крепи A (*б*)

вытесненной воды можно определить уменьшение площади поперечного сечения выработки в модели.

Различное сопротивление крепи почти не влияло на время появления первых признаков разрушения породного массива вокруг выработки. Однако оно весьма сильно сказывалось на последующем уменьшении площади поперечного сечения выработки под действием имитировавшегося на модели опережающего опорного давления. Графически зависимость остаточной площади поперечного сечения выработки от сопротивления крепи представляет собой пологую кривую (рис. 5.23). Если на график нанести замеренные значения остаточных площадей сечения выработки, с крепью различных типов, то можно определить сопротивление кольцевой крепи, при котором площадь сечения выработки уменьшается на ту же величину,

что и при других типах крепи. В проведенных опытах эффективное сопротивление кольцевой крепи оказалось в семь раз выше, чем у обычной арочной.

5.4.4. ШТРЕКИ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ: СТРУКТУРА ПОРОДНЫХ СЛОЕВ КРОВЛИ, ШИРИНА ВЫРАБОТКИ И СОПРОТИВЛЕНИЕ КРЕПИ [87, 134]

Если горное давление превышает предел прочности пород, то в породах кровли либо почвы выработки или же и в кровле и в почве одновременно образуются складки. На процесс складкообразования можно воздействовать повышением сопротивления крепи: чем выше сопротивление крепи, тем меньше конвергенция. Определенные при экспериментах на моделях пределы появления обеих форм деформации видны из графика (рис. 5.24). При пологом надвиге конвергенция наименьшая. Это обстоятельство должно найти отражение на состоянии породного массива. Приведенные на рис. 5.24 кривые справедливы лишь для тонкослоистых пород, ширины штрека 3,2 м и толщины сминаемой породной пачки 2 м.

В табл. 5.1 приведены значения сопротивления крепи, при которых возможно разрушение породных слоев в виде пологого надвига. Они справедливы для широкого диапазона геологических и производственных факторов, но лишь при мощности подвергающейся складкообразованию пачки пород 2 м.

На 1 м увеличения или уменьшения мощности породной пачки приведенные в табл. 5.1 значения сопротивления крепи следует соответственно увеличить или уменьшить на 20% (указанная поправка действительна для диапазона мощности породной пачки от 0,5 до 4 м). Предполагается, что коэффициент трения между слоями равен 0,9. В экстремальном случае при коэффициенте трения 0,3, что равноценно наличию плоскостей скольжения между слоями, приведенные в табл. 5.1 значения сопротивления крепи необходимо удвоить.

Таблица 5.1

Предел прочности пород на сжатие, МПа	Удельное сопротивление крепи (кН/м²) при ширине выработки, м			
	3	4	6	9
10	100/50	100/50	100/50	50/50
20	200/50	200/50	200/50	150/50
30	350/50	300/50	250/50	200/50
40	450/50	400/50	350/50	300/50
50	600/100	550/50	500/50	450/50
60	700/150	650/100	600/50	550/50
70	800/200	750/150	700/100	650/50
80	950/300	850/250	800/200	750/100

Примечание. В числителе для толщины отдельных породных слоев 2 см, в знаменателе — 20 см при общей мощности пачки 2 м.

5.4.5. ЗОНА РАЗРЫХЛЕНИЯ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕПИ ПО А. Х. ВИЛЬСОНУ [154]

Рассматривается воздействие штрековой крепи по теоретическим представлениям для штрека диаметром 4 м в изотропном породном массиве при равномерном всестороннем давлении, соответствующем глубине расположения выработки.

Путем экстраполяции предела прочности σ_D одноосно нагруженных образцов с возрастающими размерами получили, что прочность пород на одноосное сжатие $S_0 \sim \sigma_D/5$.

На достигнутых в настоящее время глубинах разработки горное давление в окрестности выработки бывает, как правило, выше прочности породы в массиве. Породы разрушаются, образуется зона разрыхления. С увеличением расстояния от штрека прочность пород благодаря всестороннему сжатию увеличивается, одновременно увеличивается и давление, и лишь на достаточно большом удалении от выработки напряженное состояние массива снова становится нормальным для данной глубины. Зона разупрочненных пород служит защитой для выработки и облегчает ее проведение. Однако образование такой зоны является причиной конвергенции. Размеры разгруженной от горного давления зоны, называемой также зоной разрыхленных пород, зоной пластических деформаций или зоной Тромпетера и определяющей величину конвергенции, зависят от вида штрековой крепи.

О влиянии сопротивления крепи на радиус зоны разрыхления в породах средней прочности можно судить по графику (рис. 5.25, *а*). На глубине 1000 м при крепи с небольшим

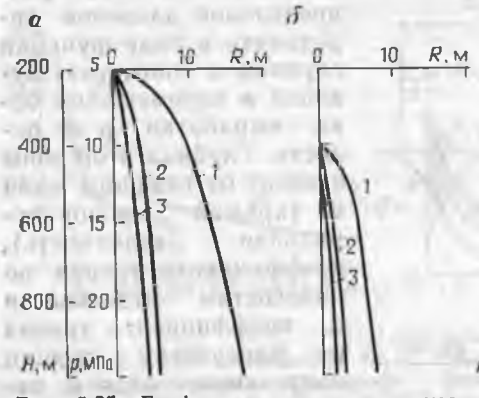


Рис. 5.25. Графики изменения радиуса разрыхленной зоны R на различной глубине разработки H при породах средней крепости (*а*) и крепких (*б*):

1—3 — удельное сопротивление крепи соответственно 0,01; 0,1 и 0,2 МПа

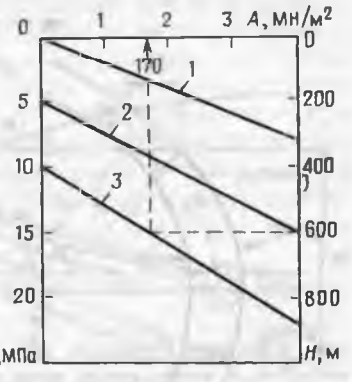


Рис. 5.26. Сопротивление крепи A, требуемое для предотвращения разрушения приконтурного массива, при горном давлении p, соответствующем глубине H, в породах:

1 — слабых; *2* — средней прочности; *3* — крепких

удельным сопротивлением радиус зоны разрыхления может достигать 15 м, уменьшаясь до 6 м при крепи с удельным сопротивлением 0,1 МН/м². При этом повышение сопротивления крепи с 0,01 до 0,1 МН/м² оказывает намного больший эффект, чем дальнейшее повышение с 0,1 до 0,2 МН/м².

Аналогичные зависимости получены для прочных пород (рис. 5.25, *б*). На глубине 800 м повышение сопротивления крепи с 0,01 до 0,1 МН/м² обеспечивает уменьшение радиуса зоны разрыхления пород с 6 до 3 м. На глубине менее 200 м для пород средней крепости и менее 400 м для прочных пород они не разрушаются по контуру выработки и без крепи.

Теоретически возведением крепи в выработке можно предотвратить разрушение пород. Однако практически, как видно из графика (рис. 5.26), уже на глубине 600 м это невозможно обеспечить даже в прочных породах (потребовалось бы сопротивление крепи свыше 1,7 МН/м²). Современные штрековые крепи, сопротивление которых не превышает 0,2 МН/м², не могут предотвратить разрушения пород, но способны ограничить распространение зоны разрушения.

5.4.6. ЗОНА РАЗРЫХЛЕНИЯ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТРЕНИЯ В БОКАХ ВЫРАБОТКИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕПИ ПО Х. О. ЛЮТГЕНДОРФУ [125]

Породный слой (пласт), частично подрезанный горной выработкой, мысленно делится на множество сферических плоскостей радиусом r (рис. 5.27), воспринимающих параллельные напластованию составляющие давления и передающих их в прочные боковые породы. Тогда можно будет распределение давления определить в виде функции глубины x зоны, участвующей в перемещении бока выработки в ее полость. Глубина этой зоны зависит от толщины слоя d (прямая пропорциональная зависимость), коэффициента трения по плоскостям отдельности μ_g, коэффициента трения по плоскостям трещин подрезанного слоя μ, направленной параллельно напластованию составляющей сопротивления крепи p_0 и в меньшей мере от прочности породы на сдвиг c.

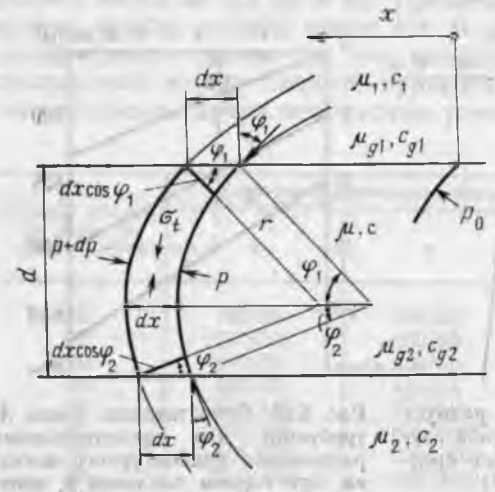


Рис. 5.27. Условные тонкие сферические слои в породном слое, разрезанном контуром выработки

Весьма большое влияние на деформацию штрека оказывает нормальная к напластованию несущая способность подрезанного слоя. Если этот слой настолько прочен, что он не разрушается под действием опорного давления у призабойного пространства, то сдвижения пород по плоскостям отдельности не происходит. Достаточным сопротивлением крепи p_0 смещению боков выработки можно добиться такого же эффекта. Лишь после того, как подрезанный слой будет разрушен сдвиговыми деформациями, установится новое равновесное напряженное состояние, которое может быть описано уравнением для параллельного напластованию давления p и давления σ, нормального к плоскостям отдельности. Такое уравнение было проанализировано, а результаты анализа представлены в виде графиков (рис. 5.28 и 5.29). Параллельное напластованию давление p увеличивается весьма быстро с глубиной зоны разрыхления x. Поэтому углы φ_1 и φ_2 с увеличением x стремятся к нижнему предельному значению.

Из графика (см. рис. 5.28) видно, что при коэффициенте трения μ меньше 0,2 глубина зоны разрыхления x увеличивается быстро.

На глубину зоны разрыхления весьма малое влияние оказывает крепь с удельным сопротивлением 0,1 МН/м² (см. рис. 5.29). При сопротивлении крепи 1 МН/м² глубина этой зоны уменьшается в два раза, становясь при сопротивлении 1,5 МН/м² меньше толщины подрезанного слоя. И лишь в том случае, когда сопротивление крепи соответствует величине горного давления (т. е. от 5 до 20 МН/м²), глубина зоны разрыхления будет равна нулю.

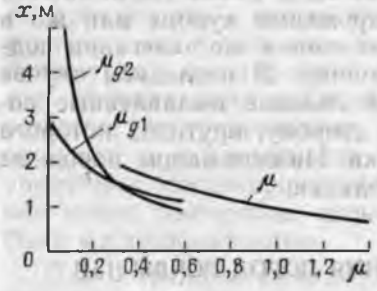


Рис. 5.28. График зависимости глубины зоны разрыхления x от коэффициента трения μ по плоскостям сдвига в подрезанном слое и коэффициентов трения μ_{g1} и μ_{g2} по плоскостям скольжения при следующих условиях:
d=1 м; p=10 МПа; p_0=0,1 МН/м²; c=0,1 МПа; $c_{g1}=c_{g2}$=0,05 МПа

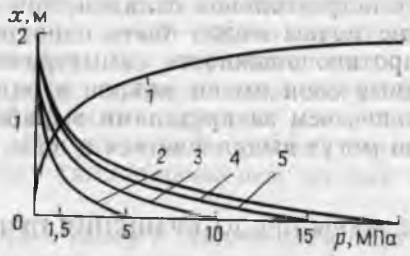


Рис. 5.29. График зависимости глубины зоны разрыхления в подрезанном слое от горного давления p при различном сопротивлении крепи p_0, равном 0 (*1*), 5 (*2*), 10 (*3*), 15 (*4*) и 20 МПа (*5*), для следующих условий:
d=1 м; c=0,1 МПа; $c_{g1}=c_{g2}$=0,05 МПа; μ=0,6; $\mu_{g1}=\mu_{g2}$=0,3

5.5. МЕДЛЕННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ

5.5.1. ПУЧЕНИЕ ПОЧВЫ [134]

Пучение почвы в горной выработке за счет увеличения объема пород наблюдается весьма редко, так как оно происходит лишь при наличии редко встречающихся глинистых пород, быстро набухающих под действием воды. В большинстве случаев пучение почвы необходимо рассматривать как результат смятия и образования складок в породных слоях почвы. Первое поднятие слоев почвы вызывается параллельным напластованию давлением. Затем смятые в складку и разгруженные от горизонтальных напряжений породные слои начинают выдавливаться в выработку под действием вертикального давления. При этом смятие слоев и величина складки увеличиваются. Наличие воды снижает трение на поверхностях контакта слоев и плоскостей трещин и уменьшает таким образом сопротивление слоев смятию в складки. Нередко под влиянием воды ослабляется структура породы. В подобном случае почва поднимается в виде раздробленной на мелкие куски породы или приобретает жидкую консистенцию. Деформация почвы получает пластический характер. Особенно сильно складкообразование и поднятие складок наблюдаются при наличии в почве нерабочего пласта-спутника. В таких условиях выдавленными породами почвы может быть заполнено все поперечное сечение выработки. За счет перемещения породных масс уменьшается также ширина выработки.

При пологом залегании породные слои почвы поднимаются в виде плоского с округленными кромками купола или же в виде остроугольной складки, при наклонном же залегании поднятие почвы может быть односторонним. В последнем случае в противоположность симметричной складке выдавленные породные слои имеют наклон в одну сторону, крутизна которого больше, чем за пределами выработки. Нижележащие породные слои могут выдавливаться в виде складки.

5.5.2. МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ [134]

Косвенными мерами предупреждения пучения почвы являются следующие:

расположение выработок в разгруженных от горного давления зонах;

защита почвы выработок от увлажнения;

проведение выработок в прочных породах или по выработанному пространству (закладочному массиву);

заглубление почвы выработки с подрывкой склонного к пучению породного слоя;

тщательное заполнение закрепного пространства за рамами крепи;

выкладка узкой или достаточно податливой околоштрековой полосы для предотвращения вдавливания ее в почву.

К прямым мерам борьбы с пучением почвы относятся:

анкерование почвы;

упрочнение пород почвы тампонированием вяжущими составами;

устройство обратного свода с заполнением его бетоном;

устройство подушки из сцементированных мелкокусковых пород;

прорезка почвы разгрузочной щелью;

анкерование почвы с устройством разгрузочной щели.

Благодаря анкерованию почвы в трех выемочных штреках на шахтах Рурского бассейна удалось снизить конвергенцию на 10—30% их первоначальной высоты.

Для эффективного применения анкерования почвы необходимо, чтобы:

условный показатель прочности пород почвы был не более трех;

породы почвы не были разделены плоскостями скольжения и не были склонными к размоканию; породный массив в почве выработки не должен быть нарушен.

Предпосылкой успешного упрочнения почвы тампонированием является предварительное разрыхление массива на глубину 5—7 м. Поэтому область применения указанного способа ограничивается основными выработками, в которых почва хотя и подверглась уже деформированию, но при дальнейшей надили подработке следует ожидать повторного выдавливания пород. В выемочных штреках тампонирование почвы пришлось бы производить с опережением перед лавой. В таких условиях верхние слои почвы уже подверглись складкообразованию, но нижние еще не затронуты им и не имеют пустот, требуемых для эффективного тампонирования. В результате этого они остаются неупрочненными, и после прохода лавы могут подниматься и взламываться (даже если верхние слои почвы упрочнены тампонированием). По указанной причине упрочнение почвы выемочных штреков тампонированием до сих пор было малоэффективным.

При устройстве арок обратного свода с заполнением бетоном начальное сопротивление их выдавливанию должно быть рассчитано на 150 кН. Максимальная толщина бетонной подушки 60 см. Бо́льшая ее толщина обеспечивает лишь незначительное увеличение несущей способности. При достаточно высоком сопротивлении крепи это решение более экономично, чем анкерование почвы.

Эффективность защитного действия подушки из сцементированной породной массы устанавливается путем выбора глу-

бины зоны рыхления пород почвы взрывными работами и углов боковых плоскостей этой зоны.

При соответствующем выборе указанных параметров можно обеспечить:

существенное уменьшение конвергенции при разрушении сцементированной подушки по плоскостям среза;

небольшое уменьшение конвергенции, но при благоприятной для эксплуатации выработки неразрушенной подушке, которая поднимается в полость выработки как единое целое.

В первом случае глубина рыхления пород в почве выработки должна составлять не менее трех четвертей глубины зоны складкообразования, равной примерно половине ширины выработки. Во втором случае требуется рыхлить почву не более чем на половину глубины складкообразования.

При прорезке почвы разгрузочной щелью уменьшение интенсивности пучения пород достигается только тогда, когда глубина щели больше половины ширины выработки. В этом случае начинающееся после закрытия щели поднятие почвы замедляется. Заполнение щели податливым материалом обеспечивает дополнительное сопротивление боковому давлению и более медленное закрытие щели. Рекомендуется, чтобы ширина заполняемой щели в мягких породах была не менее 20 см, а в крепких породах — не более 20 см. Если дополнительно к разгрузочной щели закрепить почву анкерами, то можно обеспечить уменьшение конвергенции также и после закрытия щели.

Мероприятия по борьбе с пучением почвы в выемочных штреках путем установки на лежнях средних стоек или укладки распорных лежней малоэффективны. Они осуществляются уже после прохода лавы, когда начавшееся пучение почвы предотвратить уже практически невозможно. К тому же распорные лежни приводят к значительным деформациям боковых сегментов рам штрековой крепи, а средние стойки, препятствуя равномерному опусканию арок, вызывают деформацию верхних сегментов.

Разгрузочное взрывание в почве выработки также не обеспечивает защиты от пучения пород. При взрывании увеличиваются размеры зоны подрезанных породных слоев, в результате чего возрастает интенсивность образования трещин и клиновидных блоков в боках выработки. Указанные блоки внедряются в слои почвы и выдавливают породы в полость выработки.

5.5.3. УСИЛЕННОЕ СКЛАДКООБРАЗОВАНИЕ В КРОВЛЕ ШТРЕКА

Образование складок смятия породных слоев в кровле подготовительной выработки происходит в общем случае таким же образом, как и в почве. В случае пологого залегания на про-

цесс образования складок оказывает дополнительное влияние собственный вес утративших несущую способность породных слоев над сводом. Бока штрека воздействуют на образование складок в кровле в той мере, в какой они смещаются внутрь выработки, уменьшая ее ширину. При пологом залегании середина складки проходит примерно по продольной оси выработки как прямоугольной, так и арочной формы поперечного сечения; лишь иногда она может находиться над одним из боков выработки, что вызывается плохим заполнением закрепного пространства и разрушением консолей, образующих свод в кровле выработки.

При наклонном залегании складки в кровле выработки всегда образуются над ее боком. На крутонаклонных и крутых пластах арочная крепь под действием находящейся вне контура выработки складки неподрезанных породных слоев деформируется примерно таким же образом, как и в штреках на пологом залегании с образованием боковой складки.

Поскольку смятие породных слоев в кровле выработки вызывается во всех случаях высоким горным давлением, малой прочностью пород и слишком низким сопротивлением крепи, возможности предупреждения этого нежелательного явления заключаются в устранении причин повышенного горного давления, упрочнении породного массива (например, анкерной крепью), а также в применении крепи с достаточно высокой несущей способностью и быстрым восприятием нагрузки.

5.5.4. СМЕЩЕНИЕ БОКОВ ВЫРАБОТКИ

Выдавливание боков выработки в ее полость может произойти в результате смятия пород, когда подрезанные выработкой породные слои расчленены трещинами R3 (кососекущие трещины с наклоном к выработке) или клинообразующими трещинами R5. Особо часто условия для образования таких трещин и, соответственно, для выдавливания боков создаются при наличии в слоях плоскостей скольжения (ослабления).

Сдвижение пород в полость выработки под действием смятия происходит преимущественно по плоскостям скольжения тектонического происхождения, приуроченным, как правило, к контактным поверхностям между породными слоями различной прочности (уголь — порода, глинистый сланец — песчаник). В слоях глинистого сланца часто встречаются тонкие прослойки угля или углистого сланца, по которым происходит сдвижение породного массива тектонического или эксплуатационного характера. Поверхности, по которым скользят относительно друг друга породные слои, могут быть через небольшие промежутки расчленены уступами. Нередко несколько плоскостей скольжения находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Тогда находящиеся между ними прослойки выдавливаются при смятии в виде отдельных пластинок. В песчанике уголь-

ные прослойки обычно имеют рельефные выпукло-вогнутые поверхности, что препятствует смещению слоев со скольжением.

Для разрушаемости породных слоев плоскости скольжения имеют более важное значение, чем, например, прочность породы. Однако их расположение почти невозможно определить по кернам из разведочных скважин, поскольку по ним распознаются лишь те плоскости отдельностей, которые попали в пересекаемую скважиной зону.

5.6. ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

5.6.1. ПОЛЕВОЙ ШТРЕК, ЗАКРЕПЛЕННЫЙ АРОЧНОЙ КРЕПЬЮ

Полевой штрек был закреплен жесткой арочной крепью из профиля GI120 с соединительными болтовыми накладками. Расстояние между рамами 1 м. Использовались межрамные распорки из круглого леса и решетчатая затяжка. Закрепное пространство заполнялось породой.

Рабочий, ремонтировавший водяной заслон, заметил, что затяжка между тремя рамами начала выпучиваться внутрь штрека, деревянные межрамные распорки сломались, и крепежные рамы начали смещаться. Когда он уходил из выработки, чтобы сообщить об аварии в диспетчерскую, он услышал удары, свидетельствовавшие об обрушении пород.

Над крепью образовался купол высотой 3 м. Залегавшие над штреком тонкослоистые породы были смяты и выдавлены в штрек. Над куполом была видна поверхность раздела с неразрушенными породами. Из трещин просачивалась вода.

Нагрузка на рамы крепи, вычисленная по массе обрушившихся пород, не превышала 350 кН. Такую нагрузку жесткая арочная крепь вполне может выдержать. Обрушение произошло из-за поломки межрамных распорок и затяжки. Обрушенные породы сместили и опрокинули арки крепи.

5.6.2. ШТРЕК, ЗАКРЕПЛЕННЫЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМНОЙ КРЕПЬЮ

Вентиляционный штрек по пласту «Жирондель-5» мощностью 1,9 м с углом падения около 5° был пройден с опережением лавы на 40 м и закреплен металлическими податливыми рамами (рис. 5.30). Крепь состояла из верхняков профиля GI130 с шарнирными башмаками и раздвижных стоек из желобчатого профиля GPO32 длиной 3,18 м. Длина наложенных внахлестку концов сегментов составляла 420 мм. Расстояние между рамами равнялось 0,7 м. Рамы скреплялись друг с другом двумя металлическими распорками и четырьмя стяжками. В качестве

затяжки кровли использовали дерево. Ширина штрека в свету 4,3 м, высота 3,1 м.

В кровле штрека залегал глинистый сланец с пределом прочности на сжатие 46±8 МПа. Породы кровли были разделены плоскостями ослабления с растительными остатками и плоскостями скольжения при среднем расстоянии между ними 0,5—1 м. Поверхность ослабления с растительными остатками находилась в непосредственной кровле пласта, подрезанной штреком, и, насколько можно было видеть, в верхней части вывала.

У левого бока выработки (см. рис. 5.30) из кровли произошел вывал пород. В этом месте прослеживалось нарушение, проходившее от лавы до забоя штрека и представленное несколькими (от двух до пяти) параллельными (местами прерывающимися) трещинами разрыва. Поверхность левой трещины была зеркально-гладкой с царапинами, идущими сверху вниз. Указанная трещина продолжалась и в пласте, но была там более пологой. Ее искривление наблюдалось в 20—40 см над пластом. Именно по этой трещине произошел обрез пород кровли над штреком.

Происшедший вывал имел длину 6 м и высоту 4,5 м. Такая значительная его высота необычна, поскольку из практики известно, что высота подобных вывалов обычно не превышает половины ширины выработки. Левая стенка вывала имела гладкую поверхность, правая — зубчатую, образованную в результате излома породных слоев толщиной примерно по 20 см. Отдельные изломы слоев ограничивались плоскостями наслоения и ослабления. У конца вывала со стороны лавы обрушенная порода высыпалась примерно на высоту 6 м. Торцовая стенка вывала со стороны лавы представляла собой поверхность хрупкого излома без следов скольжения. Следовательно, речь может идти о хрупком изломе, образовавшемся при проведении штрека. В направлении к забою штрека высота вывала постепенно уменьшалась до уровня кровли выработки в проходке.

Податливые стойки крепежных рам со стороны лавы просели на 1,3—1,5 м и упали в штрек. Просадка же стоек с противоположной стороны штрека была не больше, чем просадка стоек на необрушившемся участке выработки.

Обрушение пород, по-видимому, было вызвано оседанием кровли пласта, происшедшим в призабойной зоне впереди лавы и приведшим к смещению их по находившейся над левым боком штрека трещине, в которой из-за увлажнения сопротивление трения было понижено.

В результате одностороннего опускания породные слои кровли оказались расчлененными на отдельные плиты толщиной примерно по 20 см. При большей толщине породных плит их несущая способность была бы выше, равным образом как

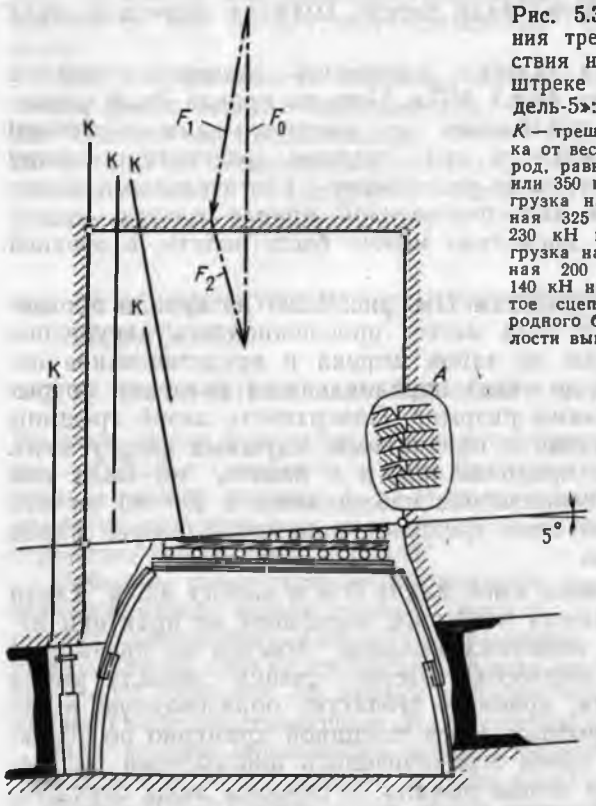


Рис. 5.30. Схема расположения трещин в массиве и действия нагрузок на крепь в штреке по пласту «Жирондель-5»:

K — трещины разрыва; F_0 — нагрузка от веса блока обрушившихся пород, равная 505 кН на 1 м штрека или 350 кН на одну раму; F_1 — нагрузка на левые стойки рам, равная 325 кН на 1 м штрека или 230 кН на одну стойку; F_2 — нагрузка на правые стойки рам, равная 200 кН на 1 м штрека или 140 кН на одну стойку; *A* — зубчатое сцепление обрушившегося породного блока с правой стенкой полости вывала

и степень заклинивания у поверхности трещины. Малое расстояние между естественными плоскостями ослабления было, таким образом, существенной причиной образования вывала.

Вес обрушившихся пород составлял примерно 500 кН на 1 м штрека. Вследствие наклонного залегания, но прежде всего из-за положения трещины, ограничивающей полость вывала, центр тяжести отделившегося породного блока находился ближе к левым стойкам рам штрековой крепи. Поэтому нагрузка на каждую стойку с этой стороны штрека составляла примерно 230 кН, в то время как с правой стороны она не превышала 140 кН (причем и она воспринималась не полностью благодаря сильному сцеплению отделившегося породного блока с массивом).

Нагрузка на штрековую крепь, определенная по размерам полости вывала и положению тяжести отделившегося от массива породного блока, характеризует собой лишь статическую нагрузку. Случай статической нагрузки был бы приемлем при условии, что опускание обрушенных пород происходит медленно. Однако поскольку над верхняками крепи имелся зазор до-

статочной высоты, блок обрушенных пород подверг крепь динамической нагрузке. Эта динамическая нагрузка соответствовала, по-видимому, фактической статической нагрузке, превышавшей расчетную.

Сопротивление податливого соединения стоек крепежных рам просадке принимается равным 200—300 кН. Поэтому динамической нагрузке не требовалось быть намного выше расчетной статической нагрузки, чтобы вызвать проседание стоек.

Неблагоприятное влияние оказала неустойчивость четырехшарнирных рам крепи. При воздействии нагрузки на левые стойки рам и наличии пустоты над правыми стойками шарнирный четырехзвенник, складываясь, отклоняется в сторону свободного зазора. Измеренная в одной из выработок высота пространства над башмаком верхняка составляла 47 см. При отклонении на такую величину угол между верхняком и стойкой, составляющий в нормальном случае 120°, увеличится до 130°. Вследствие этого при остающейся неизменной нагрузке на верхняк увеличивается нагрузка, действующая на податливую стойку.

Угол между верхняком и податливой стойкой увеличивается еще больше после просадки последней. Вплоть до поломки шарнира башмака на верхняке нагрузка на податливую стойку может возрастать до любой величины. Если построить характеристику крепи для такого несимметричного случая нагружения, причем по оси ординат откладывать нагрузку, а по оси абсцисс — остающуюся под башмаком верхняка высоту, то такая характеристика должна снижаться от начального сопротивления крепи просадке в податливом соединении двухзвенной стойки (200—300 кН) до нуля при поломке шарнира. Следовательно, если на конец верхняка действует постоянная нагрузка, превышающая начальное сопротивление элемента податливости, то стойка просаживается вплоть до поломки шарнира, соединяющего стойку с верхняком. Однако такой случай будет наблюдаться лишь тогда, когда нагрузка при просадке крепи останется примерно постоянной. При нормальной деформации выработки нагрузка по мере просадки крепи уменьшается. Снижается также и динамическая нагрузка, поскольку часть динамической энергии расходуется на преодоление усилий трения.

В рассматриваемом случае шарниры все же были сломаны. Просадка стоек на 1,5 м достаточно точно соответствует расчетной.

5.6.3. ВЫЕМОЧНЫЕ ШТРЕКИ НА КРУТЫХ ПЛАСТАХ [64]

На крутых пластах кровля в лавах бывает обычно обнажена на значительно большей площади, чем на пологих, и поэтому в большей степени подвержена смятию с образованием складок. Позади лавы нагрузка от веса еще не поддерживаемой закладочным массивом непосредственной кровли воздействует на на-

ходящуюся у штрека часть кровли, сминая ее. Разрушенные породные слои частично вминаются друг в друга. Слой монолитной породы может быть смят без складкообразования. После того как смятый породный слой потеряет несущую способность, кровля может сползти в низ лавы, а затем в штрек. Более часто сползают в штрек породные слои кровли, подрезанные при проведении выработки и недостаточно поддерживаемые на его сопряжении с лавой. Это происходит обычно непосредственно за линией забоя лавы. Сползают породные слои общей толщиной до 40 см. Сползать в штрек могут также и породы почвы.

5.7. ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ШТРЕКОВ

5.7.1. МОЩНОСТЬ ПАЧЕК ПОРОДНЫХ СЛОЕВ, РАЗДЕЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯМИ СКОЛЬЖЕНИЯ, И ГЛУБИНА СКЛАДКООБРАЗОВАНИЯ

На моделях были проведены две серии экспериментов. В первой из них породы кровли и почвы были разделены тремя поверхностями скольжения, отстоявшими друг от друга на 1 м (в пересчете на натуру), во второй над пластовым штреком и под ним имелось по пять поверхностей скольжения, располагавшихся друг от друга на расстоянии 1 м. Таким образом, в первом случае мощность породной пачки с поверхностями скольжения составляла 2 м, во втором случае — 4 м.

При экспериментах на второй модели прилагали значительно меньшие нагрузки, имитирующие вертикальное и горизонтальное давление (1,9 и 2,3 МПа), чем на первой (2,44 и 3 МПа). Тем не менее деформация выработки при отработке второй модели была значительно выше. Дополнительные поверхности скольжения снизили прочность породного массива и способствовали тому, что процесс смятия породных слоев с образованием складок распространился на большую толщу пород, хотя глубина складкообразования не превышала ширины штрека.

5.7.2. КРИТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ ПОРОДНОГО СЛОЯ, ОГРАНИЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТЯМИ СКОЛЬЖЕНИЯ [63]

Влияние расстояния между двумя поверхностями скольжения, т. е. мощности породного слоя между двумя поверхностями скольжения, на состояние кровли в штреке исследовалось на четырех моделях. Расстояние между поверхностями скольжения в них составляло 0; 10; 20 и 30 см (рис. 5.31, *а*). Величины моделируемого сопротивления крепи приведены в табл. 5.2.

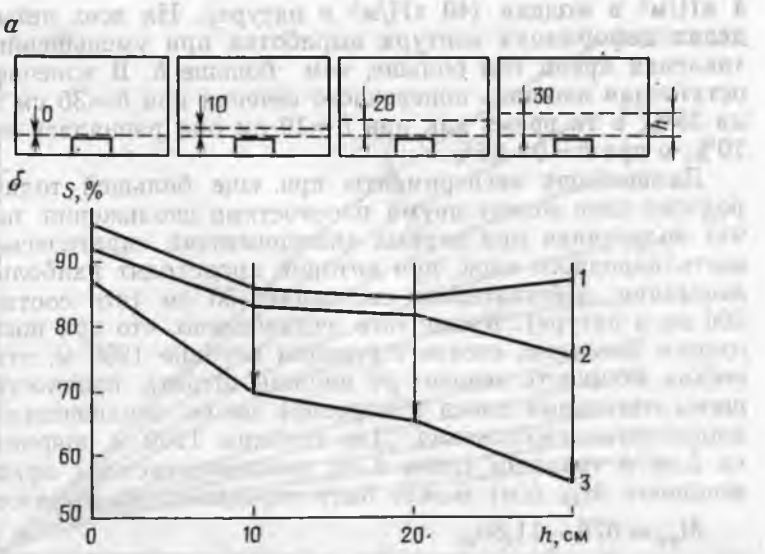


Рис. 5.31. Схемы моделей (*а*) и график изменения остаточной площади поперечного сечения выработки S_0 от мощности слоя пород между плоскостями скольжения h:

1, *2* — соответственно при первичном и вторичном нагружении; *3* — при уменьшенном до 4 кН/м² в модели (40 кН/м² в натуре) сопротивлении крепи

Из графика (см. рис. 5.31, *б*) видно, что уже после первого нагружения модели площадь поперечного сечения штрека уменьшается тем больше, чем толще породный слой между двумя плоскостями скольжения h. После второго нагружения это различие становится еще более заметным.

В обоих случаях удельное сопротивление крепи в модели составляло 34 кН/м² (340 кН/м² в натуре). Такое высокое сопротивление может быть достигнуто только при применении гидравлической крепи. Ее использование позволяет уменьшать давление в гидравлических стойках штрековых рам, вызывая увеличение конвергенции. При проводившихся исследованиях сопротивление крепи также несколько раз уменьшали — до

Таблица 5.2

Кривая (рис. 5.31, *б*)	Удельное сопротивление крепи, кН/м²		Примечание
	в модели	в натуре	
1	34	340	После первого нагружения
2	34	340	После второго нагружения
3	4	40	—

4 кН/м² в модели (40 кН/м² в натуре). На всех четырех моделях деформация контура выработки при уменьшении сопротивления крепи тем больше, чем больше h. В конечном счете остаточная площадь поперечного сечения при $h=30$ см составила 55%, в то время как при $h=10$ см она равнялась примерно 70%, а при $h=0$—86%.

Дальнейшие эксперименты при еще большей толщине породного слоя между двумя плоскостями скольжения показали, что полученная при первых экспериментах критическая мощность породного слоя, при которой происходят наибольшие деформации, действительно составляет 30 см (что соответствует 300 см в натуре). Кроме того, установлено, что при постоянном горном давлении, соответствующем глубине 1200 м, эта критическая мощность зависит от ширины штрека, прочности и толщины отдельных слоев в породной пачке, ограниченной двумя плоскостями скольжения. Для глубины 1200 м, ширины штрека 5 м и толщины слоев 4 см рассматриваемая критическая мощность $M_{кр}$ (см) может быть определена из выражения

$$M_{кр} = 675 - 11{,}8\sigma_D,$$

где σ_D — предел прочности пород на сжатие, МПа.

Из него следует, что в шахтных условиях при весьма малой прочности пород кровли деформация штрека достигает наибольшей величины при мощности породной пачки между двумя плоскостями скольжения 675 см. При породах же с пределом прочности на сжатие более 57 МПа существенной деформации штрека не происходит.

Чем больше сопротивление крепи, тем в меньшей степени сказываются различия в мощности или прочности отдельных породных слоев.

5.7.3. ПРОЧНОСТЬ МАССИВА В НАПРАВЛЕНИИ СЛОИСТОСТИ ПОРОД ПРИ ОТСУТСТВИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕПИ [87, 134]

Смятие и складкообразование пород в кровле или почве штрека можно воспроизвести на модели, если пачку слоев используемого в модели материала заключить в оболочку и приложить к ним параллельную напластованию нагрузку. Разрушающая нагрузка, отнесенная к площади поперечного сечения слоев, дает предел прочности массива на сжатие в параллельном напластованию пород направлении. Для сжатия такой пачки породных слоев на несколько сантиметров (в пересчете на натурные условия) после появления признаков разрушения требуется несколько меньшая нагрузка. Отношение нагрузки, при которой уже частично разрушенная породная пачка подвергается определенной продольной деформации, к площади поперечного сечения слоев называется остаточной прочностью. При экспериментах на модели остаточную прочность определяли

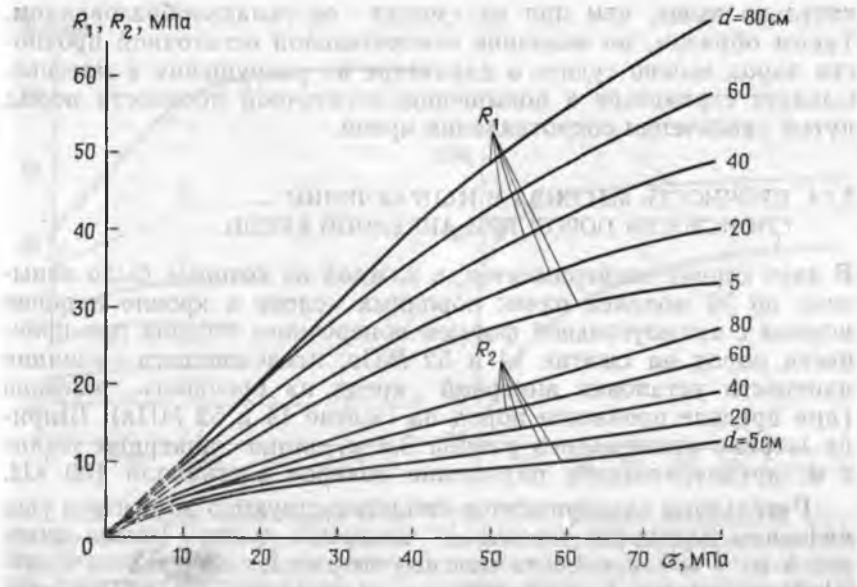


Рис. 5.32. График зависимости прочности массива R_1 и остаточной прочности R_2 от предела прочности пород на сжатие σ при различной толщине породных слоев d (условия моделирования — ширина штрека 6—7 м, глубина складкообразования 3,5—4,4 м, коэффициент трения между слоями $\mu=0{,}9$)

при сжатии частично разрушенной породной пачки на 3 см (в пересчете на натуру).

Статистической обработкой результатов моделирования получены кривые (рис. 5.32), отражающие зависимость прочности массива и остаточной прочности от предела прочности пород на сжатие при различной толщине слоев. Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

прочность массива возрастает с увеличением предела прочности пород отдельных слоев на сжатие при толстослоистой структуре в большей мере, чем при тонкослоистой. Иными словами, при малом пределе прочности пород на одноосное сжатие (например, $\sigma=15\div40$ МПа) влияние слоистости на прочность массива сказывается слабее, чем при высоком ($\sigma>60$ МПа);

влиянием слоистости на прочность пород в почве штрека можно пренебречь, если толщина отдельных слоев достаточно велика (не менее 20% глубины складкообразования);

остаточная прочность пород в почве штрека значительно ниже их прочности в массиве. Влияние толщины отдельных слоев на остаточную прочность примерно одинаково для всех значений прочности пород на одноосное сжатие.

Можно констатировать, что при изломе породных слоев в виде надвига относительная остаточная прочность пород зна-

чительно выше, чем при их смятии со складкообразованием. Таким образом, по величине относительной остаточной прочности пород можно судить о характере их разрушения в массиве. Следует стремиться к повышению остаточной прочности пород путем увеличения сопротивления крепи.

5.7.4. ПРОЧНОСТЬ МАССИВА В НАПРАВЛЕНИИ СЛОИСТОСТИ ПОРОД ПРИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

В двух сериях экспериментов, в каждой из которых было испытано по 50 моделей пачек породных слоев в кровле и почве штрека с прямоугольной формой поперечного сечения при прочности пород на сжатие 14 и 52 МПа, исследовалось влияние плотности установки анкерной крепи на прочность массива (при пределе прочности пород на сжатие 14 и 52 МПа). Ширина штрека принималась равной 3,2 м, длина анкерных штанг 2 м, предварительное натяжение анкеров составляло 100 кН.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что с увеличением плотности установки анкерной крепи (числа анкеров h на 1 м^2) прочность массива возрастает до предела прочности на сжатие пород отдельных слоев (рис. 5.33). При тонкослоистой (толщина отдельных слоев 5 см) породе с пределом прочности на сжатие 52 МПа плотность установки крепи, соответствующая 2,5 анкера на 1 м^2 площади обнаженной кровли, достаточна, чтобы деформация пород в кровле развивалась только в виде излома по плоскости пологого надвига (без смятия и складкообразования). При породах с пределом прочности на сжатие 14 МПа для этого требуется 1 анкер на 1 м^2.

В случае применения в штреках обычной рамной крепи для обеспечения подобной деформации пород в кровле с пределом прочности на сжатие 52 и 14 МПа потребовалось бы удельное сопротивление крепи соответственно 500 и 200 кН/м^2. Следовательно, плотность установки анкерной крепи можно приравнивать к удельному сопротивлению рамной крепи.

5.7.5. ПЛОСКОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ПОРОДАХ БОКОВ ШТРЕКА

При наличии плоскостей скольжения в породах боков выработки для ее поддержания необходимо, чтобы сопротивление крепи было в несколько раз увеличено по сравнению со случаем, когда плоскости скольжения отсутствуют (рис. 5.34). Даже при высоком боковом сопротивлении крепи, имитировавшейся надувными баллонами, на моделях не удавалось предотвратить типичных для наличия плоскостей скольжения смещений боков выработки. При экспериментах на моделях коэффициент трения по плоскостям скольжения принимали равным $\mu=0{,}3$, а по плоскостям нормальных межслоевых контактов $\mu=0{,}8$ (эта ве-

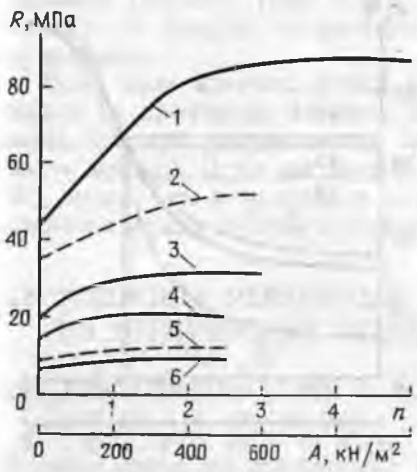


Рис. 5.33. График зависимости между прочностью массива в направлении слоистости пород R от плотности установки анкерной крепи n (*2*, *5*) и удельного сопротивления рамной крепи A (*1*, *3*, *4*, *6*) при породах с пределом прочности на сжатие:
1—6 — соответственно 85,6; 52; 31,6; 20,9; 14 и 8,6 МПа

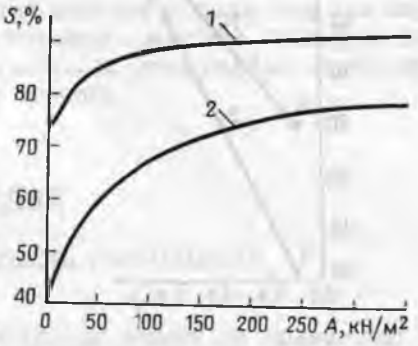


Рис. 5.34. График зависимости остаточной площади поперечного сечения выработки S в модели от сопротивления крепи A при отсутствии (*1*) и наличии (*2*) плоскостей скольжения в породах боков выработки

личина была определена для глинистого сланца). Породный массив вокруг штрека был тонкослоистым. Предел прочности пород на сжатие составлял 30 МПа; породы почвы были достаточно крепкими; высота штрека 2 м, а ширина 5 м. Нагрузка на модель соответствовала давлению на глубине 1000 м.

5.7.6. ТРЕНИЕ ПО МЕЖСЛОЕВЫМ КОНТАКТАМ И СМЕЩЕНИЕ БОКОВ ВЫРАБОТКИ

Трение по межслоевым контактным плоскостям имеет для смещения боков стенок выработки решающее значение. Чем меньше коэффициент трения μ, тем больше деформация контура поперечного сечения выработки (рис. 5.35). При этом она тем больше, чем меньше горизонтальная составляющая сопротивления крепи, имитировавшейся в модели надувными баллонами. При $\mu=0{,}3$ подрезанные контуром выработки породные слои даже при достаточно высоком боковом сопротивлении крепи (см. рис. 5.35, кривая *1*, точка *A*) разрушаются с образованием клиновидных блоков между поверхностями скольжения.

Если же коэффициент трения по межслоевым контактным поверхностям достаточно высок (например, $\mu=0{,}8$), то разрушения в боку выработки, даже при небольшом боковом сопро-

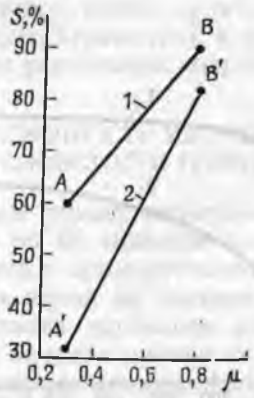


Рис. 5.35. График зависимости остаточной площади поперечного сечения выработки S от коэффициента трения по межслоевым контактам пород μ при удельном сопротивлении крепи 340 (*1*) и 40 (*2*) кН/м²

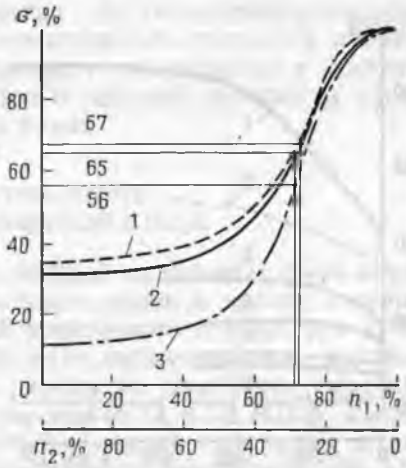


Рис. 5.36. График зависимости относительной прочности массива σ (по отношению к пределу прочности на сжатие более прочного слоя пород) от доли прочных (n_1) и слабых (n_2) пород:

1 — при пределе прочности на сжатие прочных и слабых пород соответственно 11,8 и 3,2 МПа; *2* — то же, 11,6 и 3,2 МПа; *3* — то же, 10,3 и 1,2 МПа

тивлении крепи (см. рис. 5.35, кривая *2*, точка *B'*), ограничиваются зоной пород, непосредственно прилегающей к контуру выработки.

Породный массив в моделях был тонкослоистым, предел прочности пород на сжатие в пересчете на натуру составлял 20 МПа, нагрузка соответствовала давлению на глубине 700 м.

5.7.7. ПРОЧНОСТЬ МАССИВА ПО НОРМАЛИ К НАПЛАСТОВАНИЮ ПОРОДНОЙ ПАЧКИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХ СЛОЕВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНОСТИ

Прорезанный при проведении выработки породный массив может состоять из слоев различной прочности. Результирующую прочность породной пачки, состоящей из таких слоев, удалось определить при экспериментах на моделях. Условия проведения экспериментов: число слоев 12, толщина каждого слоя 1 см, коэффициент трения между слоями $\mu=0{,}9$.

Если пачка состоит поровну из слабых и более прочных слоев, то прочность всей пачки соответствует прочности слабых слоев. Только в том случае, если доля прочных слоев превышает 50%, прочность массива существенно увеличивается. Тем не менее прочность массива будет равна среднему арифметическому только тогда, когда доля более прочных слоев будет со-

ставлять 70—75% (рис. 5.36). Указанное соотношение, по-видимому, не зависит от прочности отдельных слоев, а также от их толщины.

Если слои крепких пород находятся между слоями слабых пород, то прочность массива должна быть примерно на 15% выше, чем при расположении слоя прочной породы под или над слоем мягкой. В то же время прочность массива примерно на 15% ниже, чем в последнем случае, если слои слабых пород заключены между слоями прочной породы.

5.8. ВОПРОСЫ, РЕШАЕМЫЕ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

5.8.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ [100, 105, 119, 130, 140, 151]

Эксперименты на физических моделях имеют по сравнению с математическим моделированием свои достоинства и недостатки.

К их основным достоинствам относятся следующие:

обеспечение наглядности, обзорности и возможности непосредственных наблюдений за отдельными этапами моделируемого процесса. Модель воспринимается как единое целое. Можно следить за качественным характером поведения отдельных важных узлов моделируемой системы (например, за поведением крепи);

возможность моделирования процессов, не воспроизводимых математическими методами. К ним относятся, например, обрушения пород, в особенности непрерывно продолжающиеся разрушения породных слоев, сопровождающиеся сдвижениями массива по плоскостям хрупких изломов и изломов сдвига, а также раскрытием трещин отдельности, и деформации крепи после превышения предела упругости пород. Не поддаются математическому описанию также множество форм слоистой структуры породного массива, форм поперечных сечений полостей в массиве;

возможность проверки достоверности результатов моделирования и их использования в практике путем непосредственного сравнения с наблюдаемыми в шахте явлениями. Мероприятия по управлению горным давлением в основном оцениваются при визуальных наблюдениях и проведении простейших измерений. Этому в наибольшей степени соответствуют эксперименты на физических моделях;

сравнительно небольшие затраты времени и средств при решении специфических задач (например, связанных с нагружением почвы основаниями секций щитовой крепи, определением устойчивости крепей, поведением одиночных и соединенных друг с другом рам штрековой крепи).

К недостаткам физических моделей по сравнению с математическим моделированием относятся:

значительная трудность варьирования параметров, оказывающих влияние на моделируемые процессы;

несовершенное до сих пор воспроизводство пространственных процессов (правда, описание пространственного расположения сети горных выработок при математическом моделировании осуществимо лишь при принятии различных упрощающих допущений, поскольку в противном случае объемы вычислений превысят практические возможности современных ЭВМ).

Кроме того, физическая модель позволяет получать количественные показатели только при условии применения датчиков, не нарушающих условий моделирования (например, датчики напряжений могут препятствовать развитию сдвижений породного массива). При математическом же моделировании получают все желаемые данные, если только их можно вывести из исходных функций.

Физико-механические характеристики моделируемых пород нередко задаются лишь приблизительно. Их и не требуется знать более детально, поскольку достоверность модели оценивается по получаемым на ней данным о деформациях, разрушениях и сдвижениях породного массива. При математическом моделировании, наоборот, физико-механические параметры породного массива должны быть установлены как можно более точно. Но требуемые для этого закономерности упруго-пластичного поведения породного массива еще недостаточно изучены, и математическая теория прогрессирующего развития разрушения породных слоев в массиве еще только разрабатывается. Происходящие в натурных условиях сдвижения породного массива пока не могут быть описаны также и с помощью метода конечных элементов. Полному количественному описанию препятствует принципиальная невозможность учета многих требуемых параметров (например, числа, положения и пространственной протяженности плоскостей ослабления и трещин естественного происхождения).

На физических моделях из хрупких материалов невозможно в полной мере исследовать влияние времени на развитие деформационных процессов. Этот вопрос достаточно труден и для математического моделирования. На моделях, исследуемых в лаборатории рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг», в которых воспроизводятся небольшие участки породного массива, в отношении учета влияния времени исходят из следующих четырех положений:

зависящее от времени вязко-пластичное деформирование применительно к породам карбона играет весьма незначительную роль по сравнению со сдвижениями пород при разрушении массива;

на моделях невозможно воспроизвести с соблюдением соответствующего масштаба времени зависящие от времени про-

цессы развития трещин и смещения пород по плоскостям скольжения, т. е. квазивязко-упругие свойства породного массива. Такие процессы обычно вызывают первоначальные высокие напряжения в зонах очистных работ; опорное давление в краевых частях у выработанных пространств постепенно снижается по мере развивающегося со временем опускания кровли на обрушенные породы или закладочный массив. Они могут приводить также к снижению напряженного состояния, например по мере раздавливания целиков угля, оставленных на соседних пластах;

процесс разгрузки массива от горизонтальных напряжений при медленном опускании пород кровли едва ли возможно воспроизвести на модели из-за малых размеров моделируемого участка;

зависящий от времени прирост давления, например, на призабойное пространство и крепь лавы, обусловленный медленным опусканием верхних слоев породного массива, может быть воспроизведен на модели лавы в масштабе времени 1 : 10 путем выбора соответствующей скорости увеличения нагрузки на модель. Обычно нагружение модели осуществляется ступенчато, без учета действительного характера усиления давления во времени, т. е. на модели воспроизводятся лишь конечные результаты отдельных этапов прироста давления.

Из особенностей физических и математических моделей вытекает, что необходимо отказаться от попыток определять величину горного давления на физических моделях для пространственного расположения очистных выработок. При принятии упрощающих допущений такое определение возможно с помощью математических моделей, которые в свою очередь не позволяют исследовать процессы разрушения породного массива. Эти процессы могут быть воспроизведены только при помощи физической модели.

Опыт показывает, что при помощи физических моделей можно воспроизводить лишь идеализированные типы породных массивов, не привязанные к условиям конкретного участка шахтного поля или к определенной стадии развития очистных работ. Слишком трудно настолько точно определить местные особенности структуры породного массива, включая характер плоскостей ослабления, чтобы их можно было воспроизвести на модели. Кроме того, условия залегания и характеристики пород настолько сильно изменяются в пространстве и с течением времени, что при точном воспроизведении на модели какой-то определенной ситуации полученные в результате моделирования данные будут уже нехарактерными для соседнего участка породного массива или для несколько изменившейся ситуации в ведении очистных работ.

Физические модели из материалов, свойства которых в определенном масштабе соответствуют свойствам реальных гор-

ных пород, т. е. из так называемых эквивалентных материалов, пригодны, в частности, для решения следующих задач:

определения качественных и количественных характеристик разрушения и сдвижения породного массива в зависимости от его геологической структуры, формы поперечного сечения горных выработок, вида, размеров и способа возведения крепи;

испытаний крепей различных типов для определения их эксплуатационных характеристик и формулирования требований к их усовершенствованию с учетом различных, но типизированных и поэтому пригодных для сопоставления, геологических условий.

Все происходящие в модели формы разрушения породных массивов наблюдаются в натурных условиях и, наоборот, все встречающиеся в натуре формы разрушения удается воспроизвести на моделях. Следует только отметить, что на модели весьма несовершенно воспроизводится характер образования трещин давления из-за относительно большой крупности частиц материалов модели; кроме того, на модели до сих пор не удается воспроизвести условия, приводящие к горному удару. На модели и в натуре наблюдаются примерно одни и те же формы разрушения пород и деформации крепи при приблизительно одинаковых (с учетом масштаба модели) величинах давления и конвергенции. Из этого следует, что поведение штрековых крепей новых типов при испытаниях на моделях должно быть примерно таким же, каким оно наблюдается в шахтных условиях, воспроизведенных на модели. Таким образом, достигается возможность быстро испытывать новые типы крепей в различных геологических условиях и дорабатывать их в соответствии с полученными результатами.

Примерно с такой же постановкой задач моделирование применяют, например, в самолето- и судостроении, при строительстве гидротехнических сооружений. Эксперименты на физических моделях целесообразны во всех тех случаях, когда в исследуемых процессах принимает участие комплекс различных природных явлений.

Другие типы физических моделей служат для исследований напряженного состояния породного массива. Наиболее известными из них являются фотомеханические модели (метод фотоупругости). Напряженное состояние массива может быть дополнительно исследовано на электрических аналоговых моделях. Находят применение также объемные фотомеханические модели, в которых действие силы тяжести имитируется центробежными силами на центрифуге.

Эксперименты на моделях должны во всех случаях увязываться, с одной стороны, с шахтными наблюдениями за качественным характером проявлений горного давления и с проводимыми в подземных условиях измерениями и, с другой стороны, с результатами расчетного определения величин горного давле-

ния. В этой связи моделирование является незаменимым инструментом совершенствования средств крепления горных выработок и, следовательно, методом управления горным давлением.

5.8.2. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ [18, 87, 93, 112]

Впервые высказанная и осуществленная Г. Н. Кузнецовым идея использовать эквивалентные материалы, соответствующие в масштабе моделирования реальным материалам, для имитации на моделях массивов горных пород реализуется в лаборатории рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбауфоршунг» путем применения тонкозернистых смесей, содержащих портландцемент, глиноземистый цемент, кварцевую муку, известковую пыль или золу-унос из электрофильтров. Из таких смесей при варьировании содержания отдельных компонентов можно готовить материалы с разными прочностными свойствами, соответствующими в масштабе 1 : 10 прочностным свойствам угля, глинистого сланца и песчаника. Детали крепей также изготавливаются с соблюдением определенного масштаба в отношении площади поперечного сечения, предела текучести, модуля упругости или предела прочности на одноосное сжатие.

Моделирование проявлений горного давления. Стенд для испытаний моделей подготовительных выработок. Он состоит из двух достаточно прочных рам (горизонтальной и вертикальной), в которые укладывают модель породного массива и которые служат в качестве опоры для гидравлических домкратов.

Нагружение каждой из четырех боковых узких сторон модели производится при помощи пяти гидродомкратов, работающих от отдельных маслонасосов и развивающих усилие до 1000 кН. Крышка лицевой поверхности модели прижимается еще четырьмя гидродомкратами. Управление гидродомкратами и контроль за давлением в них, перемещением поршней и потребляемой маслонасосами мощностью осуществляется с центрального пульта. При помощи датчиков давления и перемещения могут быть реализованы любые программы равномерных и неравномерных режимов нагружения модели.

На стенде для испытаний моделей подготовительных выработок в масштабе 1 : 10 воспроизводится плоский участок породного массива, имеющий форму квадратной плиты (в пересчете на натуру 20×20×4 м). Он имитирует собой ближайшее окружение контура выемочного штрека, которое последовательно подвергается нагрузкам в соответствии с расстоянием от лавы и рассматриваемым поперечным сечением штрека. При этом предполагается, что лава движется параллельно оси штрека. Таким образом, на модели могут быть воспроизведены все виды напряженного состояния, начиная от действия опережающего опорного давления в то время, когда с обеих сторон штрека

находился нетронутый угольный массив, и кончая деформацией выработки после отработки пласта с обеих сторон штрека.

Моделируются условия, соответствующие глубине горных работ от 600 до 1200 м. Если принять, что средняя плотность пород в массиве составляет 2500 кг/м^3, то для глубины 600 м получаем величину горного давления 15 МПа, соответствующую 1,5 МПа в модели. Давление от отсутствующих в модели вышележащих породных слоев создается при помощи гидродомкратов. Давление, действующее на штрек, может возрасти в несколько раз по сравнению с геостатическим, если моделируемый участок находится в зоне влияния краевых частей соседних пластов. Моделируемый плоский участок породного массива нагружается в горизонтальном положении, поэтому давление от собственного веса пород в своде обрушения над штреком (соответствующее в натуре, например, 0,1 МПа) может не учитываться, поскольку оно весьма мало по сравнению с прилагаемой нагрузкой (например, 30 МПа).

Устройство для испытаний отдельных участков породного массива. Поскольку смятие со складкообразованием неподрезанных контуром штрека породных слоев, находящихся в его кровле или почве, вызывается действием параллельного напластованию давления, представляется целесообразным испытывать отдельно участки породного массива кровли или почвы выработки. Такие эксперименты можно подготавливать сравнительно быстро и проводить их на прессе для испытаний строительных материалов в условиях одноосного сжатия.

Стенд для испытаний моделей очистных выработок. Он служит для экспериментов на вертикально установленных моделях породного массива размером 10×2×0,4 м с линейным масштабом 1 : 10. Вертикальное расположение модели позволяет учитывать воздействие собственного веса пород, так что имеется возможность наблюдать за изменением горного давления с учетом собственного веса отделившихся от массива породных масс непосредственной кровли.

Над моделью на протяжении 10 м (что соответствует в натуре длине участка по простиранию 100 м) установлены 40 гидропрессов, каждый из которых развивает усилие до 600 кН, а по ее бокам — еще по 8 гидропрессов. Нагружение лицевой площади модели осуществляется при помощи 20 пластин, каждая из которых прижимается к модели отдельным гидроцилиндром.

Каждая пара гидравлических цилиндров приводится в действие отдельным маслонасосом. Путем регулирования нагрузки можно воспроизводить различные ситуации, относящиеся к концентрации напряжений в массиве и опусканию породных слоев. Давление в гидроцилиндрах и перемещение поршней можно задавать и контролировать при помощи электрических датчиков. Поскольку лицевая сторона модели во время ее нагружения должна быть закрыта пластинами, препятствующими бо-

Таблица 5.3

Физическая величина	Обозначение	Размерность	Масштаб моделирования
Длина, линейная деформация, прогиб	l, Δl	см	1:10
Площадь	S	см²	1:100
Объем	V	см³	1:1000
Момент сопротивления	W	см³	1:1000
Момент инерции	I	см⁴	1:10000
Ускорение свободного падения	g	см/с²	1:1
Плотность	ρ	$\frac{\text{Н(см}^2\text{/см)}}{\text{см}^3}$	1:1
Напряжение сжатия сдвига	σ	Н/см²	1:10
Напряжение сдвига	τ		
Модуль упругости	E	Н/см²	1:10
Линейная плотность	g_1	кг/см	1:100
Вес, сила	G, F	Н, кН	1:1000
Изгибающий или крутящий момент (момент силы)	M	Н·см	1:10000
Коэффициент трения	μ	—	1:1
Коэффициент Пуассона	ν	—	1:1

ковому распору материала, за деформациями призабойного пространства лавы в это время можно следить только с помощью встроенных в модель датчиков. Состояние модели на каждом этапе эксперимента фиксируется путем фотосъемки, для чего лицевая часть модели должна быть полностью открыта.

Масштабы моделирования. В основу моделирования с использованием эквивалентных материалов положен один и тот же масштаб для линейных размеров и прочностных показателей, равный 1 : 10. Исходя из этого масштабы для остальных физических величин характеризуются данными табл. 5.3.

Поскольку на моделях должно исследоваться преимущественно поведение породного массива при разрушении, а деформации при разрушении во много раз превышают упругие деформации, требования относительно соблюдения масштаба относятся в первую очередь к пределу прочности пород. Такими же показателями, как модуль упругости или коэффициент Пуассона, можно пренебречь.

Материалы модели. В лаборатории рудничной крепи и механики горных пород при изготовлении моделей используются следующие материалы: портландцемент PZ 55, глиноземистый цемент в качестве вяжущего, зола, улавливаемая электрофильтрами (ранее применялась кварцевая мука или известковая пыль), вода.

Таблица 5.4

Эквивалентный материал	Массовая доля компонентов				Время затвердевания, мин	Прочностные показатели, МПа			Горная порода, моделируемая в масштабе 1 : 10
	глиноземистого цемента	портландцемента	золы	воды		предел прочности на сжатие	предел прочности на изгиб	модуль упругости	
A	1	2	24	6,5	30	13	4	2000	Песчаник
B	1	2	35	9	45	6	2	1200	Алевролит
C	1	2	40	10,7	50	4	1,2	1000	Песчанистый сланец
D	1	2	45	11,4	55	3	1	800	Глинистый сланец
E	1	2	100	25,1	110	1,6	0,5	600	Крепкий уголь
K	1	2	150	35	200	0,8	0,4	400	Уголь средней крепости
L	1	2	200	50	300	0,6	0,3	300	Мягкий уголь

Смеси указанных компонентов в определенных соотношениях дают возможность изготавливать материалы, прочностные показатели которых соответствуют в масштабе 1 : 10 прочностным свойствам осадочных пород карбона (табл. 5.4).

Слои, формирующие модель породного массива, укладываются и выравниваются механическим способом. Поверхности контакта между отдельными слоями на модели характеризуются коэффициентом трения 0,8—1, что примерно соответствует коэффициенту трения межслоевых поверхностей в натуре. Поверхность скольжения с коэффициентом трения 0,3 воспроизводят с помощью парафинированной шелковой бумаги. Трещины естественного происхождения можно воссоздать различными способами.

Для моделирования деревянных костров используется бальзовая древесина, модуль сжатия которой примерно в 10 раз меньше, чем у сосны. Стальные элементы крепей моделируются чистым алюминием с пределом текучести 0,42 МПа, что также примерно в 10 раз меньше, чем у высокосортной стали. Элементы бетонных крепей воспроизводятся эквивалентными материалами с любыми заданными прочностными показателями.

Моделирование поведения крепей. Для решения отдельных задач были сооружены специальные стенды, краткое описание некоторых из них приведено ниже.

Испытания различных форм оснований секций щитовой механизированной крепи для определения характера нагружения почвы. Важным фактором, влияющим на «запахивание» секций крепи при их передвижке, является форма передней кромки основания секции. Влияние формы носков основания исследовали при экспериментах на модели в масштабе 1 : 10. Модель состояла из

песчаной постели, по которой при помощи домкрата передвижки передвигали щитовую крепь. Основание крепи прижимали к почве гидродомкратом с усилием, которое соответствовало реальному усилию, действующему на основание при передвижке секции. Измерению подлежала глубина вдавливания основания в почву после каждого шага передвижки.

Исследования устойчивости крепи в лавах, подвигаемых по падению пласта. Их проведение преследовало цель установить требования к ограждениям щитовых крепей, работающих в лавах с обрушением кровли при подвигании забоя по падению пласта. При линейном масштабе модели 1 : 10 масштаб для работы (энергии) должен быть равным 1 : 10 000, масштаб для скорости — $1 : \sqrt{10}$, для прочностных характеристик — 1 : 10 и для коэффициента трения — 1 : 1.

Раму модели, заполненную натурными породами кровли и почвы, можно было регулировать, меняя тем самым угол падения и мощность пласта или конвергенцию кровли и почвы в лаве.

Стенд для испытаний одиночных рам арочной крепи. На нем испытываются в масштабе 1 : 10 рамы арочной крепи с целью определения их несущей способности и деформируемости.

Стенд для испытаний взаимосвязанных рам арочной крепи. Имеется также стенд для испытаний в масштабе 1 : 10 взаимосвязанных 19 рам арочной крепи, предназначенный для установления несущей способности и деформируемости арок при различных способах межрамных соединений.

Модели для исследований напряженного состояния массива. Подобного рода модели служат преимущественно для воспроизведения в заданном масштабе характера и размеров крупных деформаций породного массива. Для изучения напряженного состояния издавна применяются фотомеханические и электрические аналоговые модели.

Фотомеханическое моделирование напряженного состояния массива при ведении очистных работ в районе перегибов угольных пластов. Применявшиеся ранее способы оценки напряженного состояния породного массива и цифровая модель Г. Эверлинга непригодны для изучения его напряженного состояния в местах перегибов угольных пластов (синклиналей и антиклиналей). В этом случае для решения поставленных задач используются фотоупругие модели. Отработка отдельных участков пластов имитируется в них путем вырезания полостей в материале модели. Образующиеся в модели изохромы дают представления о характере распределения напряжений в начале и конце эксперимента. Расположение изохром пропорционально разности главных напряжений $\sigma_1 - \sigma_2$ и позволяет получить представле-

ние о распределении главных касательных напряжений в зонах влияния очистных работ, поскольку главное касательное напряжение определяется разностью главных нормальных напряжений $2\tau = \sigma_1 - \sigma_2$.

Главные касательные напряжения являются одновременно критерием напряженного состояния породного массива.

Фотомеханическое моделирование напряженного состояния массива при ведении очистных работ в районе перегиба угольных пластов, дополняемое экспериментами на электрических аналоговых моделях. Если помимо главных касательных напряжений требуется исследовать также главные нормальные напряжения, рекомендуется применять в сочетании с методом фотоупругости метод электроаналогий. Исследования, проведенные таким комплексным методом, позволили, в частности, установить, что при разработке пологих пластов непосредственно над и под выработанным пространством, а также рядом с ним образуются зоны, в которых горизонтальное давление уменьшается и в зависимости от краевых условий даже меняет знак, приводя к напряжениям растяжения. Для выявления таких зон необходимо точное знание характера горизонтального давления в ненарушенном породном массиве. Если давление во всех направлениях одинаково, то напряжения растяжения не образуются. В случае крутонаклонного залегания пластов даже при незначительном горизонтальном давлении образуется параллельная напластованию компонента горного давления, препятствующая возникновению растягивающих напряжений.

Хотя метод фотоупругости требует относительно больших затрат, его применение позволяет непосредственно выявить зоны, наиболее опасные в отношении обрушения. Метод электрических аналогий после оборудования соответствующей модели обеспечивает получение точных результатов, которые, хотя и не представляют сами по себе практического интереса, но в сочетании с методом фотоупругости дают возможность выявить зоны наибольших и наименьших напряжений.

6. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ*

6.1. КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

6.1.1. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК И ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ [6, 30]

Исходные данные. Производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок позволяют получать при небольших затратах труда исходную информацию, необходимую для оценки состояния выемочных штреков и их проектирования. К такой информации относятся:

данные о состоянии приконтурного массива штреков (характер процесса конвергенции, доля пучения почвы и опускания кровли в общей конвергенции, высота штрека и его ширина по почве в месте измерения конвергенции, необходимая глубина подрывки почвы);

данные о состоянии крепи (степень деформирования крепи, наиболее деформированные элементы рам, поведение податливых элементов и межрамных распорок или стяжек, изменения конструкции крепи).

Методика выполнения производственных наблюдений предусматривает, что получаемые результаты предоставляются одновременно руководству и техническому отделу шахты и лаборатории рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг».

Оперативная оценка результатов. Быстрая обработка результатов производственных наблюдений дает возможность получить требуемые для руководителей шахты данные о состоянии выработки, чтобы при необходимости своевременно принять оперативные меры (например, по усилению крепи, подрывке кровли или почвы). Оперативная обработка данных позволяет также сделать заключение о возможности извлечения крепи при погашении штрека и целесообразности ее повторного использования, а также о поведении проходящих шахтные испытания штрековых крепей новых типов.

---

* Автор раздела В. Каммер.

Периодическая оценка результатов. Техническому отделу шахты, занимающемуся проектированием очистных и подготовительных работ, данные производственных наблюдений оказывают существенную помощь в следующих случаях:

при разработке мероприятий, необходимых для поддержания выработок в зонах влияний краевых частей по соседним пластам или геологических нарушений;

при оценке крепи, включая отдельные ее элементы и средства охраны со стороны выработанного пространства, с целью установления целесообразности ее применения в проектируемых штреках;

при определении эффективности мероприятий по креплению выработок и выбору их расположения;

при сравнении поведения крепи в выработках на разных участках одного и того же пласта;

при сравнении поведения крепи в выработках на других пластах со сходными горно-геологическими условиями.

Для лаборатории рудничной крепи и механики горных пород результаты производственных наблюдений дают возможность получить исходные данные, необходимые для:

дальнейшего совершенствования конструкций крепей на основе более точных сведений о поведении эксплуатируемых крепей;

определения области применения крепей различных типов в зависимости от свойств боковых пород;

разработки эффективных мероприятий в особых случаях проявления горного давления;

разработки методов прогнозирования появления особых случаев проявлений горного давления.

Методика производственных наблюдений за состоянием подготовительных выработок предусматривает, что результаты каждой отдельной серии наблюдений обрабатываются по-разному в соответствии со специфическими требованиями, предъявляемыми руководством и техническим отделом шахты или лабораторией рудничной крепи и механики горных пород.

При этом принимается во внимание то обстоятельство, что на состояние штрека и соответственно на поведение крепи воздействует множество факторов, каждый из которых в отдельности не может быть учтен. Речь идет, таким образом, о статическом методе, основанном на закономерностях исследований большого числа данных. Деформации крепи измеряются в большинстве случаев с точностью не до миллиметров, а сантиметров. Контроль за состоянием выработки путем таких часто повторяющихся измерений производится в течение определенного промежутка времени.

Проектные расчеты. Лаборатория рудничной крепи и механики горных пород разработала в 1970 г. метод производственных наблюдений за состоянием подготовительных выработок,

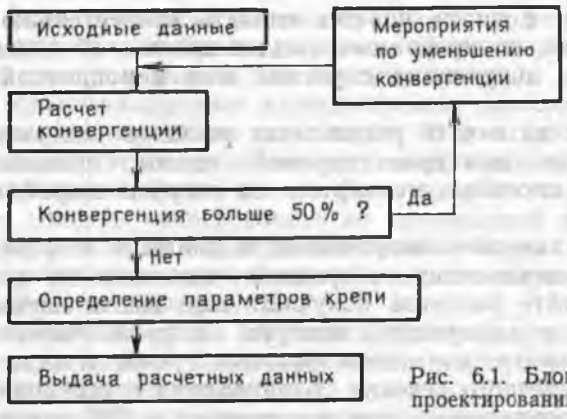


Рис. 6.1. Блок-схема расчетов по проектированию крепи

чтобы иметь возможность получать достаточно большие массивы данных, пригодные для статистической обработки. В результате обработки таких данных была выведена формула, позволяющая определить конечную конвергенцию выработки на основе немногих исходных данных, получение которых не связано с какими-либо трудностями. Она используется при расчетах ожидаемой конвергенции и проектировании крепи, выполняемых с учетом других факторов по специальной машинной программе.

На блок-схеме (рис. 6.1) показана последовательность операций при выполнении подобных расчетов. Если конвергенция превышает 50% исходной высоты выработки, автоматически просчитываются альтернативные варианты, в которых предусматриваются мероприятия по снижению конвергенции, например, переход на проведение штрека общим забоем с лавой или с отставанием от нее, изменение положения штрека относительно зоны влияния краевой части пласта и т. д. В соответствии с ожидаемой конвергенцией выбирают затем наиболее целесообразный вид крепи.

Исходные данные и результаты расчетов. В качестве исходных используется небольшое число данных, заносимых в формуляр ЭВМ. Безусловно необходимыми являются данные о схеме проведения штрека (с опережением лавы, общим забоем с ней или с отставанием от нее), глубине горных работ, мощности пласта и условных показателях прочности пород почвы. Все другие величины вводятся в расчет при необходимости, если, например, предусматривается использовать какой-то определенный тип крепи или способ выкладки околоштрековых полос. Кроме того, может быть задана максимальная конвергенция штрека, которая не должна быть превышена. В этом случае программой предусматривается просчет всех альтернативных вариантов с мероприятиями по уменьше-

нию конвергенции. Если не удается снизить конвергенцию до заданного значения, то программа выдает данные об ожидаемой конвергенции, полученные с учетом всех мероприятий по ее снижению.

В выдаваемых на печать результатах расчетов содержатся прогнозные данные для проектируемой схемы проведения штрека при трех способах его охраны со стороны выработанного пространства.

Наряду с ожидаемой конвергенцией и данными о возможных пределах ее отклонения от средней величины по длине штрека в результате расчетов получают еще шесть параметров, относящихся к деформации контура штрека. Расчетные значения конвергенции, смещения боковых стенок и остаточной площади поперечного сечения сравниваются с усредненными величинами, полученными при измерениях в 230 штреках на шахтах Рурского бассейна.

После этого выдаются данные о рекомендуемом типе крепи (податливые или жесткие арочные рамы, трапециевидная крепь). Если не задано каких-либо специальных условий относительно паспорта крепления, то в машинной распечатке приводятся данные о требуемом удельном расходе металла на крепление, а также формулы для определения расстояния между рамами или соответственно линейной плотности спецпрофиля. При заданных площади поперечного сечения и линейной плотности спецпрофиля рассчитывается требуемое расстояние между рамами крепи.

Указания о целесообразности проведения различных производственных мероприятий. Они выдаются при наличии особо оговоренных при расчете условий.

Если условный показатель прочности пород почвы больше 3,5, то рекомендуется, чтобы ширина околоштрековой полосы была не больше 0,6 м; в нормальных случаях ширина околоштрековой полосы составляет 0,7 мощности пласта.

При мощности пласта менее 1,3 м проведение штрека с отставанием от лавы нецелесообразно из-за слишком малой высоты в месте сопряжения лавы со штреком.

При проектируемой ширине околоштрекового угольного целика более 4 м в расчете выдается также значение ожидаемой конвергенции для ширины целика 2 м с напоминанием, что деформация штрека при меньшей ширине целика снижается.

При мощности пласта более 1,8 м нежелательно охранять штрек со стороны выработанного пространства без выкладки околоштрековой полосы, поскольку нижние сегменты арочных рам не имеют достаточной опоры со стороны извлеченного пласта и подвергаются продольному изгибу.

Штреки, предназначенные для повторного использования, рекомендуется проводить с двусторонней узкой раскоской шириной 0,6 м. Смещение боковых стенок и пучение почвы зависят от ширины раскоски.

Если тип крепи задан заранее, то в результате расчетов указывается, выбрана ли крепь правильно или же она является слишком слабой или излишне мощной.

Программируемые альтернативные предложения. Если ожидаемая конвергенция превышает 50% исходной высоты выработки, то необходимо ввести в программу альтернативные предложения (если это не было сделано заранее), позволяющие снизить конвергенцию до приемлемой величины. В частности, речь идет о следующих возможностях:

применении другого способа охраны штрека со стороны выработанного пространства;

изменении схемы (порядка) проходки штрека;

перемещении проектируемого штрека в разгруженную от горного давления зону;

использовании более жесткого материала для заполнения закрепного пространства;

уменьшении ширины околоштрекового угольного целика.

6.1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК [6, 43]

Метод наблюдений. В наблюдаемом штреке выбираются определенные контрольные рамы, на которых производятся все измерения. Линейные размеры измеряются рулеткой, а деформации крепи определяются визуально. Продолжительность измерений в каждой точке 6 мин. Измеренные величины заносятся в специальный формуляр. Практика показывает, что один человек за смену может произвести измерения в 20 выемочных штреках.

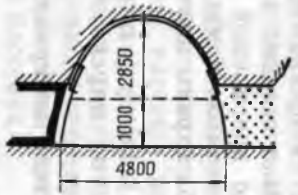
Простейшая обработка результатов, выполненная вручную, которая требуется для представления сведений руководству шахты или инженеру по креплению, занимает в среднем 20 мин. Детальная обработка производится на ЭВМ по программе, разработанной лабораторией рудничной крепи и механики горных пород. Сведения о других способах измерений и задачах проектирования и текущей эксплуатации выемочных штреков, которые решаются с помощью данных, получаемых при производственных наблюдениях, приведены ниже.

Измерения. Общие данные. Для каждого контролируемого штрека вначале в специальный формуляр (табл. 6.1) заносятся общие сведения. Начальные размеры крепи указываются на эскизе, помещаемом в правом верхнем углу формуляра. После этого определяются рамы, которые должны быть контрольными. Первая такая рама находится в самом начале штрека. Целесообразно, чтобы расстояние между контрольными рамами было одинаковым по всей длине штрека, но величина этого расстояния принимается произвольно. В штреках со значительными различиями в состоянии крепи оно должно быть меньше, чем в штреках с примерно одинаковым дефор-

Таблица 6.1

Общие данные о выработке (заполняются один раз)		
Шахта	*«Хуго»*	
Участок	*8*	
Пласт	*B*	
Вид штрека	*Вентиляционный*	
Угол падения пласта	*8°*	
Мощность пласта	*1,8 м*	
Глубина	*850 м*	
Штрек проводится с опережением на с отставанием на	*25 м* —	
Площадь поперечного сечения в свету	*16 м²*	
Подрезана ли кровля пласта?	*Да*	

Эскиз поперечного сечения штрека с указанием контролируемых размеров



Положение относительно лавы (регистрируется при каждом измерении)

Дата	*16.12.1975*				
Номер контрольной рамы	*5*				

Расстояние между контрольнымн рамами	*20 м*	Расстояние контрольной рамы от лавы	*16 м*			
Вид спецпрофиля	*ТН*					
Линейная плотность спецпрофнля	*36 кг/м*	Дата				
		Номер контрольной рамы				
Вид затяжки	*Решетчатая*	Расстояние контрольной рамы от лавы				
Число межрамных распорок	*6*					
Используется или нет ударный винтоверт?	*Да*	Дата				
		Номер контрольной рамы				
Изменение крепи при проходе лавы	*Удаление стойки рамы на сопряжении с лавой*	Расстояние контрольной рамы от лавы				
Способ охраны штрека: со стороны лавы с противоположной стороны	*Ангидритовая полоса* *Угольный массив*					

Примечание. Курсивом набраны сведения, заносимые в формуляр при измерениях (*Ред.*).

Таблица 6.2

Контрольная рама № 5	Дата						
	16.12.1975						
Деформация элементов рамы:							
стойки со стороны лавы	2						
стойки с противоположной стороны	1						
верхняк со стороны лавы	1						
верхняк с противоположной стороны	—						
другие элементы крепи:	—						
1	—						
2	—						
3	—						
Размеры, см:							
между кровлей и почвой	360						
ширина по почве	435						
между средней линией и кровлей	260						
между средней линией и почвой	100						
Состояние соединений элементов рамы:							
со стороны лавы	2						
с противоположной стороны	1						
в кровле	—						
Число межрамных распорок	6						
Глубина подрывки почвы, см	—						
Изменения крепи на сопряжении с лавой	1						

Примечания. *Изменения крепи:* 1 — отсутствие изменений; 2 — постановка усиливающих рам; 3 — перекрепление той же крепью; 4 — перекрепление другой крепью; 5 — подрывка почвы.

Деформации крепи: 1 — отсутствие деформаций; 2 — небольшие деформации; 3 — сильные деформации; 4 — небольшие разрушения; 5 — сильные разрушения.

Повреждения соединений: 1 — отсутствие повреждений; 2 — ослабление одной накладки; 3 — ослабление двух накладок; 4 — разрыв одной накладки; 5 — разрыв двух накладок.

мнированием крепи. Число контрольных рам в одном штреке должно быть не больше 30. При каждом измерении необходимо фиксировать положение лавы относительно контрольных рам. Для этого в правом нижнем углу формуляра записывают расстояние между лавой и ближайшей контрольной рамой, находящейся за лавой, а также номер этой рамы.

Измерения на штрековой крепи. Для каждой контрольной рамы заполняется отдельный формуляр (табл. 6.2). В первых семи графах формуляра проставляются условные показатели визуальной оценки деформированности отдельных элементов контрольной рамы (от 1 до 5). Значения этих показателей приведены в табл. 6.3.

Помимо названных в формуляре можно регистрировать также состояние других элементов крепи (например, лежней, средних стоек и др.). Соответствующие обозначения вписываются в строках «Другие элементы крепи». В следующих стро-

Таблица 6.3

Эскиз	Условный показатель и его значение	Критерий оценки состояния элементов крепи
	1 Отсутствие деформаций	Отсутствие видимых признаков деформаций
	2 Небольшие деформации	Признаки начинающейся деформации
	3 Сильные деформации	Сильная деформация
	4 Небольшие разрушения	Сильная деформация со скручиванием
	5 Сильные разрушения	Разрушение элементов крепи

ках формуляра (см. табл. 6.2) отмечаются размеры контрольной рамы в свету, а также расстояния между торцами элементов рам в податливых соединениях. Далее заносится условный показатель внесенных в крепь изменений. При нескольких изменениях соответствующие показатели записываются через запятую. Если в штреке была произведена подрывка почвы, то указывают глубину подрывки. Измерения повторяют после подвигания забоя штрека или лавы на 20—50 м.

Чтобы определить доли участия в конвергенции опускания кровли и пучения почвы, в поперечном сечении штрека определяют так называемую «среднюю» линию (см. эскиз в табл. 6.1). Конечные точки этой линии отмечают на стойках рам (в зависимости от типа крепи) — на каком-то определенном расстоянии от верха или низа. Между ними туго натягивается шнур, от которого измеряются расстояния до кровли и почвы выработки. Устанавливаемые во время очередных измерений изменения указанных расстояний представляют собой относительные величины опускания кровли и пучения почвы, поскольку

Таблица 6.4

Показатель	Дата		
	16.12.1975		
Ширина полосы, см:			
у кровли	240		
у почвы	150		
Высота полосы, см:			
закладка деревом полости между рамой крепи и полосой («Да» — 1; «Нет» — 2)	310 1		
Мощность пласта в месте выкладки полосы, см	320		
Расстояние между концом полосы и угольным забоем, см	540		
Расстояние между забоем штрека и лавой, м	25		

ку их определяют по отношению к зафиксированным на крепи точкам.

В качестве замерных точек могут также использоваться головки анкеров, закрепленных по всей глубине шпуров, или специальные измерительные анкеры. В таких случаях наблюдают сдвижение приконтурного породного массива, но не крепи. Выбор точек, между которыми измеряют конвергенцию выработки, зависит от постановки задач производственных наблюдений. Методика обработки результатов остается одной и той же.

Изменения на околоштрековых полосах. При наблюдениях за деформацией околоштрековых полос заполняется еще один формуляр (табл. 6.4) со схемой расположения полосы относительно лавы (рис. 6.2). За ширину призабойного пространства на сопряжении лавы со штреком принимается расстояние между угольным забоем и концом околоштрековой полосы или последним костром, выложенным вдоль штрека со стороны лавы. Для проверки прилегания околоштрековой полосы к кровле в формуляре указываются ее высота (или высота кострового ряда) и мощность пласта, измеренная до выкладки полосы.

Измерения в закрепном пространстве. Для учета влияния пустот в закрепном пространстве в девяти точках контрольной рамы измеряют расстояния между крепью и породным контуром выработки (рис. 6.3). Эти измерения производят сразу же после установки рамы крепи в забое. При заполнении закрепного пространства пенопластом его протыкают мерной рейкой до упора ее в породный массив. Результаты измерений заносят в специальный формуляр.

Измерения на сопряжении лавы со штреком. Одновременно с наблюдениями в выемочных штреках

Рис. 6.2. Схема расположения околоштрековой полосы относительно лавы:
1 — выработанное пространство; *2* — лава; *3* — околоштрековая полоса; *4* — заложенная деревом полость между рамой крепи и околоштрековой полосой

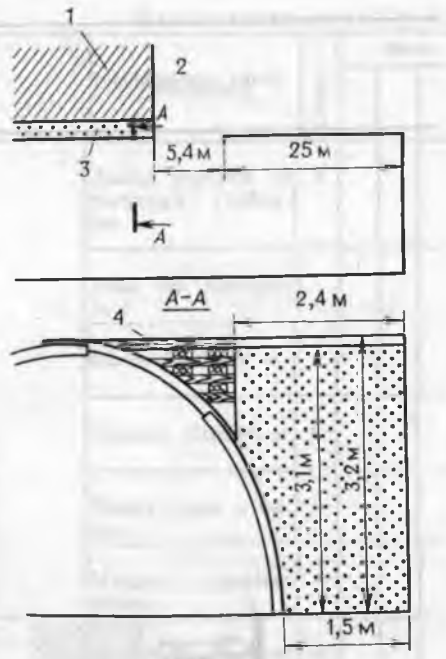
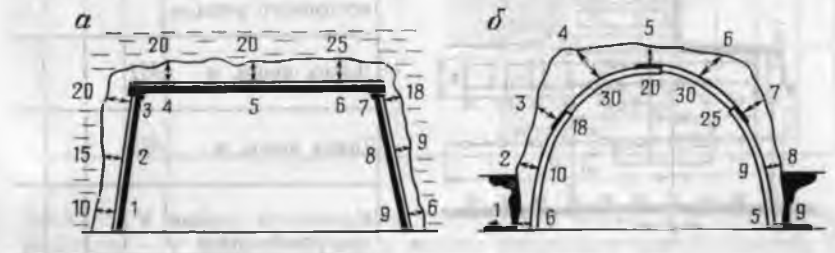


Рис. 6.3. Схемы расположения точек измерения размеров пустот в закрепном пространстве в штреках:
а — трапециевидной формы (цифры в контуре сечения выработки — номера точек измерения, за контуром — замеренные величины пустот в закрепном пространстве); *б* — арочной формы (цифры в контуре сечения выработки — замеренные величины пустот в закрепном пространстве, за контуром — номера точек измерения)

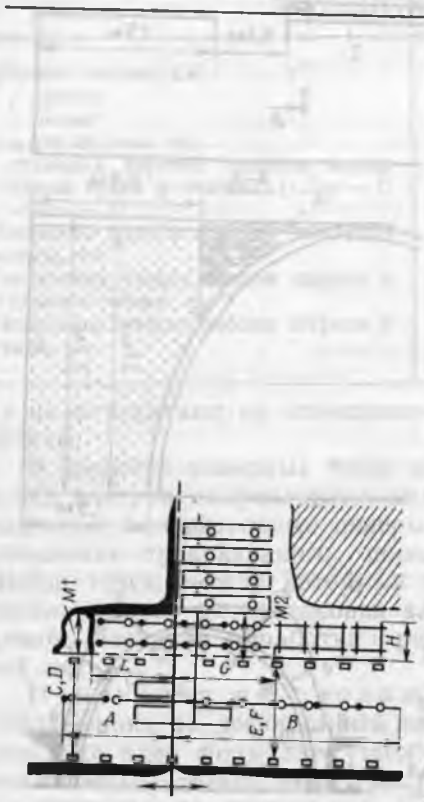


следует контролировать состояние сопряжений лав со штреками. Результаты наблюдений заносятся в специальный формуляр (табл. 6.5) при каждом цикле наблюдений в штреках.

Наблюдения проводятся раздельно в зонах перед конвейером и за ним. Линия раздела этих зон проходит по забойной стороне конвейера.

В верхних строках формуляра записывают данные о протяженности зоны сопряжения штрека с лавой. В строке «Число удаленных стоек в рамах штрековой крепи» указывается, какое число стоек рам штрековой крепи было удалено в момент наблюдения, чтобы обеспечить передвижку лавного конвейера. В нижних строках записывают данные, относящиеся к штреку и к средним стойкам. Ширину выработки по почве и ее высоту (в свету) измеряют в зоне перед лавным конвейером у бли-

Таблица 6.5

Эскиз сопряжения	Показатели	Символ	Дата		
	Расстояние от забоя ниши до конвейера, м	*L*			
	Расстояние от конвейера до последнего костра, м	*G*			
	Число удаленных стоек в рамах штрековой крепи	—			
	Ширина кострового ряда или околоштрековой полосы, м	*H*			
	Расстояние от забойной крепи до кострового ряда, м	*I*			
	Длина ниши, м	*M1*			
	Длина ниши, м	*M2*			
	Крепь в зоне кострового ряда	*N*			
	Зона перед конвейером				
	Высота штрека, м	*D*			
	Ширина штрека, м	*C*			
	Число стоек в нише	—			
	Число средних стоек	—			

Продолжение табл. 6.5

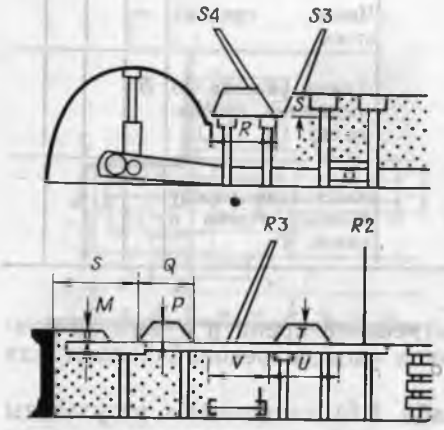
Эскиз сопряжения	Показатели	Символ	Дата		
	Длина участка со средними стойками, м	*A*			
	Зона за конвейером				
	Высота штрека, м	*F*			
	Ширина штрека, м	*E*			
	Число стоек в нише	—			
	Число средних стоек	—			
	Длина участка со средними стойками, м	*B*			
	Расстояние между забоем штрека и лавой, м				

жайшей к забою ниши рамы штрековой крепи и в зоне за конвейером — у первой рамы у конца околоштрековой полосы или кострового ряда.

В последнем формуляре (табл. 6.6) записывают результаты наблюдений за состоянием кровли пласта в месте пересечения ее контуром штрека. Вначале подсчитывается число раскрытых трещин в зависимости от их направления. Раскрытые трещины подразделяются на параллельные лаве (R2, R3 и R4) и параллельные штреку (S2, S3 и S4). Среди трещин, параллельных лаве, различают (как и при наблюдениях за состоянием кровли в лавах) нормальные к напластованию R2, косые, наклоненные к забою лавы, R3 и косые, наклоненные к выработанному пространству, R4. Трещины, параллельные штреку, распределяются аналогичным образом: S2 — нормальные к напластованию; S3 — косые, наклоненные к штреку; S4 — косые, наклоненные к выработанному пространству.

Раскрытая трещина считается параллельной штреку (S2, S3 и S4), если она образует с его осью угол от 0 до 45°. При

Таблица 6.6

Эскиз	Дата	Показатель	Символ	Дата	
		*Вывалы над конвейером*			
		Форма	—		
		Высота, м	*P*		
		Ширина, м	*Q*		
		Длина, м	*R*		
		Расстояние между кромкой вывала и забоем, м	*S*		
		Вывалы за конвейером			
		Форма	—		
		Высота, м	*T*		
		Ширина, м	*U*		
		Длина, м	—		
		Расстояние между кромкой вывала и забойным бортом конвейера, м	*V*		
		Открытые трещины перед конвейером, параллельные лавы R:			
		R2			
		R3			

Продолжение табл. 6.6

Эскиз	Дата	Показатель	Символ	Дата
		R4		
		параллельные штреку S:		
		S2		
		S3		
		S4		
		Открытые трещины за конвейером параллельные лаве:		
		R2		
		R3		
		R4		
		параллельные штреку:		
		S2		
		S3		
		S4		

угле, большем 45°, трещина принимается параллельной лаве (R2, R3 или R4). Открытые трещины регистрируют отдельно для зон впереди лавного конвейера и за ним (см. табл. 6.6).

В верхней части формуляра записывают результаты измерений размеров вывалов в кровле пласта, также отдельно для зон перед забойным конвейером и за ним. В строке «Форма вывала» отмечается, какими трещинами ограничена с боков полость вывала и принимала ли участие в образовании вывала

параллельная напластованию трещина R1. Вывал, образованный трещинами R3, R4 и R1, обозначается символом «314». Если в месте образовавшегося вывала отсутствуют плоскости отдельности R1, такой вывал обозначают символом «34». Вывалы по поверхностям тектонического ослабления обозначаются в строке «форма вывала» кружком.

Высоту вывала регистрируют в следующей строке. Как и в случае наблюдений за состоянием кровли в лаве, вывалы высотой меньше 5 см не регистрируются. Если высота вывала изменяется, то принимают среднюю величину. Следующим измеряемым размером является ширина вывала, определяемая по простиранию. Максимальная длина вывала может соответствовать длине ниши *M*. Вывалы, простирающиеся в зоне за конвейером, учитываются только на участке, равном длине ниши.

В следующей строке указывается расстояние *S* между кромкой первого вывала и забоем ниши или забойным бортом конвейера, если вывал находится в зоне за конвейером.

6.1.3. ОПЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ НА ЭВМ

Оперативная обработка вручную. Непосредственно после завершения наблюдений их результаты могут быть обработаны вручную с получением наиболее важных характеристик контролируемых выработок. Для такой обработки на каждый из обследованных штреков требуется затратить не более 20 мин. При этом получают графические характеристики следующих показателей: высоты штрека; опускания кровли и пучения почвы; необходимой глубины подрывки почвы; ширины штрека; деформаций контрольных рам крепи.

Машинная обработка данных. Общие данные. Шахта, пласт, участок, глубина разработки, мощность и угол падения пласта, вид штрека, усиление крепи на сопряжении с лавой. Тип крепи, расстояние между рамами, тип спецпрофиля, линейная плотность спецпрофиля, высота и ширина штрека, исходная длина нахлестки сегментов в податливых соединениях, площадь поперечного сечения (в свету). Способ охраны штрека со стороны выработанного пространства и способ заполнения закрепного пространства.

Результаты наблюдений. Средние величины и стандартные отклонения: конвергенции, относительного опускания кровли, относительного пучения почвы, сближения боков штрека, относительного опускания кровли и пучения почвы в зависимости от положения лавы.

Отдельные результаты наблюдений: опускание кровли и пучение почвы, распределенные по отдельным дням измерений; сближения боков штрека, проседание рам крепи в податливых соединениях; распределение всех результатов наблюдений по длине штрека с привязкой дней наблюдений к положе-

нию лавы; размеры призабойного пространства на сопряжении лавы со штреком и околоштрековой полосы или кострового ряда; размеры пустот в закрепном пространстве.

Результаты наблюдений на сопряжении лавы со штреком. Средние величины и стандартные отклонения: ширины околоштрековой полосы или кострового ряда, расстояния между забоем штрека и забоем ниши, расстояния между конвейером и забоем ниши, расстояния между конвейером и концом околоштрековой полосы или последним костром, длины ниши, площади кровли, поддерживаемой околоштрековой полосой или костровым рядом, плотности установки стоек в нише, расстояния между сводом штрека и кровлей пласта, площади и высоты вывалов из кровли пласта в месте ее пересечения контуром выработки.

Отдельные результаты наблюдений: конвергенция, сближение боков выработки и степень деформированности крепи на участке штрека от его забоя до места, находящегося в 300 м за лавой, в зависимости от положения последней.

6.1.4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

При решении задач по управлению горным давлением и проектированию горных работ предприятиям рекомендуется использовать имеющиеся машинные программы и применять простые и опробованные на практике методы шахтных наблюдений, дающие пригодные для анализа результаты. Для каждого из рассматриваемых методов ниже указывается, для решения каких задач он предназначен.

Методы измерений и расчетов, предназначенные преимущественно для решения специфических научно-исследовательских задач, здесь не рассматриваются. К ним относятся, например, методы измерения фактического рабочего сопротивления крепи, давления породного массива на крепь, реакции крепи и напряжений в породном массиве.

Задачи, связанные с управлением горным давлением. Лавы и участковые подготовительные выработки. Определение зон повышенного и пониженного горного давления. Рекомендуемый метод — расчеты горного давления.

Все подготовительные выработки. Наблюдения за состоянием выработок, контроль эффективности различных мероприятий по повышению устойчивости выработок, оценка степени влияния различных факторов и их сравнение, обобщение практического опыта, специфические вопросы, относящиеся к технике крепления выработок, безопасности и технологии ведения горных работ. Рекомендуемый метод — производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок и измерения с помощью контрольных анкеров.

Выемочные штреки. Прогноз ожидаемой конвергенции и выбор типа крепи, влияние схемы проведения выемочных штреков (с опережением, общим забоем с лавой или с отставанием от нее), влияние жестких околоштрековых полос, оценка новых предложений. Рекомендуемый метод — машинная программа по проектированию выемочных штреков.

Базисные выработки. Своевременная остановка лав, приближающихся к базисным выработкам. Рекомендуемый метод — измерения в производственных условиях на специальных реперных станциях.

Групповые и полевые выработки. Прогноз конечной конвергенции на основе наблюдений за начальной стадией ее развития. Рекомендуемый метод — производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок, измерения на специальных реперных станциях. Возведение крепи после затухания процесса начальной конвергенции, вызванной проведением выработки.

Выработки специального назначения с небольшой конвергенцией. Контроль за их состоянием. Рекомендуемый метод — измерения на специальных реперных станциях.

Выработки с анкерной крепью. Проектные расчеты. Рекомендуемый метод — машинная программа для расчетов анкерной крепи в выработках с арочной формой поперечного сечения.

Контроль за состоянием выработок. Рекомендуемый метод — измерения на контрольных анкерах.

Очистные забои. Задачи и рекомендуемые методы измерений и расчетов изложены выше.

Методы измерений и расчетов. Для применения в производственных условиях рекомендуются следующие методы измерений и расчетов.

Методы измерений: производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок; измерения на специальных реперных станциях для определения конвергенции; измерения на наблюдательных станциях; измерения с помощью измерительных анкеров; производственные наблюдения за состоянием кровли в лавах; измерения давления в гидросистемах механизированных крепей лав.

Методы расчетов: расчеты горного давления; машинная программа для проектирования выемочных штреков; машинная программа для расчетов анкерной крепи в выработках с арочной формой поперечного сечения; расчет ожидаемой частоты вывалов в кровле проектируемой лавы.

Производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок. Производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок выполняются на большом числе точек (например, с интервалом в 20 м) настолько часто, чтобы имелась возможность статистической оценки результатов. Для

обеспечения сопоставимости результатов они ведутся по единой для всех выработок и шахт схеме. При этом выполняются лишь наиболее простые линейные измерения (например, между определенными элементами крепи, а также между крепью и боковыми породами) и наблюдения (например, за деформацией элементов крепи, оцениваемой условными числовыми показателями). Точки измерений на почве могут быть зафиксированы специальными реперами.

Все наблюдения на шахте могут выполнять один-два человека. Это обеспечивает после оперативной обработки результатов получение сведений, требуемых для повседневной эксплуатации выработок. Обработка результатов наблюдений с получением данных, необходимых для проектирования горных работ и решения определенных научно-исследовательских задач, выполняется с помощью машинной программы, разработанной в институте «Бергбау-форшунг». Лаборатория рудничной крепи и механики горных пород методически руководит проводимыми на шахтах производственными наблюдениями, обеспечивает машинную обработку результатов, ведет картотеку наблюдаемых выработок и производит на ее основе комплексную обработку результатов наблюдений, например, для прогноза ожидаемой конвергенции в проектируемых выработках.

Метод производственных наблюдений за состоянием подготовительных выработок позволяет решать такие важные для производства задачи, как:

подготовка для технического руководства шахты экстренной, периодической или регулярной информации о состоянии какой-то определенной выработки и происходящих в ней изменениях (так называемая оперативная обработка результатов производственных наблюдений);

контроль за сетью горных выработок в пределах участка или крыла шахтного поля (машинная обработка данных);

контроль результатов расчетов ожидаемой конвергенции. При наличии отклонений фактических значений от расчетных определяются причины отклонений (например, приток воды, неправильно выбранный показатель прочности пород почвы, появление нарушения, недостатки в конструкции крепи или паспорте крепления, в заполнении закрепного пространства, устройстве околоштрековых полос, неучтенное влияние краевых частей по соседним пластам). Результаты такого контроля служат для совершенствования прогноза конвергенции и для целей дальнейшего проектирования;

количественная проверка, оценка и усовершенствование на основе полученных результатов технологии поддержания выемочных штреков (например, механизации возведения крепи, способов упрочнения почвы и охраны штрека со стороны выработанного пространства, схем проведения выработки по отношению к лаве);

оценка результатов испытаний новых способов и средств крепления и поддержания штреков. Данные наблюдений и измерений в штреках, в которых была определена ожидаемая конвергенция, сравниваются с результатами расчета, выполненными для обычной крепи, а для штреков, для которых прогноз конвергенции пока невозможен, — с результатами наблюдений и измерений — на участке того же штрека, пройденном и закрепленном с использованием обычной технологии;

определение степени влияния краевых частей пластов, угольных целиков и других факторов;

оценка возможности широкого применения нового способа, проводимая путем сопоставления результатов испытаний в одном или нескольких штреках с аналогичными результатами, полученными на других пластах, других шахтах и в других бассейнах;

накопление данных о поведении подготовительных выработок (приконтурного породного массива и крепи) в специальной картотеке с целью последующих исследований и количественной оценки;

создание статистического банка данных для тех подготовительных выработок, для которых еще не имеется достаточно большого числа результатов наблюдений, чтобы можно было произвести корреляционный анализ, позволяющий вывести расчетные формулы для прогноза ожидаемой конвергенции.

Измерения конвергенции на специальных реперных станциях. Производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок предусматривают измерения деформации крепи и пучения почвы по отношению к элементам крепи. При использовании же специальных реперов, в качестве которых применяются стержни диаметром 12 и длиной 150 мм, устанавливаемые в шпуры того же диаметра, измеряется конвергенция приконтурного породного массива. Трудоемкость измерений в этом случае выше, чем при обычных производственных наблюдениях, но ниже, чем при использовании измерительных анкеров. Статистическая обработка результатов таких измерений (по машинной программе, как и в случае производственных наблюдений) возможна в том случае, если установлено достаточно большое число реперов. Графическая обработка результатов измерений по каждой отдельной паре реперов при помощи графопостроителя производится в том же порядке, как и при измерениях на измерительных анкерах.

Измерения с помощью реперов целесообразно применять:

при наблюдениях за состоянием выработок, вокруг которых вообще не ожидается сдвижений породного массива или же такие сдвижения должны быть крайне незначительными (например, машинные камеры, околоствольные дворы, шахтные стволы);

в тех случаях, когда постоянную жесткую или малоподатливую крепь предусматривается возводить после окончания раз-

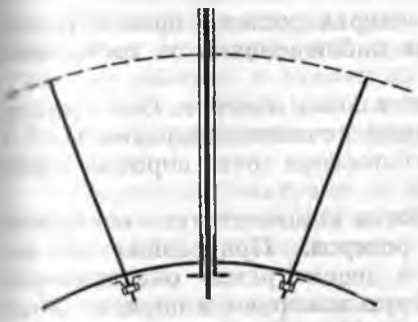


Рис. 6.4. Схема устройства контрольного анкера

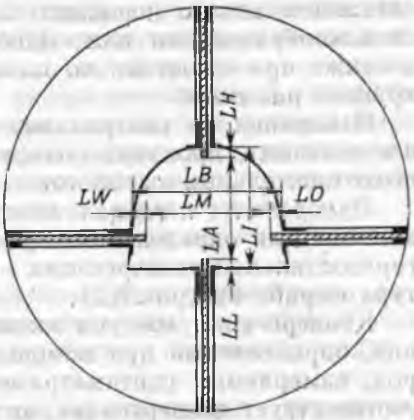


Рис. 6.5. Схема установки измерительных анкеров в поперечном сечении выработки:

LI и *LB* — соответственно вертикальная и горизонтальная конвергенции породного контура выработки; *LA* и *LM* — соответственно вертикальная и горизонтальная конвергенции ненарушенного приконтурного массива; *LO* (*LW*), *LH* и *LL* — смещение породного контура соответственно в боках, кровле и почве выработки

вития процесса конвергенции, вызванной проведением выработки;

в тех случаях, когда по развитию начальной конвергенции необходимо определить путем экстраполяции ее конечную величину (обязательное условие — знание закономерности развития конвергенции, например, во времени);

для определения предельного приближения лавы к базисной выработке, при котором конвергенция в ней не превысит определенной величины;

при специальных исследованиях работы крепи (например, при использовании податливой забутовки закрепного пространства или при одностороннем опускании кровли, или на сопряжении лавы со штреком), когда необходимы измерения конвергенции крепи и приконтурного породного массива. В этих случаях могут оказаться полезными также простейшие нивелирные съемки.

Измерения с помощью контрольных анкеров. Контрольные анкеры (рис. 6.4) служат для визуальных наблюдений за расслоением приконтурного массива по смещению хвостовика анкера с нанесенной на нем отметкой относительно закрепленной в шпуре замка. Они служат для контроля:

удлинения анкерных штанг;

сдвижения приконтурного породного массива, закрепленного анкерами или упрочненного нагнетанием вяжущих составов, с отделением его от окружающего ненарушенного массива,

сдвижение одного породного слоя относительно другого при складкообразовании или одностороннем опускании кровли, а также при смещении по плоскостям природных трещин или хрупких разломов.

Измерения на контрольных анкерах должны производиться в сочетании с производственными наблюдениями за состоянием подготовительных выработок.

Измерения с помощью измерительных анкеров. Они предназначены для определения с высокой точностью вертикальной и горизонтальной конвергенции и сближения точек породного контура выработки (рис. 6.5).

Конвергенция контура выработки соответствует конвергенции, определяемой при помощи реперов. При сдвижениях пород, измеряемых сантиметрами и дециметрами она примерно соответствует конвергенции, которую измеряют в порядке обычных производственных наблюдений. При обработке результатов измерений с помощью графопостроителя достигается возможность экстраполяции. Соответствующая машинная программа находится в распоряжении шахт и лаборатории рудничной крепи и механики горных пород.

Измерения с помощью измерительных анкеров требуют значительно больших затрат труда и времени, чем производственные наблюдения или измерения на контрольных анкерах. Поэтому их результаты, как правило, не используются для статистических расчетов средних величин и определения регрессионных уравнений.

С помощью измерительных анкеров решаются следующие важные для практики горных работ задачи:

связанные с технологией крепления выработок и преследующие цель приспособления специальных способов крепления и поддержания подготовительных выработок к специфическим свойствам приконтурного породного массива глубиной примерно до 6 м (например, выбор схемы расположения и глубины закрепления анкерной крепи, определение оптимального момента начала тампонирования пород вяжущими составами и глубины их нагнетания, определение времени установки средней стойки до момента начала образования складок в породах кровли);

связанные с обеспечением безопасности горных работ.

Измерительные анкеры, в частности анкеры большой длины, применяются преимущественно в исследовательских целях, например для измерений относительных смещений при расслоении пород и при взаимном сдвижении породных слоев в приконтурном массиве (в шпурах длиной 2, 4 или 6 м дополнительно к производственным наблюдениям или к измерениям на контрольных реперах или контрольных анкерах), для определения сжатия породных слоев как результата повышения горного давления, а также для установления величины опускания или поднятия породных слоев за пределами зоны значительных деформаций приконтурного массива выработки.

Расчеты горного давления. На основе маркшейдерских планов с нанесенными на них отработанными, действующими и запланированными к отработке выемочными полями рассчитывается горное давление в местах расположения горных выработок. Расчеты ведутся для различных положений фронта очистных работ, что позволяет определять изменения горного давления. Все расчеты и анализ их результатов выполняются лабораторией рудничной крепи и механики горных пород.

Расчеты, связанные с перераспределением горного давления, позволяют:

выбирать оптимальные по фактору проявлений горного давления схемы расположения подготовительных выработок, подготовки и последовательности отработки выемочных полей и участков;

устанавливать для заданной схемы подготовки выемочных полей зоны повышенного и пониженного давления и ожидаемые величины прироста давления, что дает возможность заблаговременно планировать проведение соответствующих профилактических мероприятий;

определять ожидаемые конвергенцию выработок и интенсивность вывалов из кровли в лаве;

оценивать результаты испытаний новых типов крепей или новых способов управления кровлей путем сравнения с существующими при исключении факторов, обусловленных различиями в величине горного давления.

Машинная программа проектирования выемочных штреков. На основе данных о схемах проведения и способе крепления выемочного штрека, принятых в проекте, сведений о строении породного массива и данных регрессионного анализа по уже контролировавшимся выемочным штрекам рассчитываются ожидаемые конвергенция и деформация крепи. В результате расчетов выдается распечатка с оценкой проектного решения и альтернативными предложениями и указаниями о возможной их эффективности. Расчет и анализ результатов выполняется лабораторией рудничной крепи и механики горных пород.

Рассматриваемая программа дает возможность:

определять ожидаемые величины конвергенции, деформации крепи и требуемой глубины подрывки почвы;

оценивать правильность выбора схемы проведения штрека (с опережением, общим забоем с лавой или с отставанием от нее), типа крепи и способа охраны со стороны выработанного пространства;

выбирать альтернативные варианты, способствующие снижению конвергенции в штреке, и оценивать эффект их использования.

Машинная программа проектирования анкерной крепи для выработок с арочной формой поперечного сечения. Основная программа дает возможность по заданным величинам (форма поперечного сечения выработки, предельные расстояния между

анкерами в ряду и между рядами анкеров) при соблюдении требований правил безопасности определять следующие параметры:

площадь и периметр поперечного сечения выработки;

размеры отделившегося от массива породного блока, обусловливающего нагрузку на крепь;

число анкеров, активно воспринимающих нагрузку;

общее число анкеров;

расстояние между рядами анкеров;

общую плотность анкерной крепи;

общее число анкеров на 1 м длины выработки;

коэффициент надежности.

Дополнительная программа служит для выбора наиболее целесообразных вариантов и определения точных размеров схемы взаимного расположения анкеров; графопостроитель обеспечивает вычерчивание в заданном масштабе схем крепления выработки. Расчеты по программе выполняются лабораторией рудничной крепи и механики горных пород.

6.2. ВЫЕМОЧНЫЕ ШТРЕКИ НА ШАХТАХ РУРСКОГО БАССЕЙНА

6.2.1. СХЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ [28, 32, 41]

Различия в схемах проведения штреков. Выемочные штреки в зависимости от схем их проведения можно подразделить на несколько типов. При этом существенную роль по фактору горного давления играет порядок отработки выемочного участка — обратный или прямой, а при прямом порядке отработки — проведение штрека с опережением лавы, общим забоем с ней или с отставанием от нее (рис. 6.6). При отработке следующего участка выемочный штрек может использоваться повторно, но иногда приходится проходить второй штрек. При этом между старым и новым штреками оставляют узкий угольный целик.

Положение выемочных штреков относительно лавы. Анализ статистических материалов при соответствующем отнесении штреков на участках с комбинированным (Z-образным) порядком отработки показывает, что из общего числа выемочных штреков 67,3% (65,4%) проходили во время очистных работ и поддерживали после прохода лавы, а оставшиеся 32,7% (34,6%) — проходили до начала очистных работ на всю длину выемочного участка (к ним относятся также штреки, используемые повторно) и погашали после прохода лавы*. В общей сложности к началу очистных работ на участках имелось 51,4%

* Автор приводит данные за 1977 г. Соответствующие показатели за 1983 г. даются нами в скобках. — *Примеч. пер.*

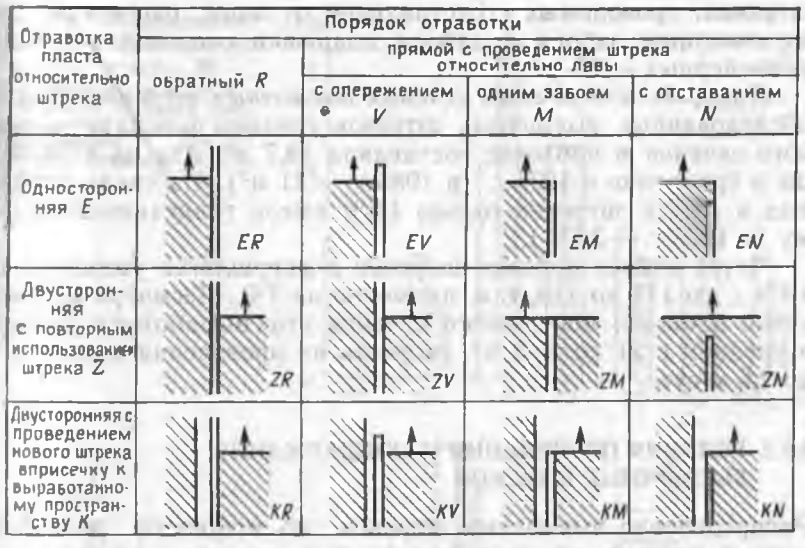


Рис. 6.6. Классификация выемочных штреков по схемам их проведения и положению относительно обслуживаемых лав

(66,6%) штреков, из которых 18,7% (22%) поддерживались после прохода лавы.

Из всех имевшихся к началу очистных работ штреков 21% (15,4%) относился к числу используемых повторно.

Одновременно с очистными работами проходили 48,6% (43,4%) всех выемочных штреков, из них около трех четвертей (76,3%) — с опережением лавы (в 1983 г. — 73%). В последнее время стали более часто применять благоприятные по фактору горного давления схемы с проведением штреков общим забоем с лавой и с отставанием от нее. Доля первых возросла по сравнению с 1975 г. с 2,4 до 9,9%, вторых — с 9,5 до 13,8% общего числа штреков, проводимых во время очистных работ (в 1983 г. соответственно 9 и 18%).

Если рассматривать раздельно верхние (вентиляционные) и нижние (конвейерные) штреки, то из первых на повторно используемые приходится 28,5%, из вторых — 13,5% (в 1983 г. соответственно 25,2 и 5,5%).

Число участков, на которых к началу очистных работ вообще не было выемочных штреков, т. е. участков, отрабатывавшихся в прямом порядке, существенно сократилось. Если в 1975 г. они составляли около 49% всех обследованных участков, то в 1977 г. их было только 32,3% (в 1983 г. — 28%).

Длина участка опережения при проведении выемочных штреков впереди лавы существенно увеличилась: в среднем для вентиляционных штреков с 28 м в 1975 г. до 35 м в 1977 г., для конвейерных — соответственно с 28 до 38 м. В вентиляционных

штреках, проводимых с отставанием от лавы, расстояние между очистным забоем и забоем подрывки составляло 8,9 м, в конвейерных — 15 м.

Площадь поперечного сечения выемочных штреков. Для 520 обследованных выемочных штреков средняя площадь поперечного сечения в проходке составляла 18,7 м², что на 4,5% больше в сравнении с 1975 г. (в 1983 г. — 21 м²). Из числа пройденных в 1977 г. штреков только 1,6% имели трапециевидную форму (в 1975 г. — 3,7%).

Число забоев полевых штреков и квершлагов увеличилось с 1974 г. со 111 до 119, т. е. примерно на 7%. Несмотря на увеличение площади поперечного сечения этих выработок в проходке в среднем с 21 до 23,5 м², скорость их проведения возросла с 2 до 2,6 м/сут.

6.2.2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

Распределение выемочных штреков по мощности разрабатываемых пластов, площади поперечного сечения и способу охраны выработок со стороны выработанного пространства характеризуется данными, приведенными на рис. 6.7—6.9.

Из общего числа 500 выемочных штреков, в которых до конца 1979 г. проводились производственные наблюдения, для статистической обработки были отобраны 130 штреков с односторонним и 130 штреков с двусторонним выработанным пространством. Эта статистическая обработка была произведена для установления влияния различных факторов на конвергенцию в выработках. Штреки, над которыми находились параллельные им краевые части по вышележащим пластам, не включались в число анализируемых, так как действие краевой части пласта распределяется равномерно по всей длине выработки. Штреки, над которыми находились перпендикулярные к ним краевые части по вышележащим пластам, из числа учтенных не исключались, поскольку одна половина такого штрека испытывала повышенное, а другая — пониженное давление, и средняя конвергенция, рассчитанная по всей длине выработки, незначительно отличалась от конвергенции штреков, находившихся в нормальных условиях эксплуатации. При регрессионном анализе не учитывались данные, полученные на первых и последних 100 м подвигания лавы.

6.2.3. СОСТОЯНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ [31]

Средние остаточные поперечные сечения выемочных штреков после прохода лав (при условии, что подрывка почвы в штреке не производилась) приведены на рис. 6.10. Там же приведены значения просадки арок крепи в податливых соединениях.

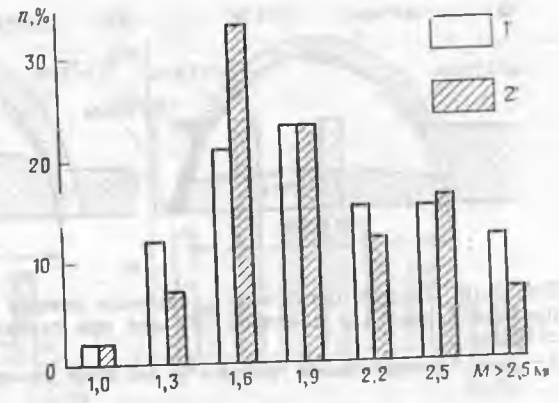


Рис. 6.7. Распределение выемочных штреков по мощности пласта, M:
1 — по всем шахтам Рурского бассейна (средняя мощность пласта 1,8 м); *2* — по обследованным штрекам (средняя мощность пласта 1,8 м)

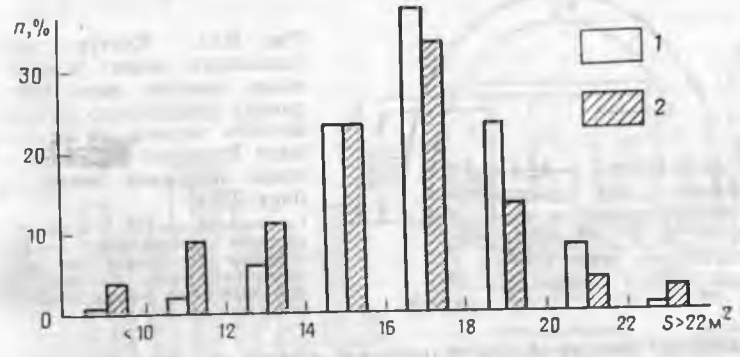


Рис. 6.8. Распределение выемочных штреков с арочной крепью по площади поперечного сечения в свету S:
1 — по всем шахтам Рурского бассейна (средняя площадь поперечного сечения 17 м²); *2* — по обследованным штрекам (средняя площадь поперечного сечения 16,1 м²)

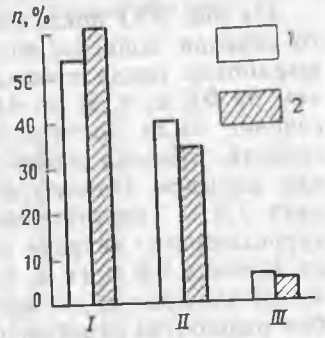


Рис. 6.9. Распределение выемочных штреков по способу охраны со стороны выработанного пространства по всем шахтам Рурского бассейна (*1*) и по обследованным выработкам (*2*):
I — деревянные костры; *II* — жесткие околоштрековые полосы; *III* — без охраны

Просадка рам крепи в боковых соединениях при повторном использовании штрека увеличивается примерно в 1,5, а в верхнем соединении — даже в 2 раза. Это означает, что после прохода первой лавы верхнее податливое соединение в результате относительно малой подвижки все еще сохраняет податливость, в то время как податливость боковых соединений в значительной мере уже исчерпана. Как показывает практика, из-за де-

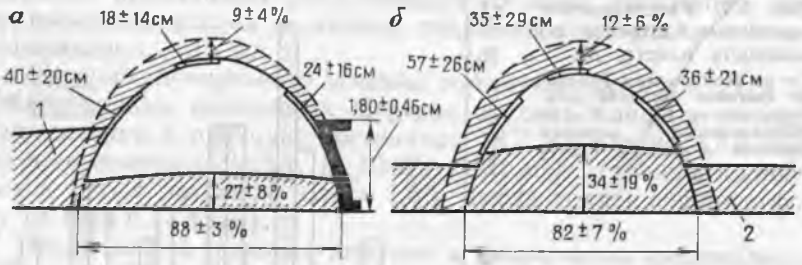


Рис. 6.10. Среднее остаточное поперечное сечение выемочного штрека после прохода первой (*а*) и второй (*б*) лав при глубине разработки $H=847\pm104$ м:

1 — лава; *2* — выработанное пространство или узкий угольный целик

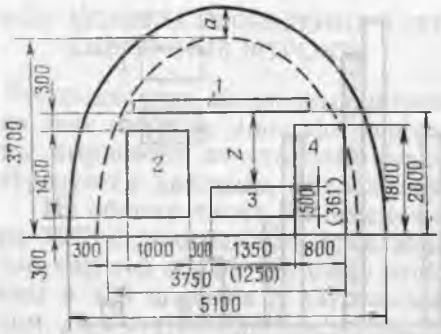


Рис. 6.11. Контур исходного (сплошная линия) и остаточного после прохода лавы (штриховая линия) поперечного сечения выемочного штрека (в среднем для шахт Рурского бассейна) при условии подрывки почвы на глубину 0,8 м:

1 — водяной заслон; *2* — вагонетка для доставки материалов; *3* — ленточный конвейер; *4* — проход для людей; *а* — опускание кровли; *z* — минимально допустимый зазор между ленточным конвейером и заслоном

формации спецпрофиля элементы крепи заклиниваются нажестко.

На рис. 6.11 показаны средние исходные размеры поперечного сечения конвейерного штрека (площадью 16,1 м²). Высота выработки после прохода лавы должна уменьшаться не более чем на 0,5 м, т. е. на 14% исходной высоты, чтобы оставшееся сечение было достаточным для передвижения транспортных средств, прохода людей и размещения заслона для локализации взрывов. Однако поскольку средняя конвергенция составляет 1,3 м (соответственно 36% исходной высоты), в таком «усредненном» штреке необходимо произвести подрывку почвы на глубину 0,8 м (т. е. на 22% исходной высоты). Если подрывку почвы производят сразу на 0,8 м, то в месте ремонтных работ выработка становится практически непригодной для транспорта угля или материалов и прохода людей.

Из гистограмм распределения выемочных штреков по степени деформированного породного контура (рис. 6.12) и крепи (рис. 6.13) видно, что состояние примерно 23% всех обследованных штреков можно считать неудовлетворительным (конвергенция свыше 40% исходной высоты), 12% — хорошим (конвергенция не более 20%) и 65% — удовлетворительным (конвергенция 21—40%).

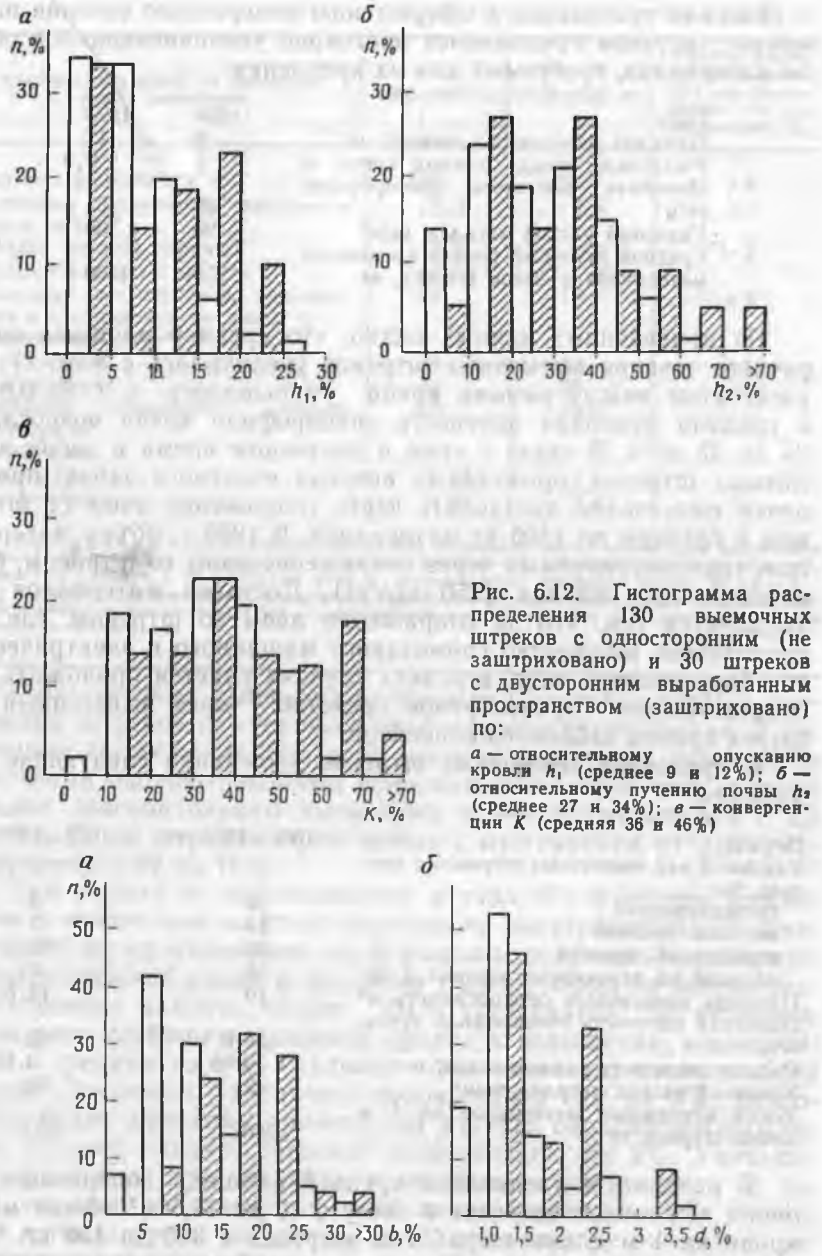


Рис. 6.12. Гистограмма распределения 130 выемочных штреков с односторонним (не заштриховано) и 30 штреков с двусторонним выработанным пространством (заштриховано) по:

а — относительному опусканию кровли h_1 (среднее 9 и 12%); *б* — относительному пучению почвы h_2 (среднее 27 и 34%); *в* — конвергенции *K* (средняя 36 и 46%)

Рис. 6.13. Гистограмма распределения 130 выемочных штреков с односторонним (не заштриховано) и 30 штреков с двусторонним выработанным пространством (заштриховано) по:

а — относительному сближению боков *b* (среднее 12 и 18%); *б* — условному показателю деформированности арок крепи *d* (среднее 1,4 и 1,8%)

Важные требования к оформлению поперечного сечения выемочных штреков предъявляет постоянно увеличивающийся объем материалов, требуемых для их крепления:

Годы	1958	1978
Площадь поперечного сечения, м²	8	17
Расстояние между рамами крепи, м	1	0,8
Линейная плотность спецпрофиля, кг/м	25	35
Удельный расход металла, кг/м³	28	30
Средний суточный расход крепежных материалов в забое штрека, кг	250	1500

Из приведенных данных видно, что средняя площадь поперечного сечения выемочных штреков увеличилась с 8 до 17 м², расстояние между рамами крепи уменьшилось с 1 до 0,8 м, а средняя линейная плотность спецпрофиля крепи возросла с 25 до 35 кг/м. В связи с этим в настоящее время в забои выемочных штреков, проводимых впереди очистного забоя, приходится ежесуточно доставлять через сопряжение лавы со штреком в среднем по 1500 кг материалов. В 1958 г. объем материалов, транспортируемых через сопряжение лавы со штреком, был относительно невелик (250 кг/сут). Доставка материалов затрудняется тем, что на сопряжении лавы со штреком, где сосредоточено множество громоздкого машинного и электрического оборудования, лишь в редких случаях удается проложить соответствующее транспортное средство через вынесенный на штрек привод забойного конвейера.

В креплении выемочных штреков произошли следующие изменения.

Период	1962—1965 гг.	1972—1977 гг.
Удельный вес выемочных штреков с крепью, %:		
трапециевидной	12	3
жесткой арочной	13	5
податливой арочной	27	90
арочной на деревянных кострах и др.	48	2
Площадь поперечного сечения в свету, м²	10	15,5
Линейная плотность спецпрофиля крепи, кг/м	29,6	33
Расстояние между рамами крепи, м	30,88	0,85
Удельный расход металла, кг/м³	2	29
Масса крепежных материалов на 1 м длины штрека, кг	320	450

В результате увеличения средней площади поперечного сечения выемочных штреков в свету с 10 до 15,5 м² общая масса крепи на 1 м длины выработки возросла с 320 до 450 кг.

В указанный период глубина разработки увеличилась на 120 м (табл. 6.7). Показатели прочности пород почвы ухудшились незначительно. Средняя вынимаемая мощность пласта возросла примерно на 20 см. Геологические условия обследованных выемочных штреков стали несколько более трудными.

Таблица 6.7

Факторы, влияющие на конвергенцию в выработке	1965—1967 гг.	1972—1977 гг.	Участие фактора в приросте (+) или уменьшении (—) конвергенции, %
Глубина разработки, м	730	850	+8
Условный показатель прочности пород почвы*	2,5	2,7	+2
Индекс способа охраны	2,3	1,8	—2
Мощность пласта, м	1,62	1,85	
Удельный вес штреков, проводимых с отставанием от лавы, %	22	10	+3
Конвергенция, %:			
расчетная	23	34	+11
измеренная	22	35	+13
Площадь поперечного сечения в свету, м²	10	15,5	—
Высота, м:			
исходная	3,25	3,8	—
остаточная	2,54	2,47	—

Примечания: 1. Условный показатель прочности пород почвы для песчаников равен 1, песчанистых сланцев — 2, глинистых сланцев — 3, «кучерявчика» — 4, угля — 5, глинистых сланцев с прослойками угля и «кучерявчика» толщиной менее 20 см — 6.

2. Индекс охраны штрека со стороны выработанного пространства для жестких околоштрековых полос соответствует 1, деревянных костров — 2, без возведения полос или выкладки костров — 3.

Существенные изменения произошли в способах охраны выемочных штреков со стороны выработанного пространства. В настоящее время около 30% всех выемочных штреков охраняются жесткими околоштрековыми полосами, вследствие чего средний индекс способа охраны выемочных штреков уменьшился с 2,3 до 1,8. Доля штреков, проводимых с отставанием от лавы, сократилась с 22 до 10%.

Три первых из перечисленных в табл. 6.7 факторов (совместно с мощностью пласта) определяют конвергенцию. В зависимости от их изменения, по формулам, полученным лабораторией рудничной крепи и механики горных пород на основе регрессионного анализа, может быть установлена ее величина. Так, рост глубины разработки привел к повышению конвергенции в среднем на 8%. Ухудшение физико-механических свойств пород обусловило увеличение конвергенции еще на 2%. Благодаря более широкому применению жестких околоштрековых полос удалось снизить среднюю конвергенцию на 2%. Уменьшение удельного веса штреков, проводимых с отставанием от лавы, вызвало увеличение средней конвергенции на 3%. Различие в типах крепи ни сейчас, ни 10 лет назад не оказывало заметного влияния на конвергенцию. Поэтому можно считать, что деформирование штреков не зависит от типа крепи, поскольку речь идет о штреках с арочной крепью. Суммарное повышение расчетной конвергенции составило 11%, а именно с 23% в 1967 г. до 34% в 1977 г.

Измеренная конвергенция увеличилась с 22 до 35% исходной высоты выработок. Таким образом, фактическая конвергенция весьма удовлетворительно соответствует расчетной.

Площадь поперечного сечения выемочных штреков в свету увеличилась за тот же период с 10 до 15,5 м², причем начальная высота выработок возросла в среднем с 3,25 до 3,80 м. Однако это не обеспечило увеличения остаточной высоты, которая в 1977 г. стала даже на 7 см меньше, чем была в 1967 г. Таким образом, путем увеличения площади поперечного сечения штреков вряд ли возможно компенсировать ухудшение геологических условий.

6.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОНВЕРГЕНЦИЮ В ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКАХ С АРОЧНОЙ КРЕПЬЮ

6.3.1. ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ, МОЩНОСТИ ПЛАСТА, СВОЙСТВ ПОРОД ПОЧВЫ, СПОСОБА ОХРАНЫ СО СТОРОНЫ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА И КРАЕВЫХ ЧАСТЕЙ ПО СОСЕДНИМ ПЛАСТАМ [28]

В дальнейшем изложении под конвергенцией понимается ее конечное значение.

Наиболее существенными факторами, влияющими на среднюю конвергенцию пород в штреках с односторонним выработанным пространством, не подверженных воздействию параллельных этим штрекам краевых частей по соседним пластам, являются глубина, мощность пласта, свойства пород почвы (определяемые условным показателем), способ охраны штрека со стороны выработанного пространства (оцениваемый условным индексом) и высота штрека (определенная как средняя величина по 130 штрекам).

Конвергенция, выраженная в долях исходной высоты выемочного штрека, в средних для Рурского бассейна условиях:

повышается на 6,6% на каждые 100 м роста глубины разработки H (рис. 6.14);

возрастает на 4,3% при увеличении мощности пласта M на 1 м (рис. 6.15);

уменьшается на 4,3 M % при переходе от способа охраны выработки деревянными кострами к жестким околоштрековым полосам или же, когда в штреке, вообще не охраняемом со стороны выработанного пространства, начинают устанавливать деревянные костры;

увеличивается на 24,3 $\sqrt{GL}$ %, где GL — условный показатель прочности пород почвы (рис. 6.16).

Абсолютная конвергенция возрастает пропорционально увеличению исходной высоты штрека.

Таким образом, относительная конвергенция K_{EV} в штреке

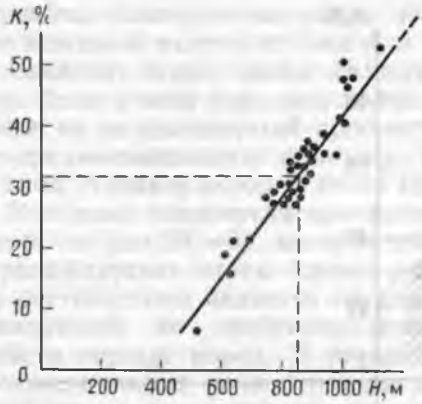


Рис. 6.14. График влияния глубины H на конвергенцию K при приведенной мощности пласта 1,7 м, условном показателе прочности пород почвы 2,5 и способе охраны штрека деревянными кострами

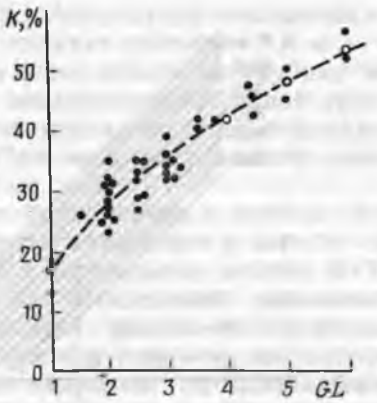


Рис. 6.16. График влияния условного показателя прочности пород почвы GL на конвергенцию K при мощности пласта 1,8 м, глубине разработки 847 м и способе охраны штрека деревянными кострами

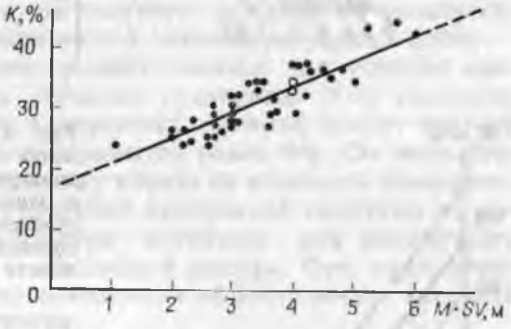


Рис. 6.15. График влияния мощности пласта M (с учетом индекса способа охраны штрека SV) на конвергенцию K при глубине разработки 847 м и условном показателе прочности пород почвы 2,5

с односторонним выработанным пространством выражается следующим уравнением регрессии:

$$K_{EV} = -78 + 0{,}066H + 4{,}3MSV + 24{,}3\sqrt{GL} \pm 3, \qquad (6.1)$$

где SV — индекс способа охраны штрека со стороны выработанного пространства (его значения приведены в табл. 6.7); GL — условный показатель прочности пород почвы (его значения приведены в табл. 6.7).

Это выражение может быть представлено в виде номограммы (рис. 6.17), дающей возможность приближенно оценить ожидаемую конвергенцию. В качестве примера показано определение конвергенции для следующих условий: глубина разработки $H = 900$ м, способ охраны штрека — деревянные костры ($SV = 2$), мощность пласта $M = 2$ м, условный показатель прочности пород почвы $GL = 3$.

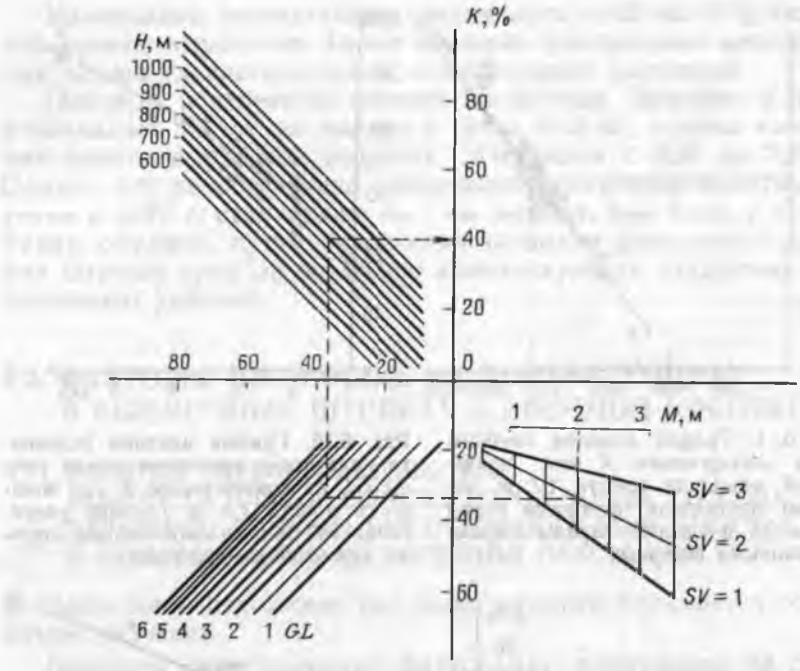


Рис. 6.17. Номограмма для определения ожидаемой относительной конвергенции в выемочных штреках с односторонним выработанным пространством (значения для $SV=1$ справедливы лишь при мощности пласта менее 1,8 м)

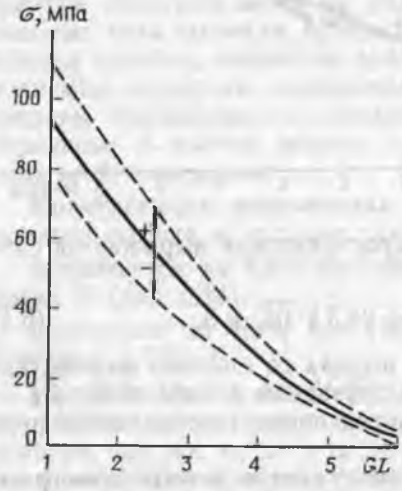


Рис. 6.18. График зависимости условного показателя прочности пород почвы GL от их среднего предела прочности на одноосное сжатие σ

В правой нижней части номограммы по заданной мощности пласта и запроектированному способу охраны штрека со стороны выработанного пространства находим исходную точку для дальнейшего определения. Затем по показателю $GL=3$ и глубине разработки $H=900$ м устанавливаем, что ожидаемая отно-

сительная конвергенция равна 40%. Абсолютная конвергенция при исходной высоте штрека 4 м составит примерно 1,6 м.

Свойства пород почвы должны учитываться на глубину до 6 м. Если в этой породной пачке находятся слои разной прочности, то из показателей прочности отдельных слоев определяют средневзвешенную величину. При этом учитываются лишь те слои, толщина которых более 10 см.

Условные показатели прочности пород почвы в данном случае те же (до $GL=6$), которые обычно применяют и наносят на маркшейдерские планы горных работ на угольных шахтах ФРГ. Их достоинством является то, что для определения указанных показателей не требуется испытаний физико-механических свойств горных пород. В то же время условные показатели прочности пород почвы отнюдь не являются произвольными. Их величина находится в количественной взаимосвязи с пределом прочности пород на сжатие (рис. 6.18).

Приведенное выше уравнение регрессии имеет с данными натурных измерений достаточно высокую сходимость — 93%. Это означает, что все поддающиеся измерениям другие влияющие факторы, если только речь не идет о статистически редких явлениях, таких как тектонические нарушения или усиленный приток воды, не оказывают существенного влияния на конвергенцию в выработках при современной технологии горных работ.

Стандартное отклонение средних величин для условий проанализированных штреков, согласно уравнению (6.1) составляет 3%. Разброс отдельных измеренных значений вокруг средней величины по одному штреку примерно равен 9%. Он возрастает пропорционально квадратному корню из величины конвергенции. Среднее отклонение отдельной измеренной величины от вычисленной по уравнению средней величины для конкретного штрека составляет 9,5% его исходной высоты. Оно лишь ненамного больше, чем разброс измеренных величин вокруг среднего значения для какого-то штрека.

Практическое значение этого анализа заключается в том, что можно определить ожидаемую конвергенцию для штрека с односторонним выработанным пространством, притом с такой точностью, которая практически соответствует разбросу измеренных значений конвергенции штрека по его длине.

Для того чтобы можно было выявить влияние отдельных наиболее существенных факторов, при помощи уравнения (6.1) условия штреков были унифицированы (например, если в каком-либо штреке при мощности пласта 1,8 м применялись жесткие околоштрековые полосы, то от измеренной конвергенции отнимали 4,3%, чтобы привести условия этого штрека к способу его охраны деревянными кострами). С помощью такого приведения можно раздельно дать зависимость конвергенции от глубины разработки (см. рис. 6.14), условного показателя прочности пород почвы (см. рис. 6.16) или от произведения мощности пласта на индекс способа охраны штрека (см. рис. 6.15).

Конвергенцию в выемочных штреках на шахтах Саарского и Нижнесаксонского бассейнов вычисляют по тем же коэффициентам в уравнении, что и для Рурского бассейна. Применимость этого уравнения для условий Саарского бассейна была подтверждена данными наблюдений в 19 выемочных штреках, а Нижнесаксонского бассейна (шахта «Иббенбюрен») — данными наблюдений в 12 штреках. Для любого другого бассейна следует проверить возможность применения уравнения (6.1) и при необходимости заново определить числовые коэффициенты.

Так, например, проведенные исследования показали, что конвергенция в выемочных штреках на шахте «Эмиль Майриш» (Ахенский бассейн) хотя и определяется теми же факторами, что и в Рурском бассейне, но степень их влияния различна. Для условий этой шахты влияние на конвергенцию мощности пласта (умноженной на индекс способа охраны штрека) и условного показателя прочности пород почвы проявляется в 3,3 раза сильнее, чем в Рурском бассейне:

$$K_{EV} = -193 + 0{,}062H + 14{,}2MSV + 80{,}7\sqrt{GL} \pm 5. \qquad (6.2)$$

Линейная плотность спецпрофиля крепи и расстояния между рамами крепи при существующих в настоящее время пределах их изменения не оказывают какого-либо ощутимого влияния на конвергенцию. То же относится и к прочности пород кровли, что справедливо, правда, только для штреков с арочной крепью, обладающей характерной несущей способностью (при все еще преобладающем заполнении закрепного пространства вручную).

Конвергенция в выработке оказывает значительное влияние на деформирование арочной крепи.

Связь между удельным расходом металла на крепление выработки A (кг/м) и относительной конвергенцией K (%) можно описать уравнением

$$A = 22e^{0{,}008K}.$$

Если удельный расход металла соответствует расчетной конвергенции или превышает ее, следует ожидать лишь незначительного деформирования крепи.

При слабых породах почвы доля их пучения в общей величине конвергенции увеличивается. Так как пучение почвы лишь незначительно повышает нагрузку на крепь, расход металла при одной и той же ожидаемой конвергенции, но с большей долей поднятия почвы может быть соответственно уменьшен, т. е. могут быть выбраны рамы из более легкого спецпрофиля. Расчет удельного расхода металла с учетом условного показателя прочности пород почвы GL производится по формуле

$$A = 22e^{\left(0{,}005 + \frac{0{,}0068}{GL}\right)K}.$$

Часто приходится располагать выемочные штреки под краевыми частями по вышележащим пластам. Для геометрически несложных случаев, при которых подрабатывают одну, две или три находящиеся друг под другом краевые части вышележащих пластов, увеличение конвергенции можно заранее оценить по результатам статистического анализа, не прибегая к расчетам на ЭВМ (вначале лишь для штреков, проводимых с опережением лавы и поддерживаемых в условиях одностороннего выработанного пространства).

В соответствии с результатами анализа данных производственных наблюдений несколько находящихся друг над другом краевых частей по вышележащим пластам оказывают на конвергенцию такое же действие, как краевая часть пласта мощностью 1 м, находящаяся на небольшом расстоянии над штреком. Такое расстояние называют эквивалентным. Как его определяют, поясним на следующем примере.

Выемочный штрек находится под двумя краевыми частями по вышележащим пластам мощностью 1,7 и 1,6 м. Первый из них расположен в 65 м от штрека по разрабатываемому пласту, второй — в 130 м. Деля мощность каждого пласта на величину междупластья и складывая частные от деления, получаем $1{,}7/65+1{,}6/130=1/26$. Полученная сумма — показатель влияния краевых частей по соседним пластам, а находящееся в знаменателе число — эквивалентное расстояние между пластами $t_э$.

Следовательно, под показателем влияния краевых частей по соседним пластам подразумевается сумма частных от деления мощности каждого из вышележащих пластов на его расстояние до разрабатываемого пласта. Чем больше число вышележащих

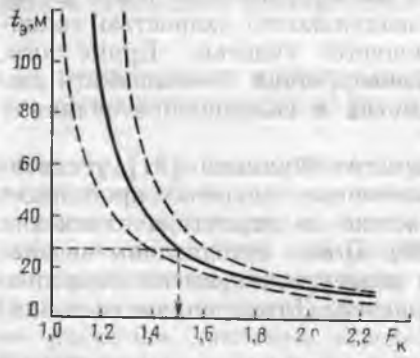


Рис. 6.19. График взаимосвязи коэффициента увеличения конвергенции $F_к$ и эквивалентного расстояния между пластами, описываемой уравнением $F_к=1+13/t\pm0{,}12$

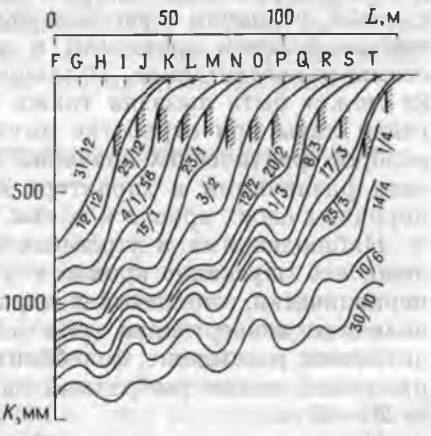


Рис. 6.20. Кривые, характеризующие периодичность конвергенции, K по длине штрека L (по Шамбону [91]): F, G, ..., T — замерные станции

пластов с краевыми частями, чем мощнее эти пласты и чем ближе они находятся от штрека, тем больше показатель влияния краевых частей по вышележащим пластам. Краевые части двух пластов мощностью 1,7 и 1,6 м, находящиеся на расстоянии 65 и 130 м от штрека, оказывают на конвергенцию в нем такое же действие, как краевая часть пласта мощностью 1 м, расположенного в 26 м над штреком.

При расчете эквивалентного расстояния между пластами можно определить влияние краевых частей на конвергенцию в штреке (рис. 6.19). Оно уменьшается в гиперболической зависимости по мере увеличения эквивалентного расстояния между пластами. Эквивалентное расстояние, равное 26 м, увеличивает, например, конвергенцию в 1,5 раза.

Кроме того, исследования показали, что конвергенция под отработанной частью по вышележащему пласту уменьшается в среднем в 0,7 раза. Влияние краевой части пласта сказывается на расстоянии в среднем ± 70 м вдоль штрека, считая от нормальной к напластованию проекции этой краевой части.

6.3.2. РАЗБРОС ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ КОНВЕРГЕНЦИИ ПО ДЛИНЕ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ С АРОЧНОЙ КРЕПЬЮ

Причины значительных колебаний конвергенции по длине выработки большей частью обусловлены технологией проходческих работ (случайности при производстве буровзрывных работ, вывалы из кровли в незакрепленном пространстве, неодинаковая тщательность возведения крепи, особенно заполнения закрепного пространства, возведения околоштрековой полосы или укладки деревянных костров, вывалы из кровли на сопряжении с лавой, различия в расходе воды, используемой при бурении и противопылевом орошении) в сочетании с местными особенностями микротектоники. Различия конвергенции по длине штрека может быть вызвана также неодинаковой скоростью подвигания лавы при отработке выемочного участка. Кроме того, разброс фактических значений конвергенции может быть вызван различиями в характере смятия и складкообразования в породных слоях кровли и почвы.

Наблюдениями в угольных шахтах Франции [91] установлено, что опускание кровли в выемочных штреках происходит периодически, что находит отражение в характере изменения величины конвергенции (рис. 6.20). После отхода лавы на значительное расстояние, колебания конвергенции имеют четко выраженный волнистообразный характер. Длина волны составляет 20—40 м.

Периодичность проявлений конвергенции производственными наблюдениями за состоянием выемочных штреков установить не удается, так как расстояние между замерными станциями выбирается заранее, например 20 м. Чтобы было можно выявить форму волн конвергенции, пришлось бы их располагать на зна-

чительно меньшем расстоянии друг от друга с соответствующим увеличением трудоемкости наблюдений. К тому же и без того значительное стандартное отклонение, получаемое при статистической обработке результатов измерений, стало бы еще бо́льшим при учете минимальных и максимальных величин конвергенции.

Анализ разброса фактических величин конвергенции в выемочных штреках показывает, что опускание кровли составляет $18\pm4\%$, а пучение почвы — $12\pm9\%$ исходной высоты штрека. В то же время суммарная величина конвергенции (опускание кровли плюс поднятие почвы) отклоняется от среднего значения не более чем на $\pm5\%$.

Величина стандартного отклонения конвергенции S (% исходной высоты штрека) по данным измерений в 60 штреках от среднего значения

$$S=1{,}55\sqrt{K}\pm1\%.$$

Определим теперь общий разброс SG, который следует ожидать при расчете величины ожидаемой конвергенции по выражению, приведенному в разд. 6.3.1. В нем остаточный разброс составляет примерно $\pm3\%$ исходной высоты штрека. Этот разброс совместно со стандартным отклонением S отдельных величин дает общий разброс SG (%):

$$SG=\sqrt{1{,}55^2K+1^2+3^2}.$$

При $K=32\%$ получаем, что $SG=\pm9{,}4\%$. Среднее стандартное отклонение отдельных величин составляет около 9% исходной высоты штрека, что лишь незначительно меньше общей величины разброса. Следовательно, приведенное в разд. 6.3.1 уравнение регрессии описывает конвергенцию штрека практически с такой же точностью, с какой определяется средняя величина фактической конвергенции по результатам измерений

6.3.3. ПОВЫШЕННОЕ ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И ПОВЕДЕНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА [72, 133]

Характеристика выемочного штрека. Результаты проводившихся исследований зависимости конвергенции в выемочных штреках от расчетного горного давления свидетельствуют о том, что в большинстве случаев она увеличивается прямо пропорционально обусловленному очистными работами приросту давления. Если величина горного давления, под которым понимается среднее расчетное давление, определенное для площади размером 10×10 м (можно принять и другие размеры площади, например 25×25 м), в примыкающем к выемочному штреку угольном массиве, возрастет на 10 МПа, то конвергенция увеличится, например, на 23 см. При приросте давления на 30 МПа конвергенция составит $3\times23=69$ см. Величину конвергенции, происходя-

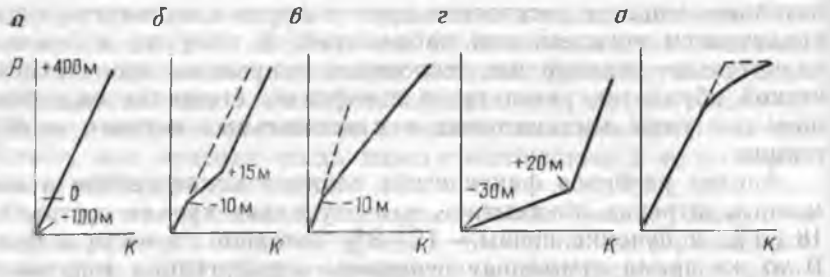


Рис. 6.21. Различные виды характеристик выемочных штреков

щей при повышении давления на 10 МПа, будем называть интенсивностью конвергенции. С помощью этого показателя можно характеризовать чувствительность штрека к повышению давления и сравнивать эффективность применения различных типов крепи в одном и том же штреке или сопоставлять различия в геологическом строении вмещающих пород в различных штреках.

При анализе результатов производственных наблюдений и расчетов горного давления следует в каждом конкретном случае устанавливать, является ли зависимость конвергенции от прироста давления линейной или же в данном случае наблюдаются отклонения от общей закономерности.

Проведенными до настоящего времени исследованиями установлено четыре вида таких отклонений. В качестве первого вида отклонений конвергенции от нормальной прямой линии (рис. 6.21, *а*) будем считать характеристику штрека с двойным изломом (рис. 6.21, *б*). Она характерна для тех случаев, когда на сопряжении лавы со штреком происходит дополнительная конвергенция. Если бы штрек проходили общим забоем с лавой или с отставанием от нее, предотвращая тем самым дополнительную конвергенцию на сопряжении с лавой, то тогда и остаточная конвергенция уменьшилась бы на эту величину.

Другой вид отклонения от нормальной конвергенции, который был также обнаружен в некоторых штреках, характеризуется меньшей интенсивностью конвергенции до подхода лавы, чем после ее прохода (рис. 6.21, *в*). В таких штреках конвергенция перед лавой возрастает весьма незначительно.

Третий вид отклонения, когда конвергенция вначале растет очень быстро, а затем ее интенсивность уменьшается (рис. 6.21, *г*), до сих пор был обнаружен только в одном выемочном штреке. Породы почвы интенсивно сминались и выдавливались на участке между забоем штрека и забоем подрывки почвы за лавой. Возможно, что интенсивное складкообразование породных слоев непосредственно у забоя штрека было вызвано повышенным под воздействием краевой части по вышележащему пласту давлением.

Четвертый вид отклонения (рис. 6.21, *д*) характерен для пород, деформация которых определяется не только давлением, но и его временем действия, т. е. для пород, обладающих свойствами псевдопластической среды. Однако такой вид конвергенции, по-видимому, в условиях выемочных штреков встречается намного реже, чем ранее предполагалось (как правило, только в базисных и других подобных им наклонных пластовых выработках). В подобного рода породах проведение выемочного штрека с отставанием от лавы может не привести к существенному улучшению его состояния, так как конвергенция за лавой увеличивается быстрее, чем растет давление.

Вполне возможны случаи одновременного появления нескольких видов отклонения конвергенции от нормального.

Проводимые в настоящее время исследования показывают, что при наличии узких целиков по вышележащему пласту, ориентированных перпендикулярно к оси штрека и находящихся на небольшом от него расстоянии, расчетное давление может быть слишком велико, обусловливая крутую характеристику штрека (при сохранении ее прямолинейности). Возможно, что за счет изменения расчетных параметров эту ошибку удастся устранить.

Зависимость конвергенции от вертикального давления не распространяется на подработанные штреки. Подъем кривой характеристики штрека, отмечаемый при производственных наблюдениях, обусловлен, по-видимому, воздействием горизонтальной составляющей горного давления.

Расчет конвергенции. Условные обозначения: Δp_N — нормальный прирост давления по длине выемочного штрека, который пройден с опережением лавы и поддерживается в условиях одностороннего выработанного пространства при отсутствии дополнительных факторов, обусловливающих изменение горного давления (таких, как над- или подработка, влияние соседних отработанных участков или целиков по тому же пласту); Δp — прирост давления при воздействии различных факторов, определяемый расчетом; p_0 — геостатическое давление в ненарушенном горными работами породном массиве на глубине H, м, $p_0 = 0{,}025\,H$, МПа; n — коэффициент кратности «нормального» прироста давления Δp_N по отношению к геостатическому p_0, $\Delta p_N = np_0$; B — коэффициент пригрузки, показывающий во сколько раз прирост давления Δp больше «нормального» прироста давления, $B = \Delta p / \Delta p_N$.

Обследованные выемочные штреки. Приведенные ниже расчеты базируются на данных, которые получены Х. Нольце [133] при обследовании 30 выемочных штреков, пройденных с опережением лавы и поддерживаемых в условиях одностороннего выработанного пространства, а также 11 штреков, пройденных общим забоем с лавой или с отставанием от нее.

Во всех обследованных штреках расчетная конвергенция K_{EV} превышала 10% исходной высоты выработок. Из общего числа обследованных штреков шесть не были надработаны вышележащими пластами, в том числе три из них относились к первому отрабатываемому в выемочном поле участку и два — к третьему. В условиях однократной над- или подработки находились 18 штреков, в условиях многократной — 15 (девять из них относились к первому в выемочном поле участку, два — ко второму и четыре — к третьему). Два штрека граничили с угольным целиком шириной 45 м; оба они находились на третьем участке выемочного поля.

Такое распределение выемочных штреков по условиям можно считать характерным для Рурского бассейна. Большая доля выемочных штреков, поддерживаемых под- или над краевыми частями соседних пластов, требует учета коэффициента пригрузки.

Коэффициент пригрузки. Исследования Х. Нольце базировались в основном на величине нормальной конвергенции K_N, соответствующей конвергенции K_{EV}. Этот параметр, рассчитываемый по методу В. Каммера, является достаточно надежным. Теперь необходимо выяснить, как изменяется конвергенция, если прирост давления отличается от «нормального» (Δp_N), например, из-за влияния краевой части по вышележащему пласту. Для ответа на этот вопрос необходимо знать величину Δp_N или соответственно $n=\Delta p_N/p_0$. В предложенном В. Каммером уравнении конвергенция K_N определяется двумя компонентами. Одна из них зависит от глубины разработки и давления, вторая же не зависит от давления. Если же зависящую от давления компоненту конвергенции оценить, как это предлагается Х. Нольце, в 10% исходной высоты, то определяемая величиной давления часть «нормальной» конвергенции K_N должна относиться к соответствующей части измеренной (фактической) конвергенции K_{gem} в той же пропорции, что и «нормальный» прирост давления $\Delta p_N=np_0$ к приросту давления Δp. Из этого следует, что

$$n=\frac{K_N-10}{K_{gem}-10}\ \frac{\Delta p}{\Delta p_N}.$$

Статистическая оценка результатов обследования названных выше выемочных штреков показала, что $n=2{,}5\pm0{,}5$. В последующем примем, что $\Delta p_N=2{,}5\ p_0=0{,}062\,H=H/16$.

Теперь можно определить для каждого штрека коэффициент пригрузки $B=\Delta p/\Delta p_0=16\Delta p/H$. По отношению к среднему коэффициенту пригрузки при $\Delta p_N=2{,}5\,p_0$ для коэффициентов пригрузки, превышающих единицу, среднее значение было равно 1,3, а у пяти штреков $B>1{,}5$. Среднее значение для коэффициентов пригрузки меньше единицы составляло 0,75; только в одном штреке было определено, что $B<0{,}5$.

Расчеты конвергенции с учетом коэффициента пригрузки. Зависящую от давления компоненту нормальной конвергенции K_{EV}, умноженную на коэффициент пригрузки B, умножают вместе с оставшейся не зависящей от давления компонентой конвергенции (10%) на коэффициент F, учитывающий порядок проведения выемочного штрека относительно лавы (с опережением лавы $F=1$, общим забоем с лавой $F=0{,}75$ и с отставанием от нее $F=0{,}5$). В этом случае общая расчетная конвергенция

$$K_{err}=[(K_{EV}-10)\,B+10]\,F.$$

При $B=\Delta p/\Delta p_N=16\Delta p/H$;

$$K_{err}=[(K_{EV}-10)\,16\Delta p/H+10]\,F.$$

Рассчитанные по указанным формулам величины конвергенции были сопоставлены со значениями фактической конвергенции, определенными путем производственных наблюдений в 28 штреках, пройденных с опережением лавы, и в 11 штреках, проводившихся общим забоем или с отставанием от лавы. Примерно 97% всех рассчитанных величин имели отклонение от фактически измеренных не более 7%. Хорошее совпадение расчетных и фактических величин конвергенции еще раз подтвердило надежность и достоверность расчетов как нормальной конвергенции K_{EV}, так и горного давления.

Горизонтальные напряжения. Нетрудно заметить, что характеристики выемочных штреков, построенные по данным регрессионного анализа (см. разд. 6.3.1), при одних и тех же влияющих факторах имеют неодинаковую крутизну. Чем больше глубина, тем положе характеристика штрека (рис. 6.22). Этот вывод вроде бы противоречит установленному ранее положению о возрастании конвергенции с увеличением нормального к напластованию давления в прямолинейной зависимости. Такое противоречие может быть объяснено следующим: крутизна подъема характеристики определяется величиной горизонтальных напряжений, действующих в период проведения штрека и существенным образом участвующих в разрушении пород.

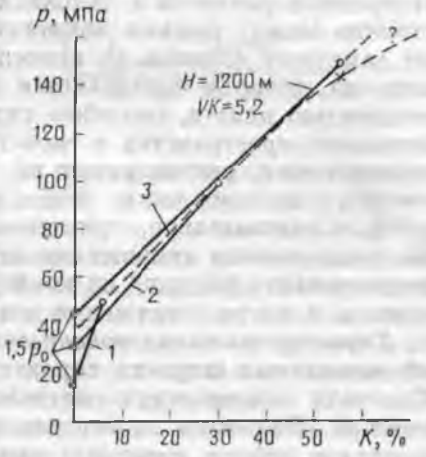


Рис. 6.22. График зависимости измеренной конвергенции K от давления p:

1 — на глубине $H=400$ м при интенсивности конвергенции $VK=1{,}7$; *2* — при $H=800$ м и $VK=4{,}3$; *3* — характеристика участка штрека до точки, находящейся в 250 м за лавой при конечном давлении $5p_0$

Горизонтальные напряжения увеличиваются пропорционально глубине и лишь незначительно изменяются при надработке.

Высказанное предположение еще требует обоснования. Однако следует отметить, что оно подтверждается данными измерений конвергенции в надработанных штреках.

6.3.4. ДЕФОРМАЦИЯ ШТРЕКА НА СОПРЯЖЕНИИ С ЛАВОЙ [43]

Факторы, влияющие на конвергенцию. Объектами статистических исследований являлись конвергенция и сближение боков выработок непосредственно на сопряжении с лавой, в 40 и 300 м за ней. В качестве влияющих факторов среди других были выбраны расстояния между рамами крепи и линейная плотность спецпрофиля, удаление или неудаление боковых сегментов арочных рам на сопряжении с лавой, число средних стоек в штреке, а также плотность крепи на концевом участке лавы в месте возведения околоштрековой полосы или выкладки кострового ряда.

Исследованиями установлено, что ни один из названных факторов не оказывает существенного влияния на конвергенцию и сближение боков штреков. Такой результат подтверждается произведенным ранее анализом большого числа данных наблюдений, выполненных лабораторией рудничной крепи и механики горных пород. На основе анализа сделан вывод, что теперешние различия в линейной плотности спецпрофиля и расстояния между рамами податливой арочной крепи не оказывают заметного влияния на конечную конвергенцию в выемочных штреках, которая определяется только глубиной горных работ, мощностью пласта, способом охраны штрека со стороны выработанного пространства и свойствами пород почвы. Ожидаемая конвергенция, рассчитанная по указанным параметрам, имеет степень достоверности 93% при стандартном отклонении $\pm 3\%$. Следовательно, применяемые в настоящее время способы поддержания сопряжения штрека с лавой не могут иметь существенного влияния на конвергенцию в выработке непосредственно в месте сопряжения и в 300 м за очистным забоем.

Характер развития конвергенции. Изменение конвергенции в обследованных штреках характеризуется графиком (рис. 6.23). Конечная конвергенция составляет 37% исходной высоты выработки. Величина конвергенции на участке между забоем штрека и забоем машинной ниши в лаве составляет 7%, или примерно одну пятую конечной конвергенции. Дополнительная конвергенция на участке сопряжения штрека с лавой равна 6%, так что у торца околоштрековой полосы конвергенция в выработке достигает 13%, или примерно двух пятых конечной конвергенции. Еще на одну пятую конечной величины уменьшается высота штрека на протяжении первых 40 м за лавой.

Подтверждением того, что конвергенция в штреке у торца

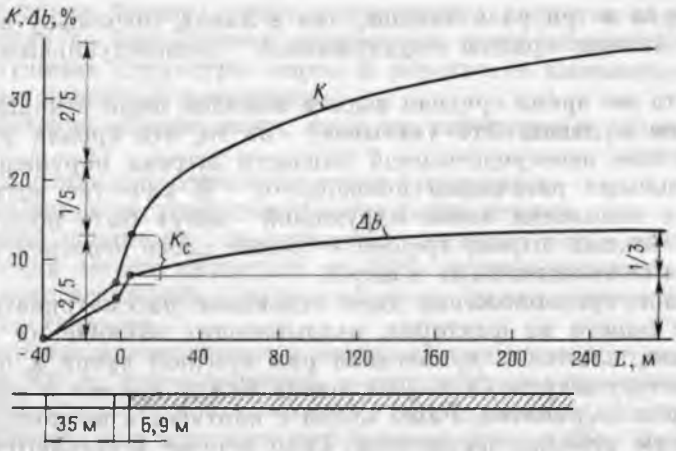


Рис. 6.23. График изменения относительной конвергенции K и сближения боков выработки Δb в зависимости от расстояния до лавы L:
K_c — конвергенция штрека в пределах сопряжения штрека с лавой

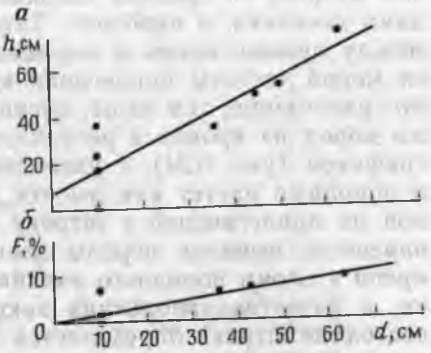


Рис. 6.24. Графики изменения высоты h ($а$) и удельной площади вывалов F ($б$) из прилегающей к штреку полосы кровли в зависимости от расстояния между рамами арочной крепи и породным контуром выработки d

околоштрековой полосы K_c (т. е. непосредственно за сопряжением выработки с лавой) составляет около двух пятых конечной величины (как при большой, так и при малой величине конечной конвергенции K_{end}), могут служить данные проведенного регрессионного анализа: $K_c = 0{,}38\,K_{end} \pm 3\%$. Полученный результат подтверждается также более ранними исследованиями, согласно которым кривые конвергенции геометрически подобны друг другу, если только условия надработки одинаковы. Они отражают ход нарастания горного давления.

Таким образом, все применявшиеся до настоящего времени способы поддержания сопряжения штрека с лавой являются равноценными и вряд ли могут быть усовершенствованы обычными средствами. Отсюда следует, что для улучшения состояния проводимых с опережением штреков в месте их сопряжения с лавой необходимо пытаться изыскивать новые средства.

Состояние кровли в нише. Для сравнения были использованы усредненные данные по 250 лавам на шахтах Рурского бассейна. В нишах удельная площадь вывалов из кровли была

примерно в три раза меньше, чем в лавах, поскольку в нишах неустойчивую кровлю поддерживали индивидуальными стойками.

В то же время средняя высота вывалов была в нишах больше, чем в лавах. Это указывает на то, что кровля в нишах вследствие непосредственной близости штрека нарушена горизонтальными разрывами сплошности. В качестве возможных причин появления таких нарушений могут быть образование параллельных штреку трещин и смятие слоев непосредственной кровли со смещением их в штрек.

Такое предположение дало основание рассматривать в качестве одного из факторов, оказывающих влияние на частоту вывалов, плотность прилегания рам арочной крепи к породному контуру штрека, т. е. расстояние между арками и породным контуром выработки. Рамы крепи с плотным и неплотным прилеганием нередко чередуются. Если первые встречаются чаще, чем вторые, то средняя ширина зазора между крепью и породами невелика, и наоборот. Таким образом, среднее расстояние между арками крепи и породным контуром выработки является мерой частоты прилегания крепи к породам. Чем больше это расстояние, тем чаще, очевидно, должны происходить вывалы пород из кровли в результате их нарушения. Как видно из графиков (рис. 6.24), с увеличением расстояния между крепью и породами растет как высота, так и удельная площадь вывалов из прилегающей к штреку полосы кровли. Следовательно, опасность вывалов породы зависит от плотности прилегания крепи к слоям породного массива, подрезанным контуром штрека, и качества заполнения закрепного пространства. Наконец, состояние штрека определяется также усилием противодействия крепи боковому разрыхлению породного массива, подрезанного контуром выработки.

Пустоты за крепью выработки должны быть, таким образом, тщательно заполнены, причем непосредственно в проходческом забое, с тем чтобы еще перед подходом лавы слои непосредственной кровли опирались на штрековую крепь. Благодаря этому уменьшаются или предупреждаются разрушение подрезанных контуром выработки породных слоев и возникновение вывалов из кровли на концевом участке лавы. Следовало бы также отказаться от устройства машинной ниши. Как показывает практика, указанные меры способствуют уменьшению конвергенции не только на сопряжении лавы со штреком, но и общей.

6.3.5. ВЛИЯНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ

Причинами значительной конвергенции в сильно обводненных выработках являются:

снижение прочности породного массива вследствие уменьшения сопротивления трению по поверхностям трещин естественного и эксплуатационного происхождения;

расслоение бывших ранее монолитными пород из-за снижения трения по межслоевым контактным поверхностям;

разрушение структуры пород в результате вымывания растворимых породных прослойков;

увеличение объема пород из-за их набухания в редких случаях;

уменьшение сопротивления крепи проседанию;

уменьшение несущей способности боков штрека.

Предел прочности песчанистых сланцев под действием увлажнения может снизиться до 20% первоначального значения, а чувствительные к воде глинистые сланцы могут вообще стать пластичными.

Изменение конвергенции в одном из выемочных штреков на глубине 900 м, проводившемся с заполнением закрепного пространства вручную и с помощью тампонирования ангидритовым составом, характеризуется графиком (рис. 6.25). На одном

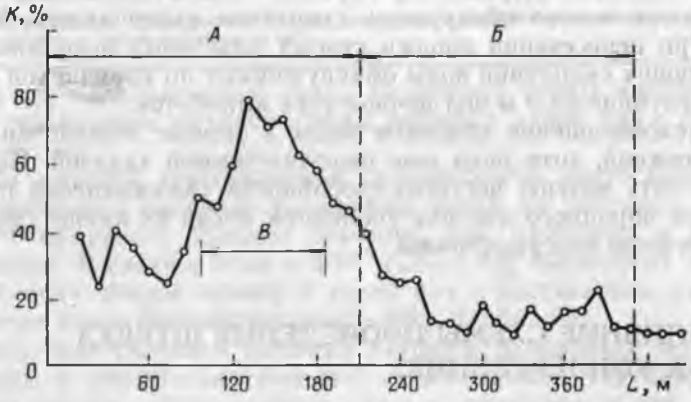


Рис. 6.25. График изменения относительной конвергенции K по длине выемочного штрека L:

А и *Б* — участки штрека с заполнением закрепного пространства соответственно вручную и с помощью тампонирования; *В* — участок штрека с повышенным притоком воды

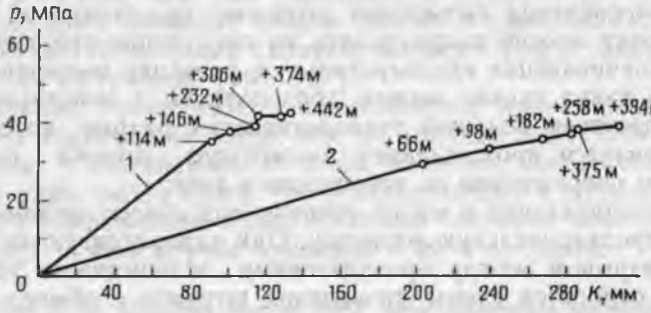


Рис. 6.26. Характеристики штрека на необводненных (*1*) и обводненном (*2*) участках (цифры у кривых — расстояние между замерной станцией и лавой)

из участков штрека, который пересекал мульду, наблюдался повышенный приток воды. Конвергенция на этом участке была в два раза больше, чем на необводненных участках.

Указанный штрек находился в зонах влияния нескольких краевых частей по вышележащим пластам. Были рассчитаны соответствующие величины горного давления, связь которых с конвергенцией выразили графически в виде характеристик (рис. 6.26). Соответствующие кривые характеризуют прочностные свойства приконтурного породного массива (включая крепь) под воздействием нарастающего горного давления. Влияние увлажнения сократило примерно вдвое сопротивление породного массива приросту давления.

Имеющиеся знания относительно влияния воды на прочность породного массива пока еще не привели к практическим выводам относительно необходимости уменьшить расход воды, используемой при бурении шпуров или для борьбы с пылью. В большинстве штреков на глубине около 0,5 м под почвой выработок можно обнаружить скопление просачивающейся воды. При пересечении лавами старых пластовых выработок следы бывших скоплений воды обнаруживают по коричневой окраске на глубине до 3 м под почвой этих выработок.

Предотвращение притоков воды в горные выработки является важной, хотя пока еще неосуществимой задачей. Попытки возместить потерю несущей способности увлажненного приконтурного породного массива усилением крепи не имеют смысла и практически неосуществимы.

6.4. ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ШТРЕКА НА КОНВЕРГЕНЦИЮ

6.4.1. СРАВНЕНИЕ ВЕЛИЧИН КОНВЕРГЕНЦИИ [4, 90, 123, 149]

В зависимости от увязки очистных и подготовительных работ схемы проведения выемочных штреков при сплошной системе разработки можно подразделить на следующие три группы:

обеспечивающие предварительную разведку выемочного участка. В таких схемах между проходческим и очистным забоями существует большой технологический разрыв, который обусловливается прохождением выемочного штрека со значительным опережением по отношению к лаве;

обеспечивающие в малой степени или совсем не обеспечивающие предварительную разведку. Они характеризуются небольшим разрывом между проходческими и очистными работами. К ним относятся схемы проведения штреков с обычно небольшим опережением лавы;

исключающие возможность предварительной разведки выемочного поля, при которых работы в проходческом забое жест-

Таблица 6.8

Показатель	Великобритания		ФРГ	
	число	%	число	%
Средняя вынимаемая мощность пластов, м	1,4		1,8	
Лавы с порядком отработки:				
обратным	77	10	—	—
обратным и комбинированным	—	—	116	39
Штреки, погашаемые после прохода лавы	154	10	188	31,5
Лавы с прямым порядком отработки	699	90	182	61
Штреки:				
пройденные с опережением лавы	329	21	278	46,7
имевшиеся на участке до начала очистных работ	—	—	96	16,1
пройденные общим забоем с лавой или с отставанием от нее	1069	69	34	5,7

Примечание. Приведенные данные относятся к комплексно-механизированным лавам на пластах с углом падения до 36°.

ко увязаны с подвиганием лавы. Указанные схемы предусматривают проведение штреков общим забоем с лавой или с отставанием от нее.

Из-за высокой тектонической нарушенности месторождений предварительной разведке выемочных полей на угольных шахтах ФРГ придается большее значение, чем, например, в Великобритании. В связи с этим в ФРГ только 6% выемочных штреков проходят общим забоем с лавой или с отставанием от нее, в то время как в Великобритании — 69% (табл. 6.8).

Вследствие сильного влияния глубины разработки на конвергенцию и значительно меньшей ее величины в штреках, проводимых общим забоем с лавой или с отставанием от нее, можно предположить, что в будущем удельный вес таких штреков на шахтах ФРГ должен существенно увеличиться*.

Результаты измерений. На угольных шахтах Великобритании, как уже указывалось выше, 69% всех выемочных штреков проводят общим забоем с лавой или с отставанием от нее. Примерный характер конвергенции в таких штреках показан на графике (рис. 6.27).

В штреках, проводимых с опережением, кривая конвергенции круто поднимается вверх еще до подхода лавы. В штреках, проводимых с отставанием от лавы, конечная конвергенция составляет лишь около одной трети конвергенции в штреках, проводимых с опережением лавы. Конечное значение конвергенции достигается в этом случае примерно в 50 м за лавой.

* В 1985 г. на угольных шахтах ФРГ доля выемочных штреков, проводимых общим забоем с лавой или с отставанием от нее, составила около 10% — *Примеч. пер.*

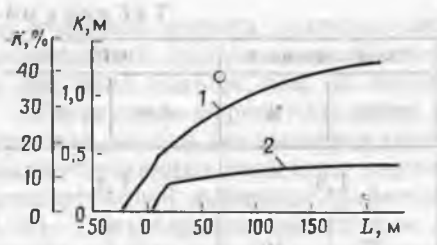


Рис. 6.27. График зависимости абсолютной и относительной конвергенции K от расстояния до лавы L в выемочных штреках, проводимых:

1 — с опережением лавы; *2* — общим забоем с лавой или с отставанием от нее

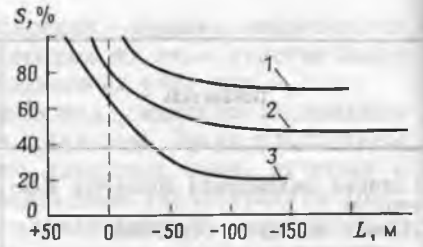


Рис. 6.28. График изменения относительной остаточной площади поперечного сечения выемочных штреков S в зависимости от расстояния до лавы L:

1 — при мощности пласта M=1,7—2,2 м, глубине разработки H=670—740 м (данные по 13 замерным станциям в трех штреках, проводимых с отставанием от лавы); *2* — при M=1,8—2,2 м и H=610 м (по 10 замерным станциям в двух штреках, проводимых с опережением лавы); *3* — при M=1,6 м и H=990 м (данные по 34 замерным станциям в одном штреке, проводимом с опережением лавы)

На шахте «Эмиль Майриш» (Ахенский бассейн) штреки, проводимые с отставанием от лавы, сохраняют значительно бо́льшую остаточную площадь поперечного сечения, чем штреки, проводимые с опережением очистного забоя (рис. 6.28). Различия, составляющие 14—32% первоначальной площади поперечного сечения выработок, были зафиксированы на пяти пластах. На пластах со слабыми и достаточно мощными породами почвы штреки, проводимые с отставанием от лавы, независимо от формы их поперечного сечения деформируются в той же степени, что и штреки, проводимые с опережением лавы. Разница состоит лишь в том, что их деформация происходит с некоторым отставанием во времени. Остаточная площадь поперечного сечения одинакова в обоих случаях.

Чем с большим опережением лавы проводится штрек, тем меньше его остаточная площадь поперечного сечения, и наоборот, чем на большее расстояние отстает от очистного забоя забой подрывки, тем больше остаточная площадь поперечного сечения выработки.

На шахте «Хуго» (Рурский бассейн) проходили два выемочных штрека: один с опережением лавы на 50 м, другой — с отставанием от нее на 6 м. Остаточная площадь поперечного сечения первого из них составила всего лишь 54% первоначального значения, так что пришлось трижды производить подрывку почвы. Остаточная площадь поперечного сечения второго штрека соответствовала 78% первоначальной. Благодаря отставанию породного забоя штрека от забоя лавы, конвергенция в штреке была уменьшена с 39 до 18%, что позволило отказаться от подрывки почвы.

Таблица 6.9

Показатель	Штреки, проводимые	
	с опережением лавы	с отставанием от лавы
Расстояние между забоем штрека и очистным забоем, м	25	7±4
Средняя относительная конвергенция, %	39±10	19±5
Среднее относительное опускание кровли, %	10	3
Среднее относительное пучение почвы, %	29	16
Среднее относительное сближение боков выработки, %	17	8

Сопоставление данных по восьми штрекам в Рурском бассейне. Для сопоставления были отобраны восемь выемочных штреков на трех шахтах Рурского бассейна, находившихся на глубине 889±84 м и пройденных по пластам мощностью 2,07±0,14 м (шесть по пласту В и по одному на пластах Н и «Густав»). Пять из них использовались в качестве вентиляционных, три — в качестве конвейерных. Все они крепились податливыми арочными рамами. Штреки подвергались влиянию краевых частей по вышележащим пластам.

Конвергенцию в трех штреках, проводимых с отставанием от лавы, можно было сравнивать с конвергенцией в этих же штреках на участках, проводившихся с опережением лавы на 25 м. В пяти штреках, проводимых только с отставанием от лавы, для оценки конвергенции пришлось использовать показатели соседних штреков по тому же пласту, пройденных с опережением лавы на 25 м.

Сравнение показателей конвергенции в штреках, проводимых с опережением лавы и с отставанием от нее, приведены в табл. 6.9. Разброс данных измерений вокруг средней величины в штреках, пройденных с отставанием от лавы, меньше, чем в штреках, пройденных с опережением. Этот факт можно объяснить тем, что в первом случае величина конвергенции меньше, чем во втором.

Если принять конечную конвергенцию в штреках, проводимых с опережением лавы, за 100% то в штреках, проводимых с отставанием от нее, она равна 49%. Таким образом, соотношение величин конвергенции составляет примерно 2 : 1.

Простейшая количественная оценка полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

на каждые 2 м отставания забоя подрывки пород в выемочном штреке от очистного забоя конвергенция снижается на 10% по сравнению с ее величиной в штреке, пройденном с опережением лавы на 25 м;

относительное опускание кровли в штреках, проводимых с отставанием от лавы, уменьшается по сравнению с опережаю-

Таблица 6.10

Показатель	Штреки, проводимые по отношению к лаве		
	с опережением	общим забоем	с отставанием
Рурский бассейн			
Относительная конвергенция, %	39	29	19
Отношение между величинами конвергенции, %	100	75	49
Ахенский бассейн (шахта «Эмиль Майриш»)			
Относительная конвергенция, %	63	—	36
Отношение между величинами конвергенции, %	100	—	57
Шахты Великобритании			
Относительная конвергенция, %	47	24	12
Отношение между величинами конвергенции, %	100	51	26

щими лаву штреками в наибольшей степени (соотношение 100 : 30), относительное пучение почвы — в меньшей степени (соотношение 100 : 55), а сближение боков выработки — в той же мере, что и конвергенция (соотношение 100 : 47);

показатель деформированности крепи в двух штреках, опережавших лаву на 25 м, составлял 2,3 и 2,5 (что соответствует деформациям от легкой до средней степени тяжести), а в сравниваемых с ними штреках, проводившихся с отставанием от лавы, — 1,1 (почти полное отсутствие деформированных элементов крепи). Во всех остальных опережающих лаву штреках показатель деформированности крепи составлял 1—1,5 от полного отсутствия до легкой степени деформации), так что переход на схему проведения с отставанием от лавы вряд ли принес бы какие-либо улучшения.

Сопоставление данных по шахтам Рурского и Ахенского бассейнов и месторождений Великобритании. Обобщенные данные о конвергенции в выемочных штреках приведены в табл. 6.10.

В угольных шахтах Великобритании путем применения схемы проведения выемочных штреков с отставанием от лавы удалось добиться сравнительно весьма благоприятных результатов, чему во многом способствовало использование для охраны штреков двусторонних жестких околоштрековых полос. В слабых боковых породах на шахте «Эмиль Майриш» разница в конвергенции штреков, опережающих лаву и отстающих от нее, заметно меньше. Тем не менее полезный эффект состоял в том, что штреки с конвергенцией 36% можно было считать вполне пригодными для нормальной эксплуатации, в то время как конвергенция в 63% в штреках, опережающих лаву, часто приводила к серьезным осложнениям.

6.4.2. ШТРЕК, ПРОВОДИМЫЙ С ОТСТАВАНИЕМ ОТ ЛАВЫ И ПОДДЕРЖИВАЕМЫЙ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

При разработке с обрушением кровли пласта «Карл-1» мощностью 1,6 м с углом падения 10° в лаве длиной 240 м было организовано проветривание с отводом исходной струи по среднему штреку, поддерживавшемуся в выработанном пространстве. Все три штрека высотой 3,65 м крепили податливыми арочными рамами из спецпрофиля линейной плотностью 29 и 36 кг/м. Бортовые штреки охраняли со стороны выработанного пространства околоштрековыми полосами из быстротвердеющей смеси «блицдеммер», а средний, породный забой которого отставал от лавы на 3 м, — деревянными кострами с каждой стороны.

Результаты измерений (табл. 6.11) показывают, что конвергенция в среднем штреке, соответствовавшая 30% начальной высоты выработки, была примерно на треть меньше, чем в обоих бортовых штреках (42%). Расчет ожидаемой конвергенции по заданной глубине, мощности пласта, свойствам пород почвы и способу охраны со стороны выработанного пространства показал, что в верхнем и нижнем бортовых штреках конвергенция должна быть равной 40 и 42%.

Таблица 6.11

Показатель	Штреки по пласту «Карл-1»			В среднем по 25 штрекам, поддерживаемым в выработанном пространстве, с охраной деревянными кострами
	верхний	нижний	средний	
Глубина заложения выработок, м	1115	1155	1140	750
Мощность пласта, м	1,6	1,6	1,6	1,8
Условный показатель прочности пород	2,3	2,3	2,3	2,5
Относительная конвергенция, %:				
фактическая	42	42	30	54
расчетная	40	42	—	—
Относительное опускание кровли, %:				
фактическое	8	9	16	15
расчетное	15	14	—	—
Относительное пучение почвы, %:				
фактическое	34	33	14	39
расчетное	27	28	—	—
Относительное сближение боков выработки, %:				
фактическое	11	14	2	18
расчетное	13	13	—	—
Показатель деформации крепи	1,1	1,1	1,1	1,8

Опускание кровли в среднем штреке было почти в два раза больше, чем в обоих бортовых штреках, а поднятие почвы — более чем в два раза меньше. Угольный массив у боков бортовых штреков поддерживал кровлю пласта, так что ее опускание над указанными выработками было меньше, чем над средним штреком. Характер распределения давления по длине лавы способствует активному выдавливанию пород почвы в бортовые штреки, чего не наблюдается в среднем штреке, охраняемом с обеих сторон деревянными кострами, а не жесткими полосами.

Опускание кровли на 16% первоначальной высоты штрека соответствовало 36% мощности пласта, равной 1,6 м. К этому следует еще добавить опускание непосредственной кровли пласта в призабойном пространстве вплоть до забоя подрывки кровли. Величина такого опускания не была измерена, но ее можно принять равной 12 см, или соответственно 8% мощности пласта, исходя из того, что опускание кровли пласта в подобных условиях обычно составляет 4 см на 1 м ширины призабойного пространства. Кроме того, следует учитывать также конвергенцию кровли и почвы пласта в зоне опережающего забоя опорного давления, составляющую около 10%. Следовательно, общая конвергенция боковых пород в выработанном пространстве составляет примерно 54% мощности пласта. В действительности эта величина, по-видимому, несколько больше. Таким образом, измеренное опускание кровли, составляющее 16% начальной высоты штрека, свидетельствует о том, что обрушенные породы непосредственной кровли не вызывали дополнительного проседания податливых арочных рам.

В табл. 6.11 приведены также данные о деформировании выемочных штреков, поддерживаемых в выработанном пространстве, при способе охраны деревянными кострами. В этих штреках опускание кровли (15% начальной высоты) было примерно таким же, что и в среднем штреке по пласту «Карл-1». В то же время пучение почвы (39%) было в три раза бо́льшим. Это объясняется разрушением пород почвы краевой частью угольного массива («эффект штампа») до начала отработки участка с другой стороны штрека.

6.4.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТРЕКОВ, ПРОВОДИМЫХ С ОПЕРЕЖЕНИЕМ ЛАВЫ, ОБЩИМ ЗАБОЕМ С НЕЙ И С ОТСТАВАНИЕМ ОТ ЛАВЫ [46]

Для упрощения будем изображать характеристику выемочного штрека в виде прямой (рис. 6.29), на которой цифрами обозначено расстояние до лавы. Подобные упрощенные характеристики были построены для 24 штреков (рис. 6.30). Чтобы исключить влияние различных неизвестных факторов, обусловленных свойствами пласта и боковых пород, в основу анализа были положены данные по выемочным штрекам одного и того же пласта В, разрабатываемого в средней части Рурского бассейна.

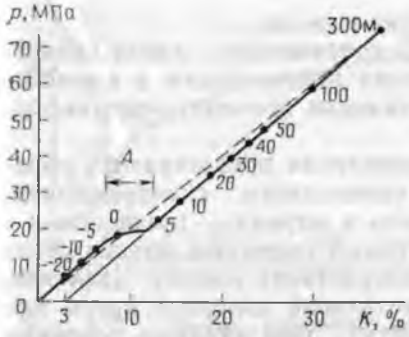


Рис. 6.29. Упрощенная усредненная характеристика 17 выемочных штреков:
A — зона сопряжения штрека с лавой

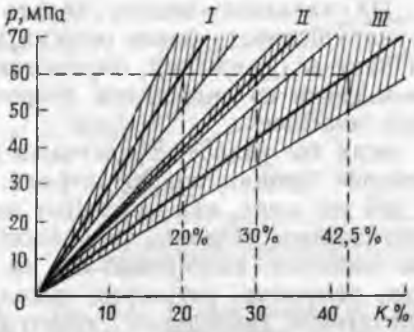


Рис. 6.30. Усредненные характеристики 24 выемочных штреков по пласту В, пройденных:
I — с отставанием от лавы (10 штреков);
II — общим забоем с лавой (2 штрека);
III — с опережением лавы (12 штреков)

Все эти штреки находились на глубине примерно 1000 м, мощность пласта составляла около 2 м. Конвергенцию измеряли в порядке проведения производственных наблюдений за состоянием выемочных штреков, а соответствующе значения горного давления определяли с помощью расчетной модели Г. Эверлинга. Наряду с неодинаковым воздействием на штреки краевых частей по соседним пластам и различиями в способах охраны штреков со стороны выработанного пространства, эти штреки отличались друг от друга прежде всего схемой их проведения, т. е. положением забоя штрека относительно лавы. Из 24 обследованных штреков 12 были пройдены с опережением лавы, два — общим забоем с ней и 10 — с отставанием от нее.

Приведенные на графике (см. рис. 6.30) характеристики штреков свидетельствуют о следующем. Если прирост давления по длине штрека составляет, например, 60 МПа, то конвергенция в штреках, пройденных с отставанием от лавы, равна 20% начальной высоты штрека, общим забоем с лавой — 30% и с опережением лавы — более 40%. Штреки, проводимые с отставанием от лавы, оказывают нарастающему давлению большее сопротивление, чем другие виды штреков. Их «жесткость»: примерно в два раза выше, чем у штреков, проводимых с опережением лавы.

Причиной такого различия являются трещины, параллельные оси штрека, которые образуются при проведении штрека впереди лавы и нарушают породный массив. В штреках, проводимых общим забоем с лавой и с отставанием от нее, под действием давления находится только одна сторона выработки. В штреках, проводимых с отставанием от лавы, давление действует в еще меньшей степени, чем при проведении выработки общим забоем с лавой, поскольку подхваченная кровля пласта препятствует боковому разрушению пород.

Из сказанного можно сделать два вывода:

нарушенность боков штрека на сопряжении с лавой является частью сдвижений, определяющих конвергенцию в выработке в связи со снижением сопротивления приконтурного породного массива;

если бы удалось средствами крепления предотвратить образование трещин вокруг штрека, проводимого с опережением, в той же мере, как это имеет место в штреках, проводимых с отставанием от лавы, то приконтурный породный массив столь же «жестко» реагировал бы на возрастание горного давления. Так, например, установка дополнительной анкерной крепи или заполнение закрепного пространства твердеющими смесями обеспечивали бы не только устойчивость кровли на сопряжении штрека с лавой, но и снижение конвергенции в штреке по всей его длине (при условии, что указанные меры предупреждают образование трещин на участке штрека впереди лавы). Поэтому они должны осуществляться непосредственно в забое штрека.

6.5. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ

6.5.1. РАСЧЕТ КОНВЕРГЕНЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ [29, 30]

Расчет конвергенции для штреков с односторонним выработанным пространством при отсутствии надработки. Конечная конвергенция. На шахтах Рурского бассейна около 60% выемочных штреков проводят с опережением лавы и поддерживают в условиях одностороннего выработанного пространства. Для таких штреков ожидаемую конечную конвергенцию K_{EV} (в 300 м за лавой) определяют по известным показателям (глубина разработки, мощность пласта, свойства боковых пород и способ охраны выработанного пространства) согласно расчетной формуле, приведенной в разд. 6.3.1.

Конвергенция на сопряжении штрека с лавой. В соответствии с исследованиями И. Нига, при проходе первой лавы конвергенция в выемочном штреке составляет у забоя лавы примерно одну пятую, а у торца околоштрековой полосы (или у последнего костра) две пятых общей величины конечной конвергенции (рис. 6.31). Если, например, по расчетам получают, что конечная конвергенция должна составить 40% начальной высоты штрека, то при его высоте 4 м следует ожидать на сопряжении выработки с лавой (на линии обрушения непосредственной кровли) конвергенцию, равную $0{,}4 \cdot 40 = 16\%$, т. е. около 0,65 м. Примерно такая же конвергенция наблюдается в выемочном штреке, погашаемом после прохода первой лавы при отработке выемочного участка в обратном порядке.

Пучение почвы, представленной глинистым сланцем или другими слабыми породами, соответствует примерно двум третям величины конвергенции. Следовательно, в рассматриваемом

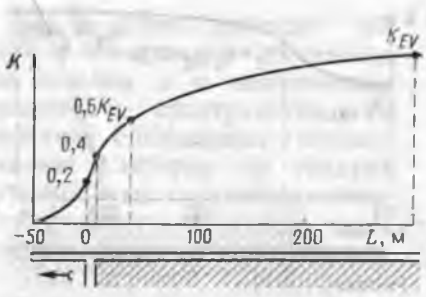


Рис. 6.31. График изменения конвергенции (в долях K_{EV}) по длине штрека L, пройденного с опережением лавы и поддерживаемого в условиях одностороннего выработанного пространства

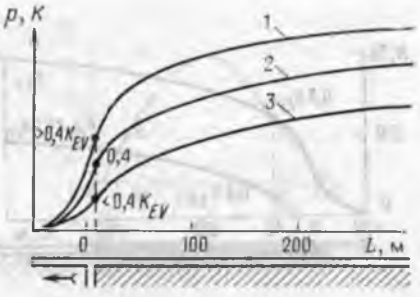


Рис. 6.32. График изменения давления p и конвергенции K по длине штрека L при влиянии краевой части по вышележащему пласту (*1*), без надработки (*2*) и с надработкой (*3*)

примере почва штрека на сопряжении с лавой должна подняться на 0,4 м. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании работ на концевых участках лавы.

Представляет также интерес величина конвергенции в штреке в месте размещения передвижной участковой подстанции, т. е. примерно в 40 м за лавой. Здесь конвергенция должна составить примерно 0,6 конечной величины. Тогда при начальной высоте штрека 4 м и ожидаемой конечной конвергенции 40% следует ожидать, что конвергенция в выработке в 40 м за лавой составит около 1 м, из которого примерно 0,65 м (около двух третей) придется на пучение почвы.

Все эти соотношения справедливы только для выемочных штреков, не испытывающих существенного влияния краевых частей и не расположенных под выработанным пространством по соседним пластам. Расчеты показывают, что кривая нарастания горного давления по длине штрека, находящегося в зоне разгрузки, в результате надработки вышележащим пластом, проходит более полого по сравнению с нормальным случаем (рис. 6.32). Доля конечной конвергенции на сопряжении с лавой и в 40 м за ней должна быть соответственно меньше. В штреках же, находящихся в зонах влияния краевых частей по вышележащим пластам, эта доля больше, чем в нормальном случае. Насколько велика указанная разница, можно узнать только после выполнения расчета горного давления, так как кривые нарастания давления и конвергенции геометрически подобны.

Рассмотрим теперь конвергенцию при проходе второй лавы, исходя из ее величины, установившейся в 300 м за первой лавой. Эта конвергенция может быть иной, чем в выработке, пройденной с опережением лавы, поскольку штрек может быть пройден общим забоем с лавой или с отставанием от нее (рис. 6.33). К величине E_{EV} при подходе второй лавы добавляется

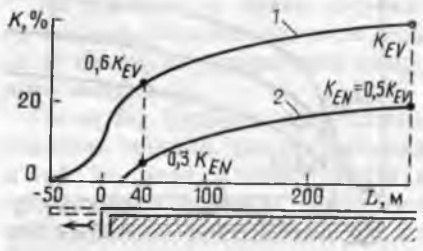


Рис. 6.33. Графики изменения конвергенции K (в долях K_{EV} или K_{EN}) по длине штрека L:

K_{EV} и K_{EN} — соответственно конечная конвергенция в штреке, пройденном с опережением лавы (*1*) или с отставанием от нее (*2*)

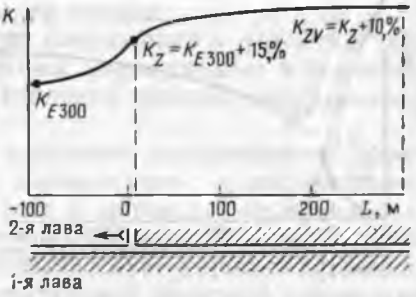


Рис. 6.34. График изменения конвергенции K по длине штрека L до и после прохода второй лавы:

K_Z и K_{ZV} — величина конечной конвергенции соответственно в 300 м позади первой лавы, перед второй лавой и в 300 м за ней

15% (начальной высоты штрека) и в случае поддержания штрека позади нее — еще 10% (рис. 6.34).

Все приведенные здесь числовые соотношения нельзя изменить, используя обычные средства крепления штреков. Заполнение закрепного пространства твердеющими смесями и установка дополнительной анкерной крепи способствуют уменьшению конвергенции.

Расчет конвергенции для других схем проведения выемочных штреков. Для штрека с любой схемой проведения и условиями поддержания сначала рассчитывают конвергенцию K_{EV}, т. е. конвергенцию в штреке, пройденном с опережением лавы и поддерживаемом в условиях одностороннего выработанного пространства. Если проектируется другая схема проведения, то по вычисленной конвергенции K_{EV} определяют ожидаемую для конкретного случая величину конечной конвергенции с помощью следующих выражений: для схемы проведения и поддержания штрека ER (см. рис. 6.6) — $0{,}38\,K_{EV}$, EV—K_{EV}, EM — $0{,}75\,K_{EV}$, EN — $0{,}5\,K_{EV}$, ZR — $(K_{EV}+10)$, ZV — $(K_{EV}+25)$, ZM — $(K_{EV}-10)$*, ZN — $(K_{EV}-20)$*, KR — $(K_{EV}-10)$*, KV — $(K_{EV}-15)$, KM — $(K_{EV}-5)$* и KN — $(K_{EV}-10)$*. Отмеченные звездочкой величины статистически недостаточно достоверны.

Величины конечной конвергенции в штреках, пройденных с отставанием от лавы, общим с ней забоем и с опережением, относятся друг к другу как 2 : 3 : 4. С учетом этого соотношения необходимо применять указанные выражения. Если проектируемый штрек намечено проводить с заполнением закрепного пространства твердеющими смесями, то вычисленную конечную конвергенцию следует уменьшить на одну треть. Такой эффект был подтвержден при экспериментальных наблюдениях в шести штреках.

Если штрек проводят общим забоем или с отставанием от лавы и с заполнением закрепного пространства, то действие снижающих конвергенцию факторов не следует суммировать; соответствующие коэффициенты подлежат перемножению.

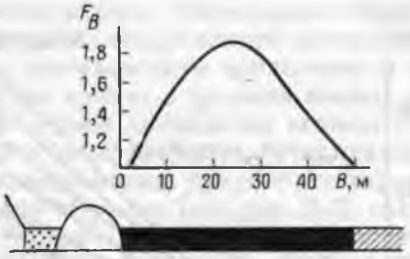


Рис. 6.35. График изменения коэффициента F_B в зависимости от ширины целика B

Для штреков, пройденных вдоль угольных целиков шириной более 2 м, ожидаемую конвергенцию следует скорректировать в соответствии с шириной целика путем умножения на коэффициент F_B (рис. 6.35). Величины этого поправочного коэффициента пока еще следует считать ориентировочными, так как они были получены на основании всего лишь двух шахтных экспериментов.

Расчет конвергенции в штреках, расположенных в надработанных зонах. Если штрек находится вне зоны надработки, конвергенцию рассчитывают одинаково по всей его длине. При проектировании специальных мер, уменьшающих конвергенцию, штрек разделяют на отдельные участки, на которых эти мероприятия должны быть осуществлены. Если над штреком находится краевая часть по вышележащему пласту, то его разделяют на участки, не испытывающие и испытывающие действие дополнительного давления. Согласно выполненным до настоящего времени исследованиям в штреках с прямоугольной формой поперечного сечения влияние краевой части вышележащего пласта ощущается на участке длиной около 70 м, считая от вертикальной проекции кромки краевой части в сторону неотработанной части пласта. Расчеты ожидаемой конвергенции производятся раздельно для каждого однородного участка штрека.

Штрек, пройденный с отставанием от лавы, в условиях влияния краевой части по вышележащему пласту ведет себя наиболее благоприятно, так как бо́льшая часть крутого нарастания давления приходится на участок перед забоем подрывки. Это положение подтверждено результатами производственных наблюдений за состоянием выемочных штреков. Следовательно, при расчетах ожидаемой конвергенции штреков, проводимых с отставанием от лавы и поддерживаемых в условиях одностороннего выработанного пространства в большинстве случаев можно не учитывать влияния краевых частей по вышележащим пластам.

Взаимное расположение очистных и подготовительных выработок, влияющее на величину горного давления. Краевые части по соседним пластам, ориентированные перпендикулярно к оси штрека. При подобной их ориентировке расчетную конвергенцию на участке

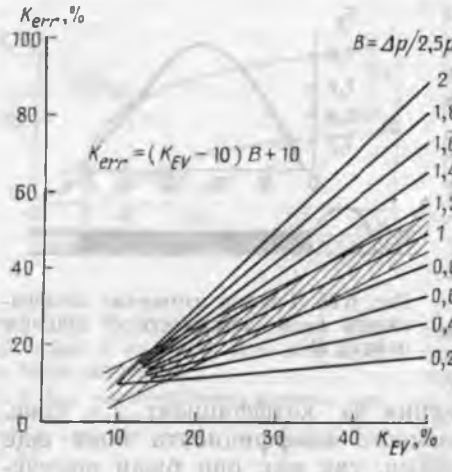


Рис. 6.36. График изменения K_{err} от K_{EV} при различных коэффициентах пригрузки B

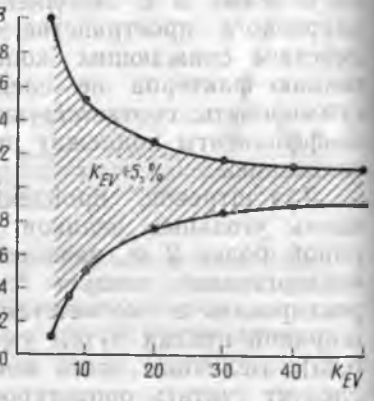


Рис. 6.37. График, показывающий в какой области значений K_{EV} можно не учитывать коэффициент пригрузки B

штрека, находящемся в зоне влияния краевой части, увеличивают на коэффициент F_K (см. разд. 6.3.1, рис. 6.19).

Условия над- и подработки, влияние выработанных пространств и целиков по разрабатываемому пласту. Конвергенцию K_{EV} рассчитывают по формуле, приведенной в разд. 6.3.1. Коэффициент пригрузки $B=16\Delta p/H$ (см. разд. 6.3.3). Путем умножения на коэффициент F, учитывающий схему проведения выемочного штрека ($F=1$ для опережающих и $F=0{,}75$ для отстающих от лавы выработок), находят искомую конечную относительную конвергенцию (от начальной высоты штрека):

$$K_{err}=[(K_{EV}-10)\,16\Delta p/H+10)]\,F.$$

Зависимости между K_{EV} и K_{err} при различных коэффициентах пригрузки B характеризуются графиком (рис. 6.36).

Уже для величины K_{EV} отклонения в пределах $\pm5\%$ начальной высоты штрека считаются допустимыми. Ширина полосы разброса покрывает в этом случае значения коэффициента пригрузки, увеличивающиеся по мере уменьшения K_{EV}. Значения коэффициента пригрузки B, соответствующие конвергенции, равной $K_{EV}\pm5\%$, приведены на графике (рис. 6.37). Расчет величины K_{EV} без учета Δp (или соответственно B) вполне достоверен, если данный штрек в отношении K_{EV} и B находится в пределах заштрихованной зоны.

Составляющие конвергенции и разброс их значений. Если конечная конвергенция вычислена, то по ее величине можно определить другие параметры деформирова-

ния контура поперечного сечения штрека. Отнесенные к средней линии поперечного сечения (линии, соединяющей концы верхних сегментов арочной рамы) составляющие конвергенции (относительные величины опускания кровли и пучения почвы) рассчитываются в зависимости от схемы проведения штрека с использованием соответствующего коэффициента, учитывающего долю пучения почвы общей конвергенции; среднее его значение для различных схем проведения штреков (см. рис. 6.6) составляют: ER — 0,74 (показатель получен по результатам обследования 10 штреков); EV — 0,76 (131 штрек); EM — 0,83 (4 штрека); EN — 0,91 (23 штрека); ZR — 0,74 (6 штреков); ZV — 0,76 (22 штрека); ZM — 0,33 (1 штрек); ZN — 0,44 (4 штрека); KR — 0,74; KV — 0,76 (21 штрек); KM — 0,83 (4 штрека) и KN — 0,91 (5 штреков). Достаточно надежными можно считать значения коэффициента, полученные по результатам наблюдений не менее чем в 10 штреках.

Требуемую глубину подрывки почвы определяют по величине ее относительного пучения. Глубина подрывки соответствует высоте пучения почвы, если подрывка производится до уровня опор рам арочной крепи.

Разброс величин конвергенции по длине штрека S вычисляется при помощи уравнения рассеяния $S = 1{,}55\sqrt{K}$, где K — относительная конвергенция, %. Для расчета средней остаточной площади поперечного сечения (%) применяют формулу $A = 94 - 1{,}1\,K$.

Разброс величин остаточной площади поперечного сечения достаточно значителен. Он имеет практическое значение лишь тогда, когда в штреке предусматривается установка громоздкого оборудования, например сланцевого заслона или дробилки, перекрывающего бо́льшую часть площади поперечного сечения выработки.

Выбор параметров крепи. Проведенные до последнего времени исследования показывают, что применение различных типов крепи оправдывается лишь до определенной степени конвергенции. Так, жесткие арочные рамы целесообразно использовать лишь в тех случаях, когда при заполнении закрепного пространства вручную можно ожидать, что конвергенция не превысит 15%.

При конвергенции, превышающей 15%, рекомендуется применять податливую арочную крепь. Требуемый удельный расход металла SA (кг/м³) зависит от ожидаемой конвергенции и условного показателя прочности пород почвы GL (рис. 6.38). При механизированном заполнении закрепного пространства твердеющими смесями удельный расход металла уменьшается, так как по сравнению с забутовкой вручную конвергенция снижается на треть.

После определения требуемого удельного расхода металла можно выбрать такие параметры крепи, как площадь попереч-

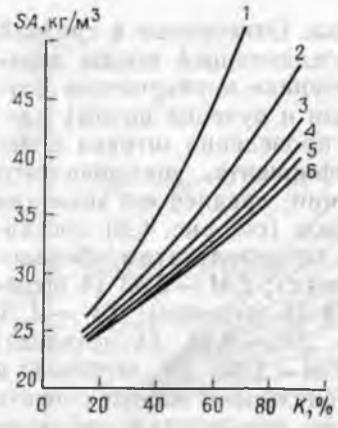


Рис. 6.38. График зависимости удельного расхода металла на крепление *SA* от ожидаемой относительной конвергенции *K*:
1—6 — условный показатель прочности пород *GL* почвы, соответственно равный 1, 2, 3, 4, 5 и 6

ного сечения в свету, линейная плотность спецпрофиля и расстояние между рамами.

Сопоставление расчетной и фактической конвергенции. Сопоставление расчетных данных и результатов измерений в 181 выемочном штреке, выполненных в порядке производственных наблюдений, показало, что в 92% случаев фактическая конвергенция отличалась от расчетной всего лишь на ±5%. Из остальных 8% обследованных штреков в 5% причинами повышенных отклонений явились неправильно определенные условные показатели прочности пород почвы, плохое качество околоштрековой полосы и неучтенные источники обводнения породного массива, в остальных 3% случаев фактическая конвергенция была больше или меньше расчетной из-за влияния неизвестных факторов. Для указанных 8% обследованных штреков отклонения фактических данных от расчетных нельзя было предвидеть заранее.

6.5.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА [59]

Распределение числа выемочных штреков шахт компании «Бергбау Липпе» по схемам их проведения и поддержания (см. рис. 6.6) характеризуется следующими данными: *ER* — 8 (удельный вес 4,5%), *EV* — 91 (51,1%), *EM* — 10 (5,6%), *EN* — 30 (16,8%), *ZR* — 6 (3,4%), *ZV* — 25 (14%), *ZM* — 1 (0,6%), *KV* — 6 (3,4%) и *KN* — 1 (0,6%).

Сопоставлением фактической конвергенции, измеренной в этих штреках, с расчетной установлено, что для штреков, пройденных с опережением лавы и поддерживаемых в условиях одностороннего выработанного пространства, все их величины находятся в пределах полосы допустимого разброса, установленной лабораторией рудничной крепи и механики горных пород. Фактические значения конвергенции совпадали с расчетными.

То же относится и к штрекам, пройденным общим забоем с лавой или с отставанием от нее, в которых конечная конвергенция была в среднем на 10 или на 20% ниже, чем в штреках, пройденных с опережением. Однако в действительности зона разброса фактических значений была несколько шире. В трех

штреках, пройденных с отставанием от лавы, величина конечной конвергенции была еще меньше.

В 17 штреках можно было установить явное влияние краевых частей по соседним пластам, повторного использования выработки и околоштрекового целика по разрабатываемому пласту. Результаты измерений в этих случаях отличались большим разбросом. Путем дальнейших измерений, по-видимому, удастся более точно количественно оценить влияние также и этих факторов.

Особый интерес представляет сравнение средних величин, полученных на отдельных шахтах, а также их сопоставление со средними данными по всем шахтам Рурского бассейна. Такое сопоставление позволяет выявить различия в геологических условиях отдельных месторождений и оценить эффективность проведения тех или иных мероприятий по снижению конвергенции (табл. 6.12).

Выемочные штреки на шахте «Хуго» проводят на глубине, примерно на 40 м меньшей, чем в среднем по шахтам Рурского бассейна, при несколько менее благоприятном условном показателе прочности пород почвы (2,9 против 2,5) и несколько большей (2 м против 1,76 м) мощности пласта. Площадь поперечного сечения штреков на шахте (12,9 м²) меньше, чем в среднем по бассейну

Таблица 6.12

Шахта	Глубина разработки, м	Условный показатель прочности пород почвы	Мощность пласта, м	Площадь поперечного сечения штрека, м²	Линейная плотность сопротивления крепи, кг/м	Расстояние между рамами крепи, м	Удельный расход материала, кг/м³	Степень нарушения кровли	Относительная конвергенция, %	Высота штрека: начальная	Высота штрека: остаточная
«Хуго»	812	2,9	2	12,9	33	0,9	30	1,7	30	3,34	2,34
«Нордштерн»	867	2,9	1,57	16	33	0,88	29	1,8	42	3,9	2,27
«Эвальд»	938	2,4	1,58	14,5	34,6	0,8	33,7	1,7	41	3,5	2,07
«Шлегель унд айзен»	1007	2,5	2,02	18,5	36	0,75	34	1,6	43	4,14	2,36
В среднем по Рурскому бассейну	850	2,5	1,76	15	32,5	0,86	—	1,7	36	3,7	2,37

(15 м²). При линейной плотности спецпрофиля 33 кг/м и расстоянии между рамами 0,9 м удельный расход металла на крепление 1 м³ выработки в свету составляет 30 кг. Измеренная конвергенция равна в среднем 30% (против 36% по бассейну). Для охраны штреков только в одном случае применялись околоштрековые полосы из ангидрита, во всех же остальных случаях участки отрабатывали с полной закладкой выработанного пространства без специальных мер по охране штреков. Применение закладки не сказалось на уменьшении конвергенции в выработках. Основное влияние оказало то обстоятельство, что около 50% всех штреков проводили общим забоем с лавой или с отставанием от нее. Благодаря этому, несмотря на несколько меньшую, чем в среднем по Рурскому бассейну, начальную высоту штреков, их остаточная высота, составлявшая 2,34 м, была не меньше, чем на шахтах с большей площадью поперечного сечения выработки.

На шахте «Нордштерн» в обследовавшихся штреках средняя площадь поперечного сечения (16 м²) была большей, чем в среднем по Рурскому бассейну (15 м²), при несколько увеличенной глубине разработки (867 и 850 м), таких же слабых породах почвы, как и на шахте «Хуго», и средней мощности разрабатываемых пластов 1,57 м. Средняя конвергенция штреков составляла 42%, хотя около 36% всех обследованных штреков относились к участкам, отрабатывавшимся в обратном порядке, или же проводились с отставанием от лавы. Несмотря на достаточно большую начальную высоту штреков (3,9 м), остаточная их высота была относительно малой (2,27 м). Повышенная конвергенция была обусловлена сильным влиянием действующих очистных забоев по подрабатываемым пластам. Штреки крепили арочными рамами из спецпрофиля линейной плотностью 33 кг/м при расстоянии между рамами 0,88 м, удельный расход стали на крепление равнялся 29 кг/м³. Снижения конвергенции можно было бы достичь путем усиления крепи и повышения удельного веса схем проведения штреков с отставанием от лавы (что уже и делали на шахте). В будущем следовало бы избегать оставления неотработанных участков пластов, оказывающих столь неблагоприятное действие на выемку нижележащих пластов.

На шахте «Эвальд» обследовавшиеся штреки характеризовались средней глубиной 938 м, условным показателем прочности пород почвы 2,4, средней мощностью пластов 1,58 м и площадью поперечного сечения 14,5 м². Остаточная высота штреков (2,07 м) была меньше, чем на других шахтах. Здесь повышение удельного веса штреков, проводимых общим забоем с лавой или с отставанием от нее, могло бы существенно снизить среднюю конвергенцию. Штреки крепили рамами из спецпрофиля линейной плотностью 34,6 кг/м при расстоянии между рамами 0,80 м. Удельный расход металла на крепление составлял 33,7 кг/м³.

На шахте «Шлегель унд айзен» выемочные штреки на глубине 1007 м при средней мощности пластов 2,02 м и условном показателе прочности пород почвы 2,5 имели, как и ожидалось, наибольшую конвергенцию — 43%. Равным образом наибольшими были здесь начальная площадь поперечного сечения штреков (18,5 м²) и удельный расход металла на крепление (34 кг/м³). И здесь можно было бы за счет однократного использования выработок, размещения их вне зон повышенного давления и увеличения удельного веса схем проведения общим забоем с лавой или с отставанием от нее снизить среднюю конвергенцию в выемочных штреках.

Подытоживая сказанное выше, можно утверждать, что на всех четырех рассмотренных шахтах с успехом приспособились к имеющимся горно-геологическим условиям. Несмотря на значительные различия в начальной высоте выемочных штреков (от 3,34 до 4,14 м), остаточная их высота была примерно одинаковой (2,07—2,36 м).

При проектировании работ по креплению выемочных штреков следует рассматривать раздельно мероприятия, лишь улучшающие состояние крепи, и мероприятия, снижающие конвергенцию и обеспечивающие тем самым лучшее состояние крепи. Повышение удельного расхода металла на крепление оказывает влияние лишь на степень деформирования крепи. В этом отношении основную роль играют экономические аспекты. Сильно поврежденная крепь не оправдывает затрат на ее извлечение.

Благодаря тому, что бо́льшая часть крепи выбирается правильно или даже с некоторым избытком, доля повторно используемых рам крепи при креплении выемочных штреков составляет 60—65%. За счет этого экономится примерно 2—3 марки на 1 т добываемого товарного угля по сравнению с шахтами, в которых крепь используется однократно. Дальнейшего сокращения затрат можно достичь путем увеличения расстояния между рамами или использования более легкого спецпрофиля, а в некоторых случаях также и за счет перехода на более дешевую жесткую арочную крепь (в штреках, в которых ожидаемая конвергенция позволяет это сделать).

Совпадение расчетных и фактических величин конвергенции дает основание определять заранее ожидаемую конвергенцию, чтобы использовать ее в качестве основного критерия при проектировании крепи. Крепь многих выемочных штреков на шахтах компании «Бергбау Липпе» уже спроектирована на основе расчетной ожидаемой деформации.

При выборе крепи выемочного штрека менее тяжелая, чем требуется по расчету, или заведомо подвергаемая легким деформациям крепь может быть принята в тех случаях, когда предусматриваются дополнительные мероприятия по снижению конвергенции. Положительное влияние на состояние крепи и конвергенцию штрека оказывают следующие мероприятия:

применение механизированных способов возведения околоштрековых полос из быстротвердеющих смесей;

переход на схемы проведения выемочных штреков общим забоем или с отставанием от лавы. Это позволит не только уменьшить расход материалов, но и снизить трудоемкость работ. Так, в условиях шахт, находящихся в районе Эмшерской мульды, затраты труда на проведение и поддержание 1 м штрека, проводимого с опережением лавы, составляют 13—16 чел-смен, тогда как для штрека, проводимого общим забоем с лавой или с отставанием от нее, они соответственно равны 7—10 и 3—5 чел-сменам. Такая экономия в затратах труда соответствует снижению расходов на заработную плату до 10 марок на 1 т товарного угля;

заполнение закрепного пространства твердеющими смесями. Конвергенция может быть сокращена при этом на 15%, что равноценно переходу от схемы проведения штрека с опережением лавы к схеме проведения общим забоем;

отказ от повторного использования выемочных штреков. Повторное использование выемочных штреков нецелесообразно в тех случаях, когда уже при первом использовании ожидаемая конвергенция составляет 20%. При повторном же использовании она должна увеличиться по меньшей мере еще на 25%;

отказ от оставления целиков шириной менее 2,5 м между выработанным пространством и вновь проводимым штреком;

размещение выемочных штреков в зонах пониженного горного давления у краевых частей по вышележащим пластам. Размеры и положение таких зон могут быть установлены без специальных расчетов. В более сложных случаях для определения наиболее благоприятного положения проектируемого выемочного штрека необходимо производить расчеты горного давления;

переход на обратный порядок отработки выемочных участков.

6.5.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТОВ КОНВЕРГЕНЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ [31]

Согласно современным представлениям влияние факторов, вызывающих конвергенцию выемочных штреков, будет иметь тот же характер, что и сейчас, по меньшей мере до глубины 1400 м. Рассмотрим, какую конвергенцию следует ожидать на глубине 1400 м. В настоящее время 30% всех выемочных штреков охраняют со стороны выработанного пространства жесткими околоштрековыми полосами и около 10% всех штреков проводят с отставанием от лавы. Если даже принять, что на глубине 1400 м все штреки будут проводить с отставанием от лавы и охранять жесткими околоштрековыми полосами, то и в этом случае средняя конвергенция повысится с 34 до 43% начальной высоты штрека.

На графике (рис. 6.39) нанесены встречавшиеся до сих пор в выемочных штреках сочетания мощности пласта и условного показателя прочности пород почвы. Можно предположить, что примерно такое же соотношение сохранится и на глубине 1400 м. Проведенная на графике линия соединяет точки тех выемочных штреков, в которых на глубине 1400 м при условии проведения их с отставанием от лавы следует ожидать конвергенцию, равную 45% начальной высоты выработки. Одна из таких точек соответствует, например, выемочному штреку на пласте мощностью 1,1 м, почва которого представлена глинистым сланцем и «кучерявчиком» (условный показатель прочности $GL=3{,}5$). Вторая точка соответствует мощности пласта 2,8 м с почвой, сложенной песчанистым и глинистым сланцами. Около 20% всех выемочных штреков расположены с правой стороны этой граничной линии, т. е. их конвергенция на глубине 1400 м должна превышать 45%.

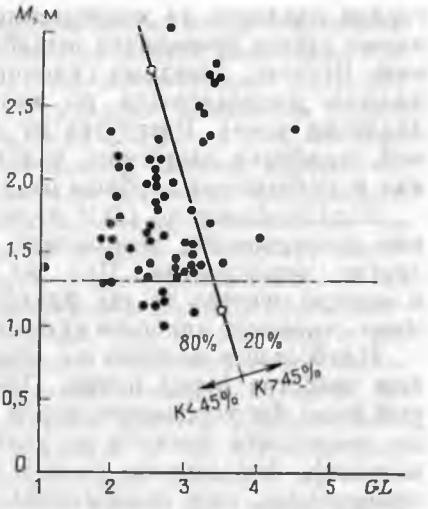


Рис. 6.39. Распределение выемочных штреков по мощности пласта M и условному показателю прочности пород почвы GL:
штрих-пунктирная линия — граница области применения схемы проведения штреков с отставанием от лавы

Если учесть, что схема проведения выемочных штреков с отставанием от лавы технически осуществима при мощности пласта не менее 1,3 м, то доля штреков, в которых современные технические средства не смогут обеспечить приемлемые условия поддержания на глубине 1400 м, возрастает до 30%.

Рассмотрим теперь, какие дополнительные меры могут потребоваться, чтобы на глубине 1400 м удалось поддерживать эти штреки. При этом будем исходить из условия, что штрек, проводимый с отставанием от лавы на глубине 1400 м и поддерживаемый при одностороннем выработанном пространстве, имеет конечную конвергенцию 45%. Штрек, пройденный с опережением лавы, при прочих равных условиях, имел бы конечную конвергенцию 65%. Надработка пласта может в значительной мере повлиять на конвергенцию. Если, например, в 50 м над штреком, пройденным с опережением лавы, находится краевая часть пласта, то конвергенция увеличивается до 85%. Она уменьшится до 31%, если штрек надработан и находится в зоне пониженного горного давления. Такие весьма существенные изменения конвергенции показывают, насколько сильно влияет

горное давление на конвергенцию и какое большое значение имеют схемы проведения выработок, способствующие ее снижению. Штреки, заведомо склонные к повышенной конвергенции, должны располагаться по возможности в разгруженных от давления зонах. Разгрузка от давления за счет предварительной отработки защитного пласта оказывает такой же эффект, как и уменьшение глубины разработки.

Если применение схем проведения, обеспечивающих снижение конвергенции, невозможно, то должны предусматриваться другие мероприятия. При их разработке следует исходить в первую очередь из тех факторов, которые до последнего времени считались наиболее существенными.

Наибольшее влияние на конвергенцию оказывают прочностные свойства пород почвы. Поэтому наиболее действенной мерой было бы упрочнение пород в почве штрека, которое все же до последнего времени не удавалось осуществить достаточно надежно. Воздействие такого упорядочения, например путем анкерования или тампонирования почвы, равноценно соответствующему изменению условного показателя прочности пород почвы, сказывающемуся в свою очередь на величине конвергенции. Если бы, например, удалось путем упрочнения песчано-глинистого сланца увеличить его прочность таким образом, чтобы среднее значение условного показателя прочности снизилось с 2,7 до 1 (что соответствует песчанику), то конвергенция пройденного с отставанием от лавы штрека, уменьшилась бы на 15% (т. е. с 45 до 30% начальной высоты штрека).

На глубине 1400 м упрочнение пород почвы могло бы иметь следующий эффект. На пластах мощностью 2,8 м с почвой, сложенной глинистым сланцем и «кучерявчиком» ($GL=3{,}5$), без мероприятий по упрочнению почвы конвергенция выемочных штреков намного превысила бы 45% (см. рис. 6.39). Упрочнение почвы, при котором условный показатель прочности изменится до 2,5, обеспечит снижение конвергенции до 45%.

Рассмотрим другой пример. Для того чтобы конвергенция в выемочном штреке на пласте мощностью 1,1 м при условном показателе прочности пород почвы 3,5 не превысила 45%, его следует проводить с отставанием от лавы. Однако малая мощность пласта не допускает применения такой схемы его проведения. Упрочнение почвы позволяет в этом случае проводить штрек с опережением лавы.

Другим важным фактором, оказывающим влияние на конвергенцию штрека, является мощность пласта. Эффективную мощность пласта, определяющую условия сдвижения пород кровли, можно было бы уменьшить путем применения специальных способов полной закладки выработанного пространства. Использование обычной пневматической закладки из-за замедленного уплотнения закладочного массива не способствует снижению конвергенции выемочных штреков, наблюдаемой при способе управления кровлей полным обрушением. В то же вре-

мя вполне возможно уменьшить эффективную мощность пласта путем применения специальных способов полной закладки, при которых закладочный массив сразу же воспринимает нагрузку от опускающейся кровли. Если бы удалось уменьшить таким образом эффективную мощность пласта с 1,85 до 1 м, то конвергенция снизилась бы на 8% начальной высоты выработки.

Мощность пласта входит в уравнение регрессии для расчета конвергенции (см. разд. 6.3.1) как величина, умножаемая на условный показатель способа охраны штрека со стороны выработанного пространства. Уменьшение мощности пласта с 1,85 до 1 м в сочетании с жесткой околоштрековой полосой сказывается на конвергенции в два раза сильней, чем в сочетании с деревянными кострами. Действие жесткой околоштрековой полосы проявляется в том, что затвердевший материал полосы заполняет часть пространства за арочной крепью. Дальнейшего уменьшения конвергенции можно ожидать от полного заполнения закрепного пространства твердеющими смесями, производимого сразу же после установки рам крепи. Благодаря этому конвергенция уменьшается на одну треть.

Обводненность выработок является еще одним фактором, увеличивающим конвергенцию, поскольку при увлажнении пород почвы их прочность снижается. Так, глинистые и песчанистые сланцы после полного насыщения влагой теряют до 50% начальной прочности. Это соответствует повышению условного показателя прочности пород почвы с 2,5 до 3,9. Поэтому можно считать, что устранение притока воды в выработку равноценно снижению ожидаемой конвергенции примерно на 10% начальной высоты выработки.

«Уменьшение» эффективной глубины горных пород за счет предварительной защитной надработки, упрочнение пород почвы, «уменьшение» эффективной мощности пласта в результате применения твердеющей закладки выработанного пространства, а также использование жестких околоштрековых полос и сплошного заполнения закрепного пространства — наиболее перспективные направления снижения конвергенции, которые, как показывает практика, должны обеспечить соответствующий эффект. Мы не упомянули еще старый испытанный способ проведения выемочных штреков с нижней раскоской, эффективность которого в современных условиях еще нужно проверить. Если верить результатам наблюдений в двух штреках, то его применение обеспечивает снижение конвергенции с 45 до 30% начальной высоты штрека. В уравнении регрессии (см. разд. 6.3.1) не учтено также влияние типа крепи, поскольку различия в современных конструкциях крепей не оказывают существенного воздействия на развитие конвергенции. Однако этим мы отнюдь не хотим утверждать, что использование новых или усовершенствованных типов крепи не окажет эффективного влияния на конвергенцию в выемочных штреках.

Многочисленные эксперименты с различными способами

крепления выемочных штреков не давали однозначных результатов. Причина заключалась нередко в том, что не было возможности установить, вызваны ли наблюдаемые изменения в поведении штреков проводимыми в порядке эксперимента дополнительными мерами или же являются всего лишь следствием изменившихся горно-геологических условий. Сегодня для этого уже имеется удобный критерий оценки — вычисленная без учета проводимых мероприятий конвергенция. При экспериментах в шахтах ожидаемую конвергенцию рассчитывают на основе определенных ранее факторов. Вычитая приходящиеся на эти факторы доли конвергенции из величины фактической конвергенции, измеренной на экспериментальном участке, по оставшейся величине судят об эффективности применявшегося мероприятия. Для того чтобы получить данные для такого способа оценки, необходимо проводить производственные наблюдения за состоянием и тех выемочных штреков, которые не вызывают каких-либо проблем с их поддержанием.

6.5.4. РАСЧЕТ КОНВЕРГЕНЦИИ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ ПО Ж. Ф. РАФФУ [146]

Анализ результатов измерений конвергенции в 50 выемочных штреках на шахтах Франции позволил установить следующее.

Конвергенция (от кровли пласта до почвы штрека) зависит от вынимаемой мощности пласта M, условного коэффициента обрушения выработанного пространства q и расстояния между местом измерений и лавами.

Коэффициент q принимается равным 1 при разработке с обрушением кровли, 0,5 и 0,2 — при применении соответственно пневматической и гидравлической закладки выработанного пространства.

По графику (рис. 6.40) можно проследить характер развития конвергенции в зависимости от расстояния до лав. Приведенные на нем кривые построены по результатам измерений, проведенных в выемочных штреках с арочной и прямоугольной формой поперечного сечения при ширине выработок 4—6 м на пологих пластах; штреки были закреплены рамами из спецпрофиля линейной плотностью 21—29 кг/м при расстоянии между ними 0,67—1,25 м. Со стороны выработанного пространства они охранялись околоштрековыми полосами или деревянными кострами.

При углах падения пласта до 27° влияние его незначительно (конвергенция уменьшается не более чем на 10%). При дальнейшем его увеличении до 45° конвергенция может уменьшиться примерно на 40%.

Влияние отработки вышележащих пластов сказывается в следующем:

при выемке вышележащих пластов без оставления целиков конвергенция может уменьшиться примерно на четвертую часть

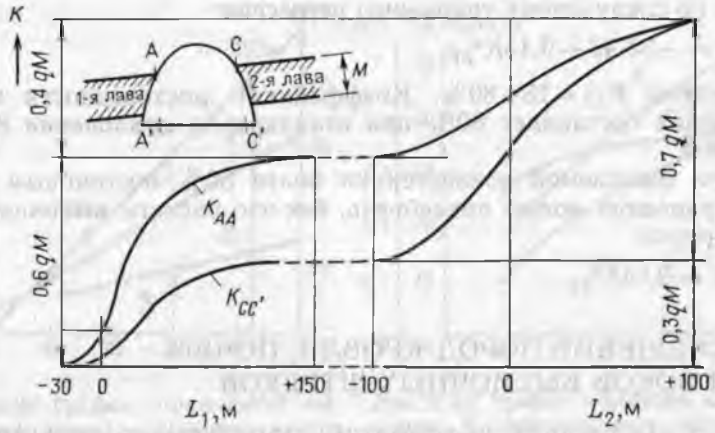


Рис. 6.40. График изменения конвергенции K, измеренной между точками $A—A^1$ и $C—C^1$, в зависимости от расстояния до первой (L_1) и второй (L_2) лав

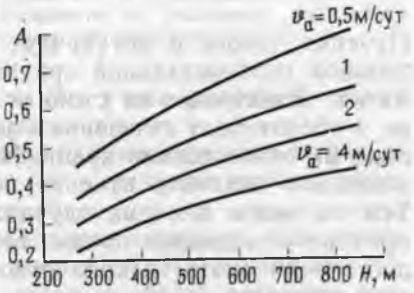


Рис. 6.41. График к расчету ожидаемой конвергенции по коэффициенту A в зависимости от глубины разработки H при различной скорости подвигания лавы

мощности ближайшего из вышележащих пластов в зависимости от последовательности их отработки;

целики и краевые части по вышележащим пластам могут увеличить конвергенцию на 25—60%.

Более тщательный анализ результатов измерений конвергенции в штреках с односторонним выработанным пространством показал, что средняя конвергенция со стороны выработанного пространства зависит также от глубины разработки и скорости подвигания лавы. Из графика (рис. 6.41) можно определить ожидаемую конвергенцию в штреке с односторонним выработанным пространством. На оси ординат нанесен коэффициент A, входящий в расчетную формулу $K_1 = AqM$ (м).

6.5.5. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО ОБЪЕМА ПОДРЫВКИ ПОЧВЫ В ШТРЕКАХ С ОДНОСТОРОННИМ ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ [134]

Для выемочных штреков с односторонним выработанным пространством на участках, отрабатываемых в прямом порядке, объем подрывки почвы на 100 м штрека (м³) может быть опре-

делен по следующему уравнению регрессии:

$$SV = -33{,}43 + 0{,}15K^2_{EV},$$

в котором $K_{EV} = 15 \div 80\%$. Коэффициент достоверности этого уравнения составляет 80% при стандартном отклонении 80 м³ на 100 м.

При ожидаемой конвергенции более 50% постоянным членом уравнения можно пренебречь, так что расчеты выполняются по формуле

$$SV = 0{,}15K^2_{EV}.$$

6.6. СМЕЩЕНИЕ ПОРОД КРОВЛИ, ПОЧВЫ И БОКОВ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

6.6.1. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ШТРЕКОВ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ АРОЧНОЙ КРЕПЬЮ [43]

Пучение почвы и опускание кровли измеряют от вспомогательной горизонтальной средней линии, которая соединяет отметки, нанесенные на стойках арок. Таким образом, речь идет не о абсолютных смещениях пород кровли и почвы, а о смещениях их относительно крепи. На основании таких измерений невозможно отличить пучение почвы от вдавливания стоек рам. Тем не менее в обоих случаях требуется одно и то же мероприятие — подрывка почвы. Поэтому для практических целей достаточно знать, какого относительного поднятия почвы следует ожидать.

Регрессионный анализ данных по 60 выемочным штрекам с сопоставимыми условиями позволил получить следующее выражение для определения относительного пучения почвы (%):

$$SH = -58 + 0{,}039H + 3{,}7M \cdot SV + 21\sqrt{GL} \pm 4\%,$$

где H — глубина разработки, м; M — вынимаемая мощность пласта, м; SV — условный показатель способа охраны штрека со стороны выработанного пространства; GL — условный показатель прочности пород почвы.

Относительное поднятие почвы SH (от начальной высоты штрека) увеличивается, таким образом, на 3,9% с ростом глубины горных работ на каждые 100 м, на 3,7% при повышении мощности пласта на 1 м (с одновременным переходом от способа охраны выкладкой деревянных костров к возведению жестких околоштрековых полос или к использованию деревянных костров в штреках, которые раньше поддерживались без средств охраны со стороны выработанного пространства), а также на 21%, умноженный на квадратный корень из условного показателя прочности ближайшего породного слоя почвы.

Коэффициент достоверности этого уравнения, равный 80%, меньше, чем для уравнения конвергенции, по-видимому, из-за

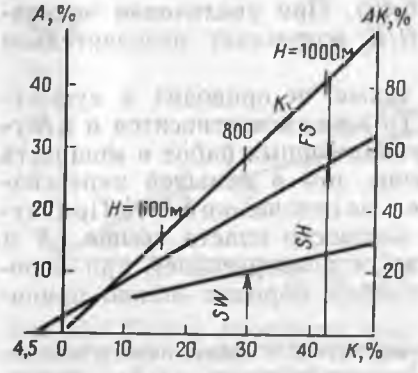


Рис. 6.42. График, отражающий взаимосвязь между опусканием кровли *FS*, пучением почвы *SH*, сближением боков *SW* и конвергенцией *K*:
A — доля в исходной величине; *AK* — доля в общей конвергенции

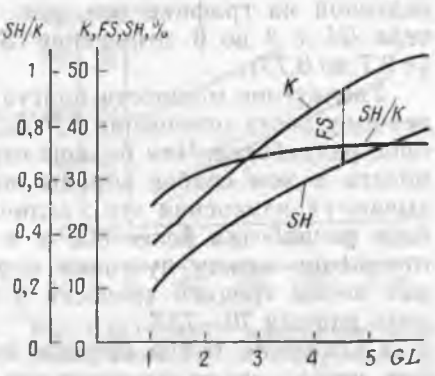


Рис. 6.43. График изменения конвергенции *K*, относительного опускания кровли *FS*, относительного пучения почвы *SH* и отношения *SH/K* в зависимости от условного показателя прочности пород почвы *GL*

того, что измерения производились без учета различий между кажущимся и фактическим пучением почвы.

На графике (рис. 6.42) показана взаимосвязь относительного пучения почвы и конвергенции (от начальной высоты выработки) для выемочного штрека, пройденного по пласту мощностью 1,8 м и охраняемого деревянными кострами, при условном показателе прочности пород почвы 2,5. Наклонная прямая, характеризующая долю пучения почвы в общей величине конвергенции, пересекает ось абсцисс не в начале координат, а в точке, соответствующей отрицательной конвергенции в —4,5% (—17 см). Из этого можно сделать вывод, что кровля успела опуститься на 17 см, прежде чем она вошла в контакт с крепью и началось проседание арок крепи. Измерения в закрепном пространстве непосредственно после установки крепи показали, что в среднем она отстояла от породного контура выработки на 26 см. Опускание породного контура выработки на 17 см соответствует 65% зазора между породами и верхняками крепи, так что можно считать, что степень заполнения закрепного пространства при забутовке вручную равна 35%. Таким образом, можно исходить из того, что конвергенция породного контура выработки в среднем на 4,5% больше, чем конвергенция, измеряемая в штреке между арками крепи и почвой выработки.

Для условий, приведенных на графике (см. рис. 6.42), доля пучения почвы в общей конвергенции составляет около 65%.

Зависимость конвергенции *K*, относительного пучения почвы *SH* и их отношения *SH/K* от условного показателя прочности пород почвы характеризуется графиком (рис. 6.43). Лишь при прочных породах почвы (*GL*=1) величина отношения *SH/K* сокращается до 0,5, т. е. становится значительно меньше, при-

веденной на графике (см. рис. 6.42). При увеличении показателя GL с 3 до 6 отношение SH/K возрастает незначительно (с 0,7 до 0,73).

Увеличение мощности пласта также не приводит к существенному росту отношения SH/K. То же самое относится и к глубине разработки. Чем больше глубина горных работ и мощность пласта и чем слабее породы почвы, тем в меньшей мере сказываются изменения этих величин на отношении SH/K. При глубине разработки более 800 м и мощности пласта свыше 1,8 м отношение между пучением почвы и конвергенцией при породах почвы средней крепости и слабых породах можно принимать равным 70—75%.

Сближение боков штрека измеряется изменением расстояния между двумя нанесенными на стойках арок крепи отметками (примерно на уровне середины мощности пласта) и выражается в процентах относительно начальной величины. Регрессионным анализом данных измерений в 60 штреках установлено, что измеренное в 300 м за лавой сближение боков SW изменяется прямо пропорционально изменению конвергенции K

$$SW = 3{,}5 + 0{,}23K \pm 4.$$

Степень надежности этого уравнения равна 77%. Более высокой надежности ожидать нельзя, так как породные стенки выработки должны сместиться на некоторое расстояние для обеспечения плотного контакта с рамами крепи, прежде чем сближение боков может быть измерено по деформированию крепи. При недостаточной затяжке боковые породы могут продавливаться сквозь рамы крепи, не говоря уже о том, что после прохода лавы одна из угольных стенок вообще перестает существовать. Но для практики достаточно знать, что уменьшение ширины выработки в результате сближения боков в среднем соответствует 30% величины конвергенции. При небольшой конвергенции оно может быть выше, при большой — ниже указанного значения.

Использованные при регрессионном анализе данные являлись результатами измерений конечного состояния каждого штрека (при этом исключались 100-метровые участки штреков у разрезной печи и у границы отработки выемочного участка). Конечные величины пучения почвы и сближения боков расположены на прямых линиях (см. рис. 6.42), их изменения пропорциональны изменению конвергенции. Из этого можно сделать вывод, что конечные величины пучения почвы и сближения боков (а следовательно, и их промежуточные значения с момента проведения и до конечного состояния) в любом штреке пропорциональны конвергенции в нем. В качестве нового положения можно отметить, что коэффициенты пропорциональности смещения боков в каком-то конкретном штреке имеют те же значения, что и аналогичные коэффициенты для конечных состояний всех штреков при равных значениях мощности пласта, условных

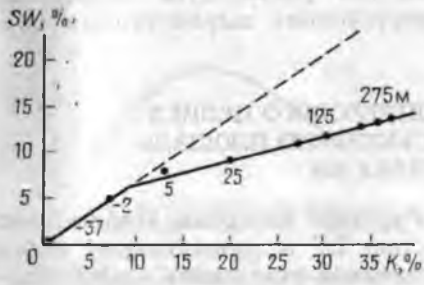


Рис. 6.44. График зависимости сближения боков штрека SW от конвергенции K на различном расстоянии от лавы

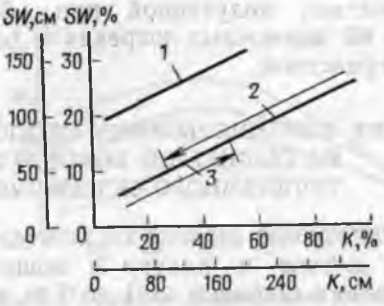


Рис. 6.45. График зависимости сближения боков SW от конвергенции K:
1 — после отработки пласта с обеих сторон штрека при ширине околоштрекового целика менее 7 м; *2* — то же, но при ширине целика более 15 м; *3* — после отработки пласта с одной стороны штрека при ширине целика более 15 м

показателях прочности пород почвы и индексах способа охраны со стороны выработанного пространства. Этим лишь подтверждается, что все параметры, характеризующие сдвижения пород, пропорциональны горному давлению.

На основе пропорциональности величин смещения в одном и том же штреке можно ожидать, что зависимость остаточной площади поперечного сечения штрека от факторов, наиболее существенно влияющих на конвергенцию, должна приближаться к линейной. Однако оказалось, что относительная величина остаточной площади поперечного сечения Ra, вычисленная по измеренным значениям конвергенции и сближения боков за вычетом площади поперечного сечения забоя подрывки почвы, связана с основными факторами, определяющими конвергенцию, следующим уравнением регрессии:

$$Ra = 164 - 0{,}059H - 5{,}2M \cdot SV - 21{,}5\sqrt{GL}.$$

Коэффициент надежности вычислений по этому выражению равен 79%.

На графике (рис. 6.44) приведены результаты обработки данных измерений сближений боков в 17 выемочных штреках в зависимости от конвергенции на различном расстоянии до лавы. Прирост конвергенции и сближения боков измеряли непрерывно от забоя штрека до точки, расположенной в 300 м за лавой. Зависимость представлена двумя прямолинейными ветвями. Первая из них характерна для участка штрека перед лавой, где обе угольные стенки активно выдавливаются в штрек, вторая же ветвь, более пологая, соответствует участку штрека за лавой, где имеется только одна угольная стенка.

Уравнение регрессии, описывающее зависимость сближения боковых стенок на участке штрека за лавой от конвергенции, $SW = 3{,}5 + 0{,}28\,K$, %, достаточно точно совпадает с зависи-

мостью, полученной при обработке результатов измерений в 60 выемочных штреках с односторонним выработанным пространством.

6.6.2. ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ОКОЛОШТРЕКОВОГО ЦЕЛИКА НА СБЛИЖЕНИЕ БОКОВ И ОСТАТОЧНУЮ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ШТРЕКА [50]

Выемочные штреки на шахтах Рурского бассейна. Наблюдения в штреке по пласту N мощностью 2,7 м, пройденному вдоль целика шириной от 1 до 7 м, позволили установить влияние ширины целика на сближение боков выработки и деформацию крепи. Наиболее целесообразная ширина целика составила 2 м. При такой его ширине сближение боков было относительно небольшим, а крепь не подвергалась деформациям.

В штреках с односторонним выработанным пространством выявилась определенная зависимость между конвергенцией и сближением боков (рис. 6.45). На прямой *3* находятся замеренные значения сближения боков при ширине целика более 15 м. Следовательно, сближение боков штрека при достаточно большой ширине целика происходит в соответствии с той же зависимостью от конвергенции, как и в штреках с односторонним выработанным пространством, правда, при большем ее значении. В то же время в штреках с шириной целика менее 7 м, при примерно такой же конвергенции, как при одностороннем выработанном пространстве, сближение боков в два раза больше. Угольные целики большей ширины раздавливаются менее интенсивно. Сильное вдавливание целика, окруженного с обеих сторон выработанным пространством, вызывает интенсивные проявления горного давления в выемочном штреке и в выработках по нижележащим пластам. Поэтому целесообразно, если это вообще возможно, принимать ширину околоштрековых целиков менее 7 м.

Базисные выработки на шахте «Варндт». На графике (рис. 6.46) представлена зависимость сближения боков базисных выработок на шахте «Варндт» от ширины целиков. Максимум сближения приходится на ширину целика 25 м.

Оставляемые вдоль пластовых выработок угольные целики должны иметь возможно меньшую ширину. Чтобы при достаточно широком целике сближение боков выработки было таким же, как при целике шириной 2 м, ширина такого целика должна быть не менее 60 м. Однако излишне широкие целики нецелесообразны по фактору высоких потерь угля. Кроме того, их оставление вызывает повышение горного давления на выработки по нижележащим пластам.

Выемочные штреки на шахте «Эмиль Майриш». На графике (рис. 6.47) приведена зависимость относительной потери площади поперечного сечения Q в выемочных штреках, пройденных с опережением лавы на пластах B, D, L, N, O и Q и закреплен-

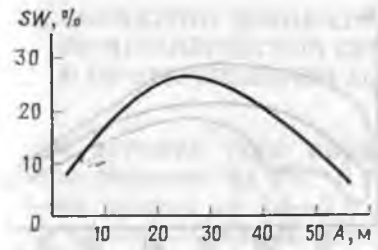


Рис. 6.46. График зависимости сближения боков SW базисной выработки на шахте «Варндт» от ширины целика A

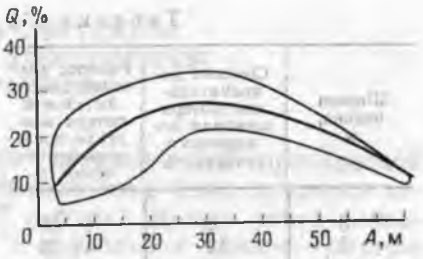


Рис. 6.47. График зависимости дополнительной потери площади поперечного сечения выработки Q от ширины целика A для штреков, пройденных с опережением лавы и закрепленных податливыми арочными крепями

ных податливой арочной крепью, от ширины целика A. Усредненная кривая, проведенная в зоне разброса фактических данных, свидетельствует о том, что на шахте «Эмиль Майриш» в штреках, имеющих с одной стороны угольный целик, по сравнению со штреками без угольных целиков происходит дополнительное уменьшение площади поперечного сечения.

Доля уменьшения высоты штреков (вертикальная конвергенция) в дополнительной потере площади поперечного сечения в зависимости от ширины целика характеризуется усредненной кривой (рис. 6.48) в зоне разброса фактических данных. Влияние работ по подрывке почвы удалось почти полностью исключить путем измерения глубины подрывки.

Доля сближения боков штрека (горизонтальная конвергенция) в дополнительной потере площади поперечного сечения в зависимости от ширины целика характеризуется графиком (рис. 6.49), а также данными табл. 6.13.

Большой разброс фактических данных объясняется тем, что на влияние ширины целика на горизонтальную конвергенцию

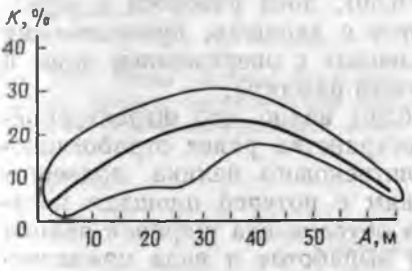


Рис. 6.48 График зависимости дополнительной потери высоты выработки Q от ширины целика A для штреков, пройденных с опережением лавы и закрепленных податливыми арочными рамами

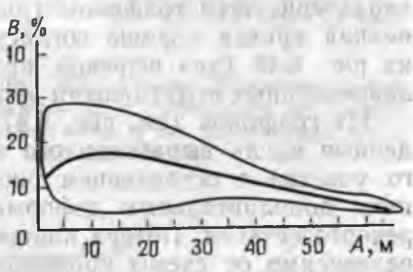


Рис. 6.49. График зависимости дополнительной потери ширины выработки B от ширины целика A для штреков, пройденных с опережением лавы и закрепленных податливыми арками

Таблица 6.13

Ширина целика, м	Средняя дополнительная потеря площади поперечного сечения, %	Разброс значений дополнительной потери площади поперечного сечения, %
3	8	4—18
5	12	4—23
10	18	7—28
20	25	13—32
30	28	22—34
40	25	20—31
50	21	17—24
60	15	11—17

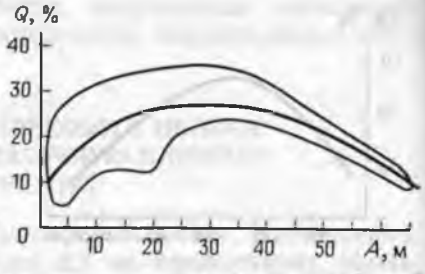


Рис. 6.50. График зависимости дополнительной потери площади поперечного сечения выработки Q от ширины целика A для всех обследованных выемочных штреков

накладывается сужение выработки, вызываемое подрывкой почвы, которое исключить из анализа невозможно. Из 43 штреков, пройденных с опережением лавы и закрепленных податливыми арочными рамами, в которых исследовали влияние ширины угольных целиков на сужение поперечного сечения, в 16 (37%) проводились интенсивные работы по подрывке почвы (в некоторых из них по всей длине выемочного участка).

Так как все составляющие смещения контура выработки изменяются пропорционально изменению конвергенции, на основе рассмотренных кривых можно при помощи простейших формул определить ожидаемую конвергенцию.

В штреках, пройденных с отставанием от лавы и закрепленных податливыми арочными рамами, увеличение ширины околоштрекового целика также приводит к дополнительной потере площади поперечного сечения. Аналогичное явление наблюдается в штреках, закрепленных кольцевой податливой крепью.

Потеря площади поперечного сечения, вызванная влиянием целиков различной ширины, для всех обследованных штреков независимо от схемы их проведения и вида применяемой крепи характеризуется графиком (рис. 6.50). Зона разброса и усредненная кривая хорошо согласуются с данными, приведенными на рис. 6.48 (для штреков, пройденных с опережением лавы и закрепленных податливыми арочными рамами).

Из графиков (см. рис. 6.47—6.50) видно, что штреки, пройденные вдоль выработанного пространства ранее отработанного участка с оставлением околоштрекового целика, подвергаются дополнительным деформациям с потерей площади поперечного сечения. Потеря площади обусловлена шириной целика независимо от схемы проведения выработок и вида применяемой крепи.

6.6.3. СБЛИЖЕНИЕ БОКОВ ШТРЕКА С ЗАТЯЖКОЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕТКИ, ЗАКРЕПЛЕННОЙ И НЕ ЗАКРЕПЛЕННОЙ АНКЕРАМИ [139]

Схема затяжки бока выработки металлической проволочной сеткой показана на рис. 6.51. Проволочная сетка крепится анкерами длиной по 1,8—2,2 м. В породах кровли устанавливаются сталеполимерные анкеры, а в угольном пласте — анкеры с распорной головкой, которые перед подходом лавы могут быть удалены, или анкеры с пластмассовыми штангами, срезаемыми исполнительным органом струга или комбайна.

Об эффективности применения анкерования с металлической сетчатой затяжкой для уменьшения сближения боков штреков, поддерживаемых в угольном массиве, можно судить по графику (рис. 6.52). При мощности пласта 2 м анкерование с сеткой позволяет уменьшить сближение боков с 320 до 100 мм.

Принцип упрочнения ослабленного бока штрека схематически показан на рис. 6.53. Благодаря напряжениям бокового распора σ_1, создаваемым анкерами и проволочной сеткой в ранее не связном материале бока штрека, нормальная к напластова-

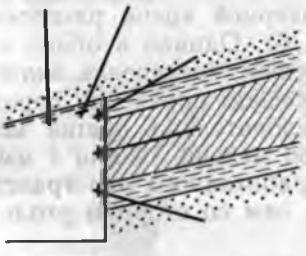


Рис. 6.51. Схема затяжки бока выемочного штрека металлической проволочной сеткой, закрепляемой анкерами

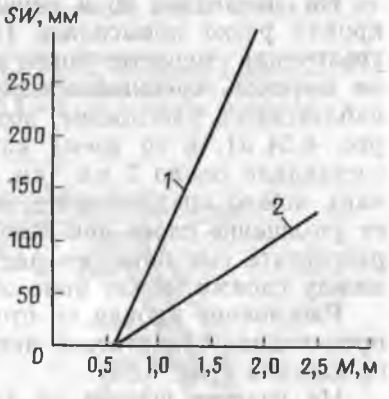


Рис. 6.52. График сближения боков выработки в зависимости от мощности пласта M без анкерования (*1*) и с анкерованием (*2*)

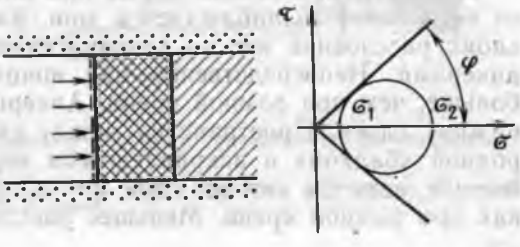


Рис. 6.53. Схема, поясняющая принцип упрочнения приконтурного породного массива заанкерованной проволочной сеткой

нию прочность на сжатие σ_2, которая зависит от угла внутреннего трения φ, увеличивается в среднем в 7,6 раза (при $\varphi = 50°$).

6.6.4. РАССЛОЕНИЕ ПОРОД КРОВЛИ, УПРОЧНЕННЫХ И НЕ УПРОЧНЕННЫХ АНКЕРАМИ, В ШТРЕКАХ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ [127]

В выемочных штреках с прямоугольной формой поперечного сечения, проводившихся с опережением лавы примерно на 80 м, велись непрерывные измерения опускания кровли, начинавшиеся непосредственно в забое штрека (рис. 6.54). Опускание кровли почти линейно возрастало до тех пор, пока лава не приблизилась на 20 м к контролируемому сечению штрека. Опускание кровли в этом месте составило 12 мм, в то время, как на измерительных анкерах, закрепленных в породах на 2,7 м выше кровли штрека, было определено вдвое меньшее опускание. Бока и почва сместились примерно на одинаковое расстояние внутрь выработки, как это имеет место при псевдопластическом поведении пород.

На последних 20 м перед лавой интенсивность опускания кровли резко повысилась (см. рис. 6.54) при одновременном увеличении смещения боков и почвы примерно до 50 мм. В кровле штреков, крепившихся рамной крепью до высоты 2,7 м, наблюдалось расслоение, доходившее в среднем до 14 мм (см. рис. 6.54, *а*), в то время как при анкерной крепи расслоение составляло около 7 мм (см. рис. 6.54, *б*). Однако в обоих случаях можно предположить, что измеренное расслоение включает утолщение слоев при псевдопластическом поведении пород в результате сил бокового распора. Следовательно, общий зазор между слоями может быть значительно меньше 14 или 7 мм.

Расслоение кровли со стороны выработанного пространства происходило значительно интенсивнее, чем со стороны угольного массива (рис. 6.55).

На участке штрека за лавой опускание кровли резко возросло. Расслоение пород, т. е. разница между опусканием самого верхнего и самого нижнего из контролируемых слоев, составило в 30 м за лавой около 65 мм для рамной крепи (см. рис. 6.54, *а*) и около 30 мм для анкерной крепи (см. рис. 6.54, *б*).

Характер расслоения пород при анкерной крепи отличается от того, который наблюдается при рамной крепи. В нижних слоях расслоение весьма незначительно, так как они «сшиты» анкерами. Непосредственно над концами анкеров расслоение больше, чем при рамной крепи. Анкеры предотвращают прогиб нижних слоев. Пространство между скрепленной анкерами породной «балкой» и искривленными верхними слоями было бы больше, если бы нижние слои могли прогнуться так же сильно, как при рамной крепи. Меньшее расслоение скрепленных анке-

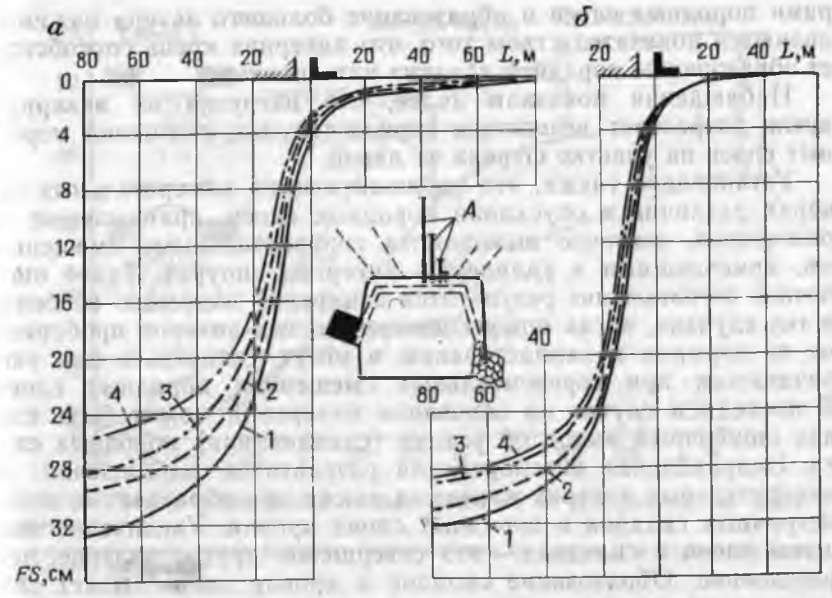


Рис. 6.54. График зависимости опускания и расслоения пород кровли *FS* от расстояния до лавы *L*:

а — в штреках с рамной крепью (*1* — опускание кровли выработки; *2—4* — опускание породных слоев на расстоянии соответственно 1,1; 1,7 и 2,7 м от кровли выработки); *б* — в штреках с анкерной крепью (*1* — опускание кровли выработки; *2—4* — опускание породных слоев на расстоянии соответственно 0,8; 1,4 и 2,4 м от кровли выработки); *А* — измерительные анкеры

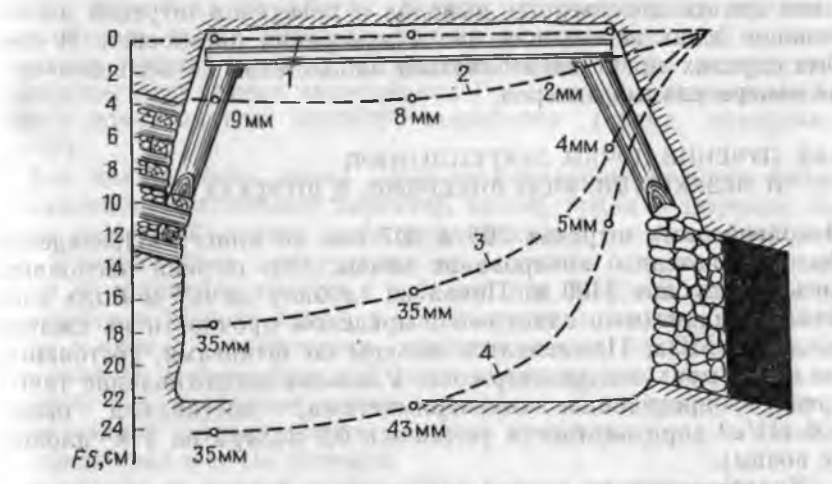


Рис. 6.55. Схема опускания кровли *FS* штрека, пройденного по наклонному пласту:

1 — на расстоянии 15 м перед лавой; *2* — на сопряжении лавы со штреком; *3, 4* — на расстоянии соответственно 25 и 75 м за лавой

рами породных слоев и образование большего зазора над ними являются доказательством того, что анкерная крепь способствует образованию породной «балки» или «плиты».

Наблюдения показали далее, что нагрузка на анкерную крепь возрастает вследствие горизонтальных смещений породных слоев на участке штрека за лавой.

Установлено также, что наблюдаемые на измерительных анкерах различия в опускании породных слоев, принимаемые за расслоение, частично вызываются горизонтальными смещениями, приводящими к удлинению анкерных шпуров. Такое ошибочное истолкование результатов измерений возможно особенно в тех случаях, когда шпуры измерительных анкеров пробурены не по нормали к напластованию и могут удлиняться или укорачиваться при горизонтальных смещениях породных слоев. В последнем случае на основании измерений может быть сделан ошибочный вывод об усадке (сдавливании) породных слоев. Неправильная интерпретация результатов наблюдений на измерительных анкерах возможна также при образовании асимметричных складок в породных слоях кровли. Увеличение толщины слоев в складках — это совершенно другое явление, чем расслоение. Образование складок в кровле часто бывает связано с расслоением, но не с плоским надвигом, при котором увеличение толщины породных слоев нередко ошибочно принимают за складкообразование. Различный характер деформации кровли штрека при образовании складок и плоском надвиге с различной степенью кажущегося «расслоения», а также нередко изменяющиеся положение и величина максимума складки относительно контура выработки и ее продольной оси не позволяют делать достоверных выводов о поведении штреков на основании лишь небольшого числа измерений расслоения. В особых случаях могут потребоваться наблюдения на большом числе измерительных анкеров.

6.6.5. ПУЧЕНИЕ ПОЧВЫ, ЗАКРЕПЛЕННОЙ И НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ АНКЕРАМИ, В ШТРЕКАХ [134]

В конвейерных штреках 305 и 307 лав по пласту «Президент» было произведено анкерование почвы. Эти штреки располагались на глубине 1100 м. Почва на глубину до 6,7 м была сложена песчанистыми сланцами с пределом прочности на сжатие около 70 МПа. Применялись анкеры со штангами, состоявшими из четырех тонких стержней. Удельное сопротивление такой крепи, определенное экспериментами, составляло около 300 кН/м² (при плотности установки 0,8 анкера на 1 м² площади почвы).

Конвергенция на закрепленных анкерами участках штреков контролировалась в порядке производственных наблюдений за состоянием штреков. Усредненные результаты измерений относительной конвергенции от начальной высоты штрека в зависи-

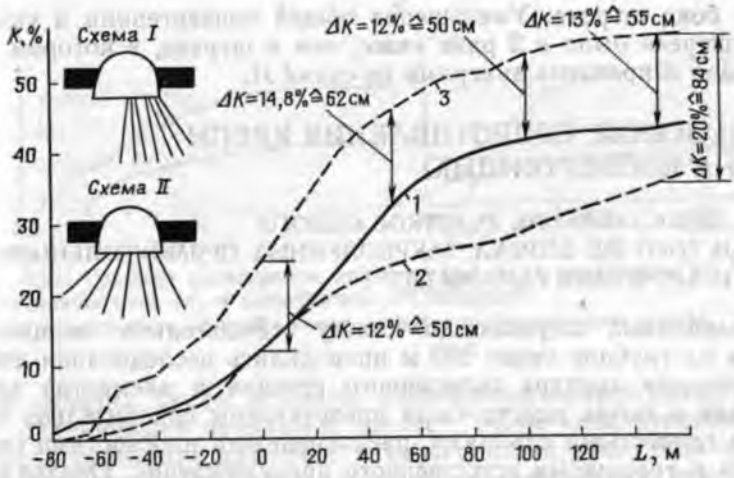


Рис. 6.56. График зависимости конвергенции K от расстояния до лавы L в штреках:

1, 2 — с упрочнением почвы анкерами соответственно по схемам *I* и *II*; *3* — без упрочнения почвы анкерами

мости от расстояния до лавы характеризуются графиком (рис. 6.56). Сравнение кривых показывает, насколько уменьшается конвергенция штрека благодаря закреплению почвы анкерами.

В штреке 307 по производственным причинам станок для бурения шпуров под анкеры пришлось установить у прилегающего к лаве бока выработки. В силу этого оказалось возможным крепить почву анкерами только на примыкающей к лаве половине сечения штрека. Остальная часть почвы оставалась незакрепленной (схема анкерования *I*). Во втором штреке анкеровали почву на всю ширину выработки (схема анкерования *II*).

Так как в обеих лавах горно-геологические условия были одинаковыми, различный характер конвергенции в штреках за лавой можно объяснить лишь различиями в схемах анкерования. Влияние схем анкерования на пучение почвы хорошо видно из сравнения кривых *1* и *2* (см. рис. 6.56). До точки, находящейся в 10 м за лавой, в обоих штреках, несмотря на различие в схемах анкерования, пучение почвы было примерно одинаковым и примерно в 2 раза меньшим, чем на участках штреков без крепления почвы анкерами. Следовательно, при обеих схемах расположения анкеров предупреждалось активное сдвижение в почве штреков.

В штреке со схемой анкерования *I* после прохода лавы почва у противоположного лаве бока выработки начала активно пучиться. В результате этого в породах почвы образовалась остроугольная складка, направленная в сторону противоположного

лаве бока штрека. Уменьшение общей конвергенции в указанном штреке было в 2 раза ниже, чем в штреке, в котором почва была закреплена анкерами по схеме *II*.

6.7. ВЛИЯНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕПИ НА КОНВЕРГЕНЦИЮ

6.7.1. СОПОСТАВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ОДНОГО И ТОГО ЖЕ ШТРЕКА, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ И АРОЧНЫМИ РАМАМИ [2]

В выемочных штреках по пласту «Вильгельм» мощностью 2,6 м на глубине около 900 м проводились исследования деформируемости контура поперечного сечения и элементов крепи. Кровля и почва пласта были представлены сравнительно крепкими глинистыми сланцами, расчлененными плоскостями ослабления и трещинами естественного происхождения. Предел прочности на сжатие вмещающих пород составлял 40—80 МПа. Часть каждого из указанных выемочных штреков была пройдена комбайновым способом и имела прямоугольную форму, часть — буровзрывным способом с креплением арками. После прохода лавы участки весьма различались в отношении деформирования крепи и остаточных размеров поперечного сечения (табл. 6.14).

Из графиков (рис. 6.57), построенных обычным способом, видно что участки штреков с прямоугольной формой поперечного сечения имели меньшую абсолютную конвергенцию (правда, при меньшей начальной высоте). Более показательными являются сравнение давления и конвергенции (рис. 6.58 и 6.59) и объединение этих показателей в характеристики (рис. 6.60), выражающие зависимость конвергенции от прироста давления.

Таблица 6.14

Штреки	Конвергенция, %	Пучение почвы, %	Опускание кровли, %	Сближение боков, %	Степень деформирования крепи*	Средняя просадка рам крепи, см	Просадка рам, см		
							со стороны лавы	в середине (в своде)	со стороны угольного массива
Штреки с арочной формой поперечного сечения									
Вентиляционный	40	12	28	17	3,3	36	50	28	30
Конвейерный	42	17	25	12	3,5	48	64	32	49
В среднем по 20 штрекам шахт Рурского бассейна	34	23	11	12	1,5	29	42	20	27
Штреки с прямоугольной формой поперечного сечения									
Вентиляционный	35	—	—	10	2,8	61	74	69	41
Конвейерный	25	—	—	17	1,6	67	72	71	57

* 1 — отсутствие деформаций; 2 — легкий изгиб; 3 — значительный изгиб; 4 — небольшие разрушения; 5 — значительные разрушения.

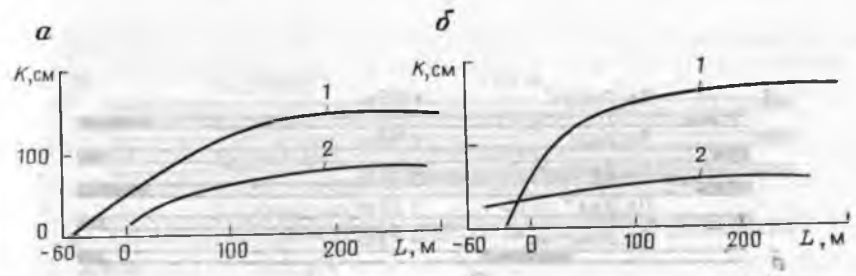


Рис. 6.57. Графики зависимости конвергенции K от расстояния до лавы L в вентиляционном (*а*) и конвейерном (*б*) штреках:
1, 2 — соответственно с арочной и прямоугольной формой поперечного сечения

Интенсивность конвергенции, т. е. относительное уменьшение высоты выработки при определенном приросте давления, была примерно одинаковой на участках конвейерного и вентиляционного штреков с арочной и прямоугольной формой поперечного сечения. Из этого следует, что горно-геологические условия в рамках допустимого разброса величин были везде одинаковыми и что конвергенция зависела от этих условий, а также от начальной высоты выработок и распределения горного давления под влиянием очистных работ и краевых частей по вышележащим пластам.

Определенная ранее по наблюдениям в девяти штреках интенсивность конвергенции колебалась в пределах от 4 до 33 см на 10 МПа. Таким образом, для данного случая интенсивность конвергенции, составлявшая 20 и 33 см на 10 МПа, представляется очень большой для сравнительно крепких боковых пород. Интенсивность относительной конвергенции составляла 7,5% начальной высоты выработки на 10 МПа прироста давления.

Но все же при приросте давления свыше 90 МПа на участках штреков с прямоугольной формой поперечного сечения и соответствующей крепью линейная зависимость между конвергенцией и приростом давления нарушалась. Результатом этого являлись быстрое уменьшение высоты выработки и необходимость ее перекрепления. Указанное нарушение выражается в изломе прямолинейной характеристики штрека (см. рис. 6.60, *а*). Таким образом, прирост давления 90 МПа является предельным для применения прямоугольной рамой крепи в штреках по пластам «Вильгельм». Правда, при приросте давления свыше 90 МПа на участках штреков с арочной крепью площадь поперечного сечения также уменьшалась настолько, что они были

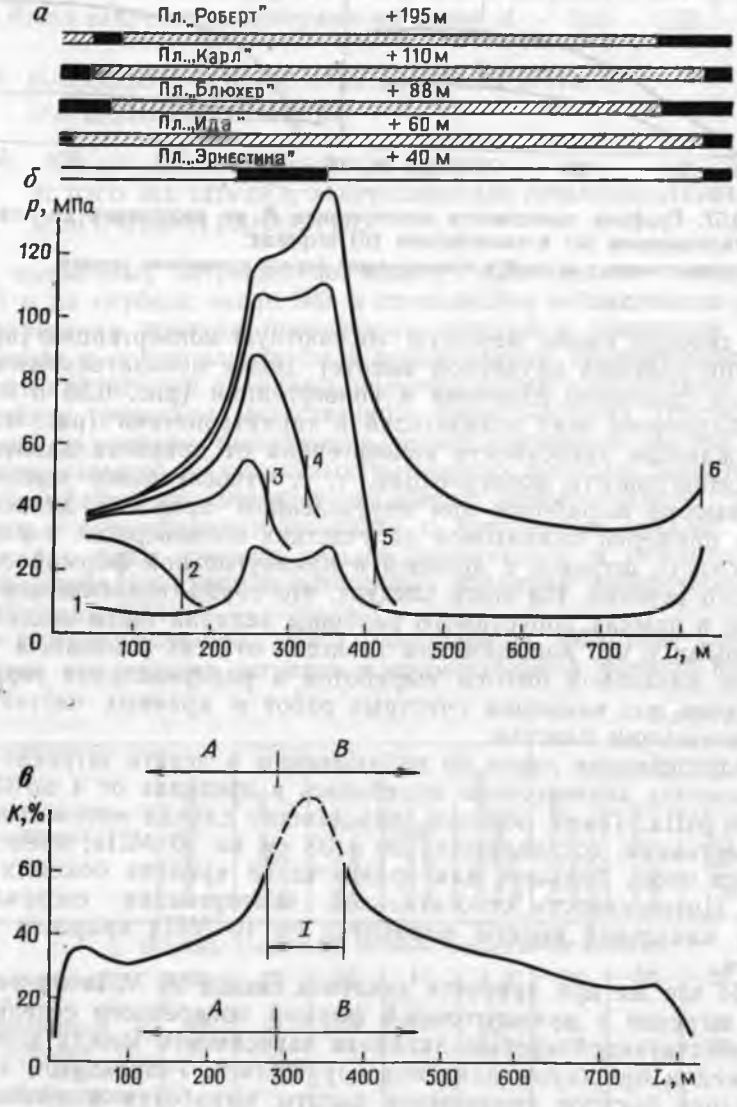


Рис. 6.58. Залегание пластов (*а*) и графики распределения давления p (*б*) и конечной конвергенции K (*в*) по длине вентиляционного штрека L на участках с арочной (A) и прямоугольной (B) формой поперечного сечения:

1—6 — после отхода лавы от разрезной печи соответственно на 40, 160, 270, 330, 410 и 820 м; *I* — зона разрушения крепи

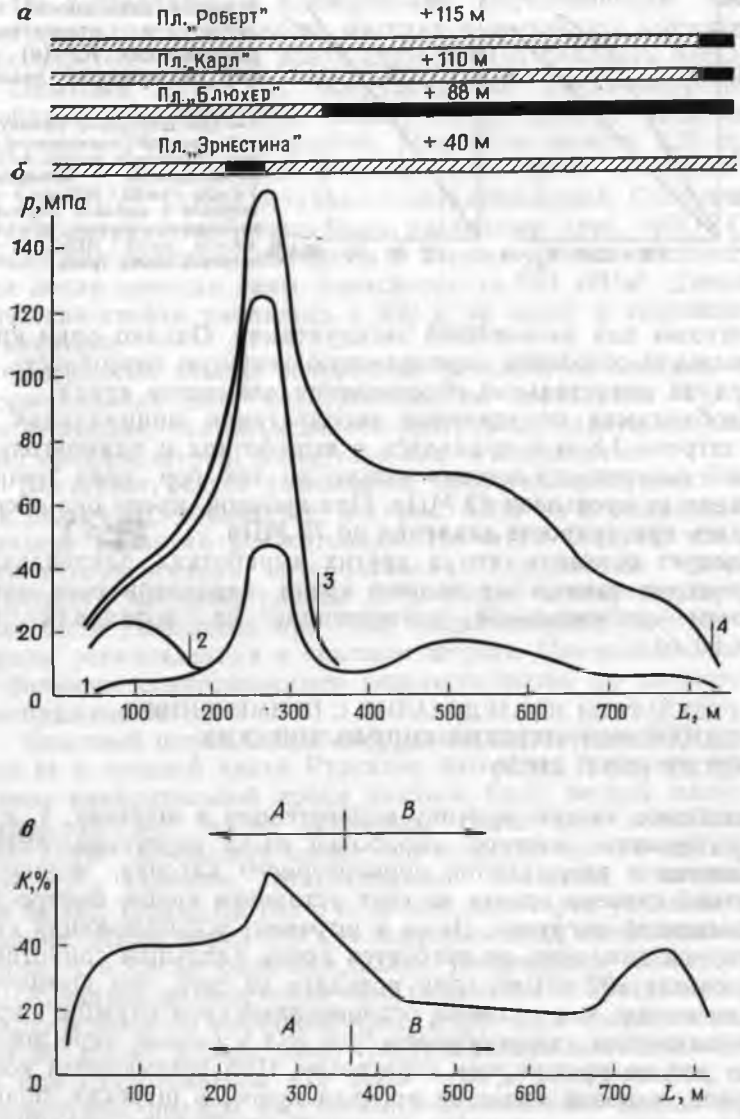


Рис. 6.59. Залегание пластов (*а*) и графики распределения давления *p* (*б*) и конечной конвергенции *K* (*в*) по длине конвейерного штрека *L* на участках с арочной (*A*) и прямоугольной (*B*) формой поперечного сечения:

1—4 — после отхода лавы от разрезной печи соответственно на 50, 170, 330 и 820 м

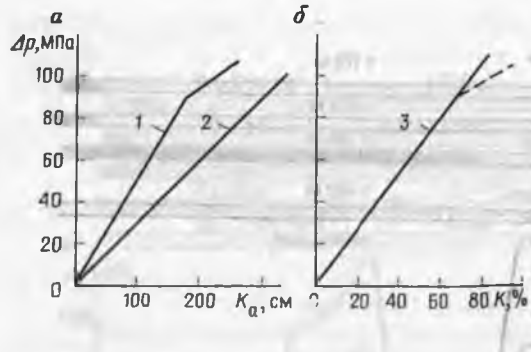


Рис. 6.60. Характеристики выемочных штреков как функции зависимости абсолютной и относительной конвергенции K_a (*а*) и K (*б*) от прироста давления Δp:

1 — для штреков с прямоугольной формой поперечного сечения (начальная высота h=2,6 м; интенсивность конвергенции VK=20 см/10 МПа; *2* — для штреков с арочной формой поперечного сечения (h=4,4 м; VK=33 см/10 МПа); *3* — для штреков обоих типов

непригодны для дальнейшей эксплуатации. Однако арки крепи продолжали сохранять определенную несущую способность, несмотря на значительные повреждения элементов крепи.

Необходимая по условиям эксплуатации минимальная высота штрека 1,8 м сохранялась в выработках с прямоугольной формой поперечного сечения только до тех пор, пока прирост давления не превышал 42 МПа. При арочной крепи она обеспечивалась при приросте давления до 72 МПа.

Следует отметить, что в других выработках, закрепленных попеременно такими же видами крепи, характеристики интенсивности относительной конвергенции не совпадали (см. рис. 6.60, *б*).

6.7.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТОЕК (ПО Г. ЯНСУ)

На наиболее частую причину конвергенции в штреках, т. е. на деформирование контура выработки из-за разгрузки, смятия, расслоения и разрыхления приконтурного массива, можно до известной степени влиять за счет установки крепи, быстро воспринимающей нагрузку. Даже в штреках, испытывающих сильное горное давление, не требуется крепь удельным сопротивлением свыше 200 кН/м², если исходить из того, что выемочные штреки имеют, как правило, ограниченный срок службы, а крепь устанавливается таким образом, что она в равной мере воздействует как на кровлю, так и на почву. При незамкнутом контуре крепи, каковой является арочная крепь, в штреках, подверженных сильному давлению, основная компонента деформации контура выработки приходится на почву.

Эффект снижения деформационной составляющей конвергенции за счет применения крепи с более высоким сопротивлением по мере его повышения становится все более слабым. Более того, даже при использовании крепи со сверхвысоким сопротивлением, например 1200 кН/м² (такие крепи неприемлемы на практике по экономическим и техническим соображениям),

не удалось бы полностью приостановить развитие конвергенции.

На составляющую конвергенции, обусловленную абсолютным опусканием породного массива в результате выемки угольных пластов, усилием крепи существенно повлиять нельзя.

Опытный штрек 1, оборудованный динамометрическими стойками, был пройден по пласту R1 на глубине 785 м в западной части Рурского бассейна. Мощность пласта 1,25 м, угол падения 4—9°. Удельное сопротивление крепи составляло около 100 кН/м². Почва оставалась незакрепленной. Сопротивление динамометрических стоек было различным (рис. 6.61). Оно не имело определенной величины в период установки стоек, а затем после прохода лавы повысилось до 580 кН/м². Динамометрические стойки удалялись в 200 м за лавой и заменялись деревянными.

Детальный анализ полученных результатов показал, что деформационная доля конвергенции не превышала 4% общей конвергенции, что объяснялось разгрузкой пласта, по которому был пройден штрек, вследствие над- и подработки.

Внезапное резкое уменьшение сопротивления крепи и столь же резкое его повышение (см. рис. 6.61) не отражались на характере развития конвергенции. Из этого следует, что компонента конвергенции, обусловленная абсолютным опусканием породного массива, равная 96% общей конвергенции, не может быть уменьшена при том сопротивлении, которое имела крепь, установленная в опытном штреке. Применение же крепи с большим сопротивлением нецелесообразно по экономическим соображениям.

Опытный штрек 2 был оборудован на глубине 920 м на пласте H в средней части Рурского бассейна. Удельное сопротивление измерительной крепи вначале было весьма мало, и лишь через 29 сут после установки стоек оно повысилось до 290 кН/м². Несколько позже оно возросло до 470 кН/м². Через 98 сут удельное сопротивление внезапно снизилось до 50 кН/м². При этом было отмечено некоторое усиление конвергенции. Лишь через 550 сут сопротивление крепи снизилось до нуля, что снова сопровождалось увеличением конвергенции.

Развитие конвергенции при различном сопротивлении крепи характеризуется графиком (рис. 6.62). При сопротивлении крепи 50 кН/м² можно было предупредить по меньшей мере 40%, а при сопротивлении 470 кН/м² — 58% конвергенции, ожидавшейся при полном отсутствии сопротивления крепи. Из этого можно сделать вывод, что по мере повышения сопротивления крепи доля конвергенции, которая может быть предупреждена увеличением сопротивления крепи, становится все меньше и меньше, т. е. эффект от повышения сопротивления крепи, выражающийся в снижении конвергенции, ослабевает.

В отношении влияния несущей способности крепи на состояние выработки приведенные выше данные дают основание предполагать, что после снижения через 100 сут удельного со-

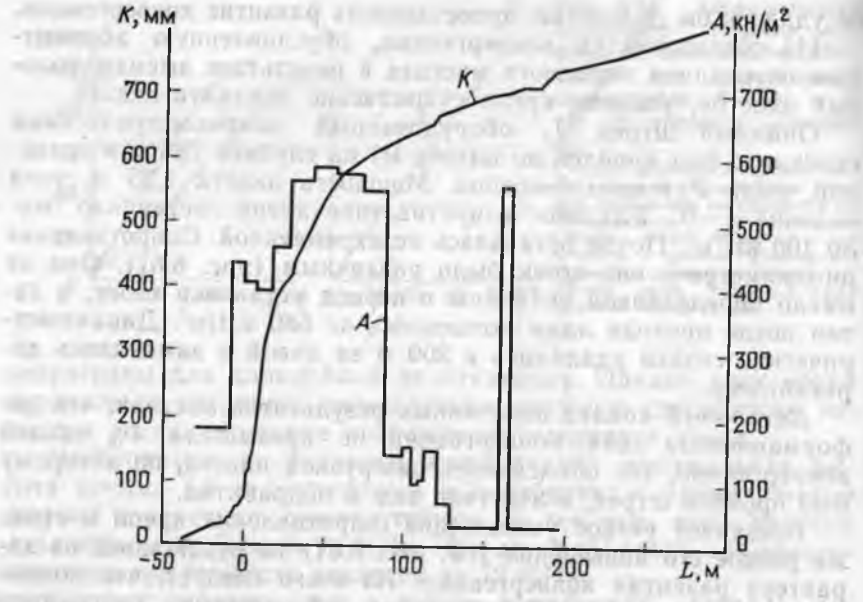


Рис. 6.61. График изменения конвергенции K и сопротивления динамометрических стоек A в зависимости от расстояния между местом измерений и лавой L

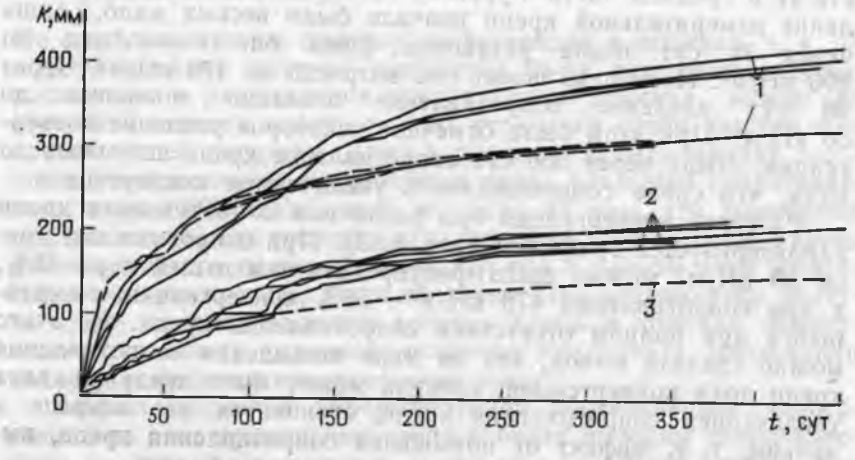


Рис. 6.62. Графики изменения конвергенции K на различных замерных станциях во времени t:

1—3 — удельное сопротивление динамометрических стоек, равное соответственно 0, 50 и 470 кН/м²

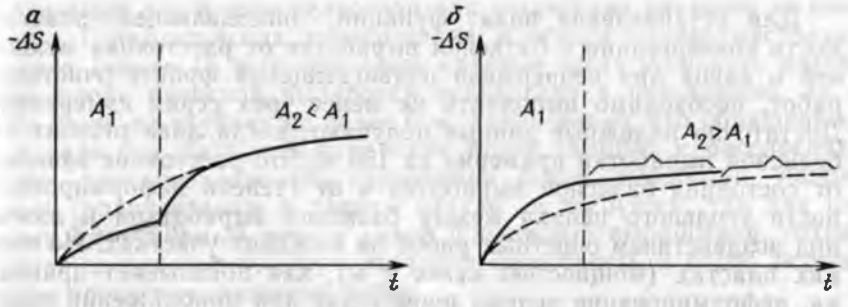


Рис. 6.63. Графики уменьшения площади поперечного сечения выработки ΔS во времени t при различном сопротивлении крепи A:
сплошные линии — фактическое ΔS, штриховые — экстраполированное ΔS

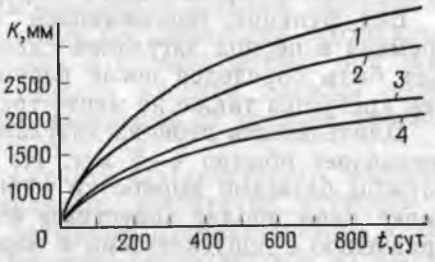


Рис. 6.64. График развития конвергенции K во времени t при различном удельном сопротивлении крепи:
1 — 0 кН/м² (почва); *2* — 120 кН/м²; *3* — 380 (почва)+110 (бока) кН/м²; *4* — 650 (почва)+110 (бока) кН/м²

противления со 120 до 0 кН/м² смещения пород в выработку усилились и именно в такой мере, в какой раньше было достигнуто некоторое замедление уменьшения площади поперечного сечения выработки (рис. 6.63, *а*).

Обратная картина наблюдается при повышении начального сопротивления крепи, происшедшем через 215 сут после ее установки. В этом случае можно предположить, что существовавшие раньше темпы уменьшения площади поперечного сечения выработки замедлились. Если бы с самого начала крепь работала с повышенным сопротивлением (см. рис. 6.63, *б*), то достигнутое уменьшение площади поперечного сечения штрека произошло бы значительно позднее.

Другие зависимости, относящиеся к конвергенции и сопротивлению крепи, приведены на рис. 6.64.

6.8. КОНВЕРГЕНЦИЯ В БАЗИСНЫХ ВЫРАБОТКАХ

6.8.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ, ОСТАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОХРАНЫ БАЗИСНЫХ ВЫРАБОТОК [67]

Первые признаки воздействия на базисную выработку приближающейся к ней лавы появляются уже на расстоянии 100—350 м. Поэтому измерительные анкеры должны устанавливаться в базисной выработке еще до их появления.

Для установления вида функции, описывающей зависимость конвергенции в базисной выработке от расстояния между ней и лавой при непрерывно подвигающемся фронте очистных работ, необходимо выполнить не менее трех серий измерений. Достаточно надежные данные получают, когда лава отстоит от базисной выработки примерно на 150 м. Это расстояние зависит от состояния базисной выработки и от степени деформированности угольного целика между базисной выработкой и лавой под воздействием очистных работ на соседних участках. На тонких пластах (мощностью менее 1 м), как показывает практика, деформирование целика происходит при приближении лавы к базисной выработке на значительно меньшем расстоянии, чем на более мощных пластах. Когда ширина целика сократится до 40 м, частота измерений должна увеличиться, чтобы не пропустить момент критического перераспределения напряжений.

Вид функции, описывающей зависимость конвергенции от времени в период затухания сдвижений породного массива, может быть определен после первых дней остановки лавы, причем требуется также не менее трех серий измерений.

Длительность периода затухания процесса сдвижения пород составляет обычно 4—5 мес. Из этого следует, что при сроке службы базисной выработки меньше 4—5 мес в ней при остановке лавы вполне допустимы более высокие деформации по сравнению с допускаемыми в нормальных случаях.

Величина деформаций, появляющихся в базисных выработках с момента остановки лавы и до затухания процесса сдвижения пород, примерно равна тем деформациям, которые произошли в период приближения лавы, или несколько превышает их. Более значительные псевдопластические деформации, достигавшие к моменту остановки лавы не более 40 мм, развиваются впоследствии в тех случаях, когда целик между лавой и базисной выработкой подвергался предварительному воздействию очистных работ по соседним участкам и на тонких пластах.

Анализировать результаты измерений наиболее целесообразно путем построения графиков в полулогарифмической координатной сетке, так как это дает возможность весьма просто определять ожидаемую конвергенцию в базисной выработке при любом положении лавы, а также устанавливать допустимые по фактору условий эксплуатации величины конвергенции и деформации в момент остановки лавы и соответствующую ширину целика. Линейные зависимости справедливы до тех пор, пока деформации разрушения развиваются непрерывно и на них не влияют никакие другие факторы, кроме приближающегося фронта очистных работ.

В базисных выработках горизонтальная конвергенция (сближение боков) обычно преобладает над вертикальной (сближение кровли и почвы). Величина первой больше значений второй в 2—6 раз. Для предотвращения сближения боков

базисной выработки целесообразно устройство раскосов по пласту. Горизонтальная конвергенция в общем случае настолько мала (менее 15 мм), что лишь краевые части угольного массива вдоль базисной выработки подвергаются расслоению, да и то лишь на глубину не более 6 м. Установлено, что обращенный к лаве бок базисной выработки более склонен к расслоению, чем противоположный. Упрочнения боков выработки, например, полиуретаном в данном случае не требуется, так как целик, оставляемый между лавой и базисной выработкой, сохраняет достаточно высокую несущую способность и после затухания процесса сдвижения пород.

Так как точки закрепления штанг измерительных анкеров из-за перераспределения горного давления не остаются неподвижными, при измерениях в условиях определенных видов деформации приконтурного массива, например при пологом надвиге, могут быть определены чрезмерно большие значения вертикальной конвергенции. Поэтому составляющие вертикальной конвергенции (опускание кровли и пучение почвы) при значительном ослаблении приконтурного массива должны определяться путем дополнительных измерений от средней вспомогательной линии.

Для наблюдений за сдвижением приконтурного массива в базисной выработке, как правило, достаточно устроить две наблюдательные станции с четырьмя измерительными анкерами на каждой из них. Они должны располагаться на расстоянии около 50 м от вентиляционного и соответственно конвейерного штреков. Такая малая плотность измерений допустима лишь в том случае, когда в окрестностях базисной выработки не имеется зон тектонических нарушений, а также зон влияния краевых частей по соседним пластам и других ослабленных под- или надработкой зон породного массива. Такие зоны должны контролироваться отдельно.

Места пересечения базисных выработок выемочными штреками и другие участки местного увеличения площади поперечного сечения также должны рассматриваться как зоны ослабленного породного массива, в которых при необходимости следует производить упрочнение пород.

6.8.2. КОНВЕРГЕНЦИЯ ДО И ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ ЛАВЫ [67]

После устройства замерной станции 1 27 мая 1974 г. при расстоянии между лавой № 112 и базисной выработкой 124 м (рис. 6.65) вплоть до того времени, когда лава приблизилась на 85 м, регистрировались лишь небольшие отклонения от первоначально измеренных величин. Затем произошло заметное увеличение горизонтальной конвергенции ΔK_{II} (сближение боков), сопровождавшееся разрушением пород в них. Тенденция к выдавливанию боков сохранилась и после остановки лавы в 30 м перед базисной выработкой (рис. 6.66).

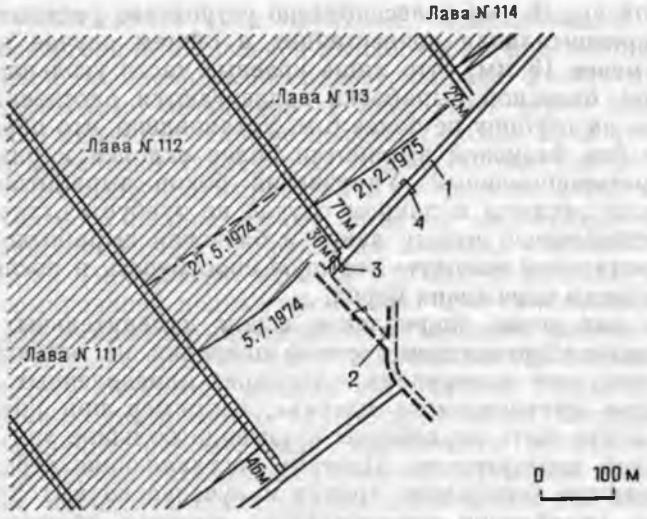


Рис. 6.65. Выкопировка из плана горных работ по пласту «Анна»:
1 — южная базисная выработка; *2* — полевой уклон; *3, 4* — соответственно замерные станции 1 и 4

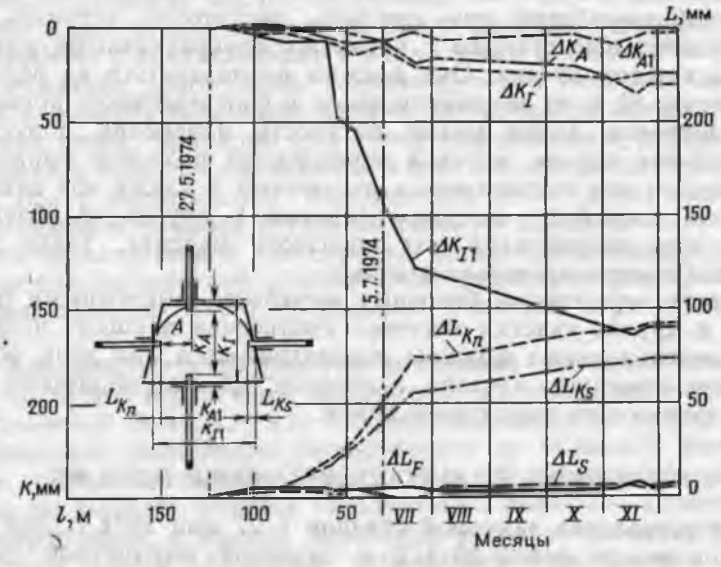


Рис. 6.66. Схема установки станции измерительных анкеров и график изменения конвергенции K и разрыхления приконтурного массива L на замерной станции 1 в базисной выработке по пласту «Анна»:
l — расстояние между базисной выработкой и лавой; A — расстояние между хвостовиком измерительного анкера и отвесной реперной линией; K_A — «внешняя» конвергенция; K_I — «внутренняя» конвергенция; $L_{K_п}$ и $L_{K_з}$ — горизонтальное смещение соответственно ближнего и дальнего боков базисной выработки L_F и L_S — расслоение приконтурного породного массива соответственно в кровле и почве; Δ — прирост соответствующих параметров

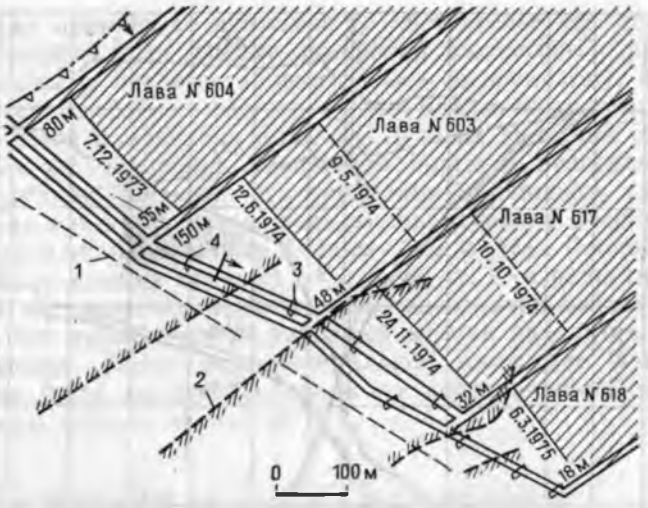


Рис. 6.67. Выкопировка из плана горных работ по пласту N:

1 — граница выхода пласта под наносы; *2* — границы целиков по расположенному ниже на 180 м пласту; *3, 4* — соответственно наблюдательные станции № 1 и 2

Полученные результаты дали основание попытаться оставить целик минимальной ширины при отработке участка лавой № 113 (см. рис. 6.65). При систематических наблюдениях на замерной станции № 4 лава была остановлена лишь в 22 м от базисной выработки. По сравнению с принятой ранее на шахте значительно большей шириной целиков, оставляемых по пласту «Анна» у базисных выработок, было дополнительно извлечено по 450 т угля на 1 м подвигания лавы, что при затратах на вскрытие и подготовку шахтного поля в размере 10 марок на 1 т запасов обеспечило значительный экономический эффект.

Пример отработки пласта N показывает, что к установлению оптимальной ширины целиков у базисных выработок следует подходить с большой осторожностью во избежание вредного воздействия проявлений горного давления на выработки с большим сроком службы. На пласте N вынимаемой мощностью 3,2 м на глубине 300 м отрабатывались в обратном порядке столбы № 604, 603, 617 и 618, лавы которых приближались к системе базисных выработок, пройденных в зоне выхода пластов под наносы (рис. 6.67). Ширину целиков, оставляемых между лавами и базисной выработкой, определили на основе предыдущего практического опыта в 55—65 м.

Устойчивость базисной выработки при приближении лавы контролировали с помощью длинных измерительных анкеров, которые были установлены еще в то время, когда сопряжение лавы с вентиляционным штреком находилось в 170 м от базисной выработки. Результаты измерений на наблюдательной станции № 1 приведены на рис. 6.68.

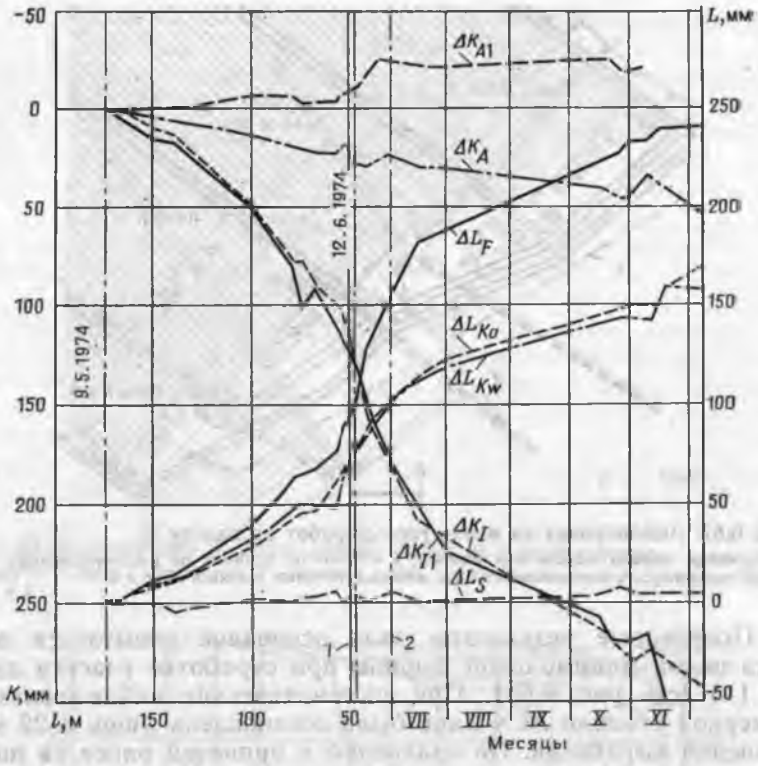


Рис. 6.68. График изменения конвергенции K и разрыхления приконтурного массива L на замерной станции № 1 в базисной выработке по пласту N: *1, 2* — соответственно фактическое и планировавшееся положение остановки лавы; ΔL_K — разрыхление приконтурного массива в восточном и западном боках выработки; остальные обозначения — см. рис. 6.66

Сразу же после установки измерительных анкеров были зарегистрированы значительные приращения всех измеряемых величин деформации приконтурного породного массива. Это свидетельствовало о том, что первые сдвижения породного массива в районе базисной выработки произошли еще до начала измерений и что выработка находилась уже в стадии деформаций разрушения.

Измерения на наблюдательной станции № 2 (см. рис. 6.67) показали, что здесь деформация приконтурного массива происходила еще в то время, когда лава находилась в 250 м от базисной выработки.

Конвергенция более глубокой зоны приконтурного массива (так называемая «внешняя» конвергенция) ΔK_A свидетельствует о сжатии угольного пласта, проявившемся в вертикальном смещении породного массива на 50 мм на высоту 6 м от кровли выработки (см. рис. 6.68). Вплоть до окончания измерений величина ΔK_A непрерывно увеличивалась по линейной зависимо-

сти (если принять во внимание то обстоятельство, что до окончания выемки угля данные измерений соотнесены с расстоянием до лавы, а после остановки лавы — со временем). Величины конвергенции ΔK_I и ΔK_{II} сразу же начали возрастать. После дальнейшего подвигания лавы на 70 м их значения свидетельствовали об ускорении сдвижений пород в непосредственном приконтурном массиве. Эта тенденция проявилась также и в размерах зон нарушенных пород приконтурного массива со стороны кровли и боков выработки — ΔL_F и ΔL_K. Различие в характере изменения величин ΔK_A и ΔK_I, т. е. в развитии «внешней» и «внутренней» конвергенции, однозначно свидетельствует о том, что приконтурный породный массив находится в стадии разрушения. Такое экспоненциальное изменение измеряемых величин было экстраполировано на первоначально запроектированную ширину целика 30 м.

6.8.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ЕЕ РАЗВИТИЯ (ПО К. ЭЙХХОЛЬЦУ) [67]

Анализ результатов измерений производили вначале уже рассмотренным выше методом с помощью графиков с линейными масштабами по осям абсцисс и ординат (см. рис. 6.66 и 6.68). Благодаря им можно было быстро получать представление о характере развития конвергенции и деформирования приконтурного массива в зависимости от расстояния между лавой и базисной выработкой и от времени с момента остановки очистного забоя. Из их рассмотрения видно, что деформации вслед за начальным замедленным развитием продолжают увеличиваться по экспоненциальной закономерности вплоть до некоторой точки перегиба, после чего начинается период их затухания в обратном порядке. Точка перегиба на кривой деформации появляется вскоре после остановки лавы.

Затем было проверено, не удовлетворяет ли характер изменения измеряемых величин экспоненциальной закономерности вида $y=ab^x$, которая путем логарифмирования может быть преобразована в простую линейную зависимость $\lg y=x\lg b+\lg a$.

Если обозначить $\eta=\lg y$, $\alpha=\lg b$, $\beta=\lg a$, то получим $\eta=\alpha x+\beta$.

Экспоненциальная функция становится, таким образом, линейной, если ее представить в системе координат x—η. При этом одна из осей графика остается линейной, а на другую наносится логарифмическая шкала.

Для проверки существования экспоненциальной зависимости между расстоянием до лавы (шириной целика) и деформацией базисной выработки отдельные измеренные величины наносят на график с полулогарифмическими координатами (рис. 6.69).

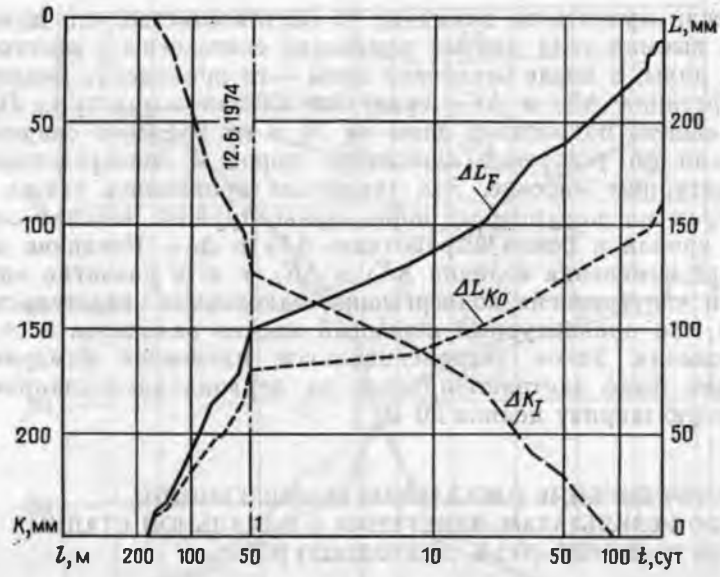


Рис. 6.69. График изменения конвергенции K и разрыхления приконтурного массива L в базисном штреке по пласту N в полулогарифмических координатах (см. рис. 6.68)

Величины конвергенции ΔK_l, деформации кровли (ΔL_F) и боков (ΔL_{Ko}) нанесены на нем на вертикальной оси в линейном масштабе, а расстояние между лавой и базисной выработкой в логарифмическом масштабе (слева направо). На этой же горизонтальной оси, но справа налево нанесена логарифмическая шкала времени с момента остановки лавы. При таком способе графического изображения результатов измерений получают с достаточной точностью прямые линии, характеризующие зависимость деформации как от расстояния между лавой и границей целика, так и от времени с момента остановки лавы. В течение 10 сут после остановки лавы измеренные величины несколько не соответствуют прямолинейной зависимости, поскольку в этой зоне накладывается влияние обоих действующих факторов.

Значения коэффициентов α и β, или соответственно a и b в уравнении $y=ab^x$, могут быть приближенно определены по графикам, построенным в полулогарифмических координатах, исходя из угла подъема прямой линии и точки пересечения этой прямой с горизонтальной осью. Путем регрессионного анализа измеренных данных, выполняемого с помощью персональной ЭВМ, эта экспоненциальная зависимость может быть исследована более точно. Функциональная взаимосвязь, например, между ΔK_l и расстоянием до лавы при коэффициенте корреляции 0,98 представляется весьма вероятной.

Благодаря тому, что в полулогарифмических координатах развитие конвергенции или деформации выражается прямыми линиями, а экспоненциальную функцию можно уточнять с каждым новым измерением, стало возможным значительно упростить производство измерений и прогноз ожидаемого характера развития деформации приконтурного массива базисной выработки. Для определения характера функции требуется небольшое число измерений после устройства наблюдательной станции. Начало сдвижений породного массива может быть установлено достаточно точно. Весьма простым способом можно теперь определять ожидаемые промежуточные значения конвергенции и деформации базисной выработки, в том числе и на момент остановки очистных работ, при условии непрерывного подвигания лавы (т. е. отсутствии длительных ее простоев).

Равным образом появилась возможность по нескольким измерениям, выполненным после остановки лавы, предсказывать продолжительность периода затухания процесса деформации массива и ожидаемую величину деформаций в течение этого периода.

6.8.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ В БАЗИСНОЙ ВЫРАБОТКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЙ КОНВЕРГЕНЦИИ В ВЫЕМОЧНОМ ШТРЕКЕ

В данном случае исходят из того, что базисная выработка при возрастании давления ведет себя в отношении конвергенции точно так же, как выемочный штрек, с обеих сторон которого располагается угольный массив. На рис. 6.70, *б* и *в* приведены кривые повышения давления и роста конвергенции на одной из наблюдательных станций в выемочном штреке. Развитие конвергенции начинается после того, как лава приблизится к этому месту выемочного штрека на определенное расстояние, а кривая давления берет начало с величины давления, устанавливающегося в штреке при его проведении. Показанный на схеме (см. рис. 6.70, *а*) контур краевой части по вышележащему пласту должен означать, что горное давление перед проведением штрека было выше нормального для данной глубины. По мере приближения лавы давление и конвергенция в пункте замеров в выемочном штреке увеличиваются при сохранении линейной зависимости конвергенции от прироста давления. Благодаря этому с помощью вспомогательной биссектрисы, показанной штриховой линией, можно построить характеристику выемочного штрека.

Рассмотрим построение такой характеристики на примере (см. рис. 6.70). Расчетом установлено, что при расстоянии между лавой и пунктом замеров в выемочном штреке давление составляет 45 МПа (точка А на рис. 6.70, *б*). При таком расстоянии от лавы измеренная конвергенция равняется 15% начальной высоты штрека (точка *В* на рис. 6.70, *б*). Вертикальная ли-

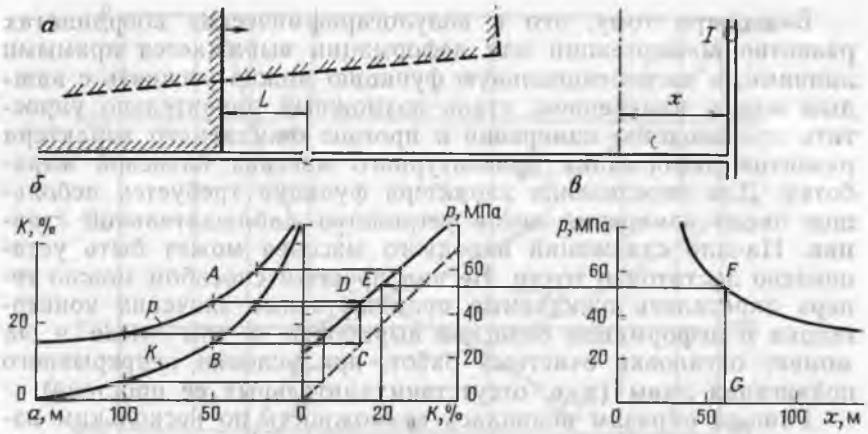


Рис. 6.70. Схема к определению ожидаемой конвергенции в базисной выработке (*а*) и графики построения общей для выемочного штрека и базисной выработки характеристики конвергенции K (*б*) и давления p (*в*); L — расстояние между лавой и пунктом измерений в выемочном штреке; x — расстояние между лавой и базисной выработкой

ния, проведенная через точку C (точку пересечения горизонтальной проекции точки B с биссектрисой), пересекая горизонтальную проекцию точки A, дает точку D — первую точку характеристики штрека. Все другие точки характеристики можно найти таким же способом. Поскольку горно-геологические и горнотехнические условия в выемочном штреке и базисной выработке одинаковы, характеристика, определенная для выемочного штрека, справедлива также для базисной выработки.

В большинстве исследованных случаев базисная выработка находится в других условиях в отношении воздействия краевых частей по соседним пластам. Поэтому величину горного давления в базисной выработке требуется определять в зависимости от расстояния до лавы. Пример подобного определения изменения расчетного давления в точке I базисной выработки при приближении к ней лавы показан на рис. 6.70, *в*. При расстоянии 60 м давление составляет 53 МПа (соответственно точки G и F на рис. 6.70, *в*). Проекция точки F на характеристику выемочного штрека дает точку E. Получаем, что конвергенция при давлении 53 МПа равна 20%. Если, например, по условиям эксплуатации конвергенция в базисной выработке не должна превышать 20%, то согласно характеристике (точка E на рис. 6.70, *б*) такая конвергенция соответствует давлению 53 МПа (точка G на рис. 6.70, *в*). Подобное давление установится в зоне базисной выработки при приближении к ней лавы примерно на 60 м (точка F на рис. 6.70, *в*). Следовательно, лаву необходимо остановить, когда ширина целика сократится до 60 м. Все измерения конвергенции выполняются в этом случае в порядке производственных наблюдений за состоянием подготовительных

выработок. Согласно практическому опыту конвергенция в базисных выработках продолжается и после остановки лавы. Рассматриваемый способ пока еще не дает возможности определять ожидаемую величину последующей конвергенции.

6.8.5. ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПРИ ВОЗРАСТАЮЩЕМ ДАВЛЕНИИ

Одна из базисных выработок, от которой была начата отработка выемочного участка, охранялась со стороны выработанного пространства лишь узкой ангидритовой полосой и находилась

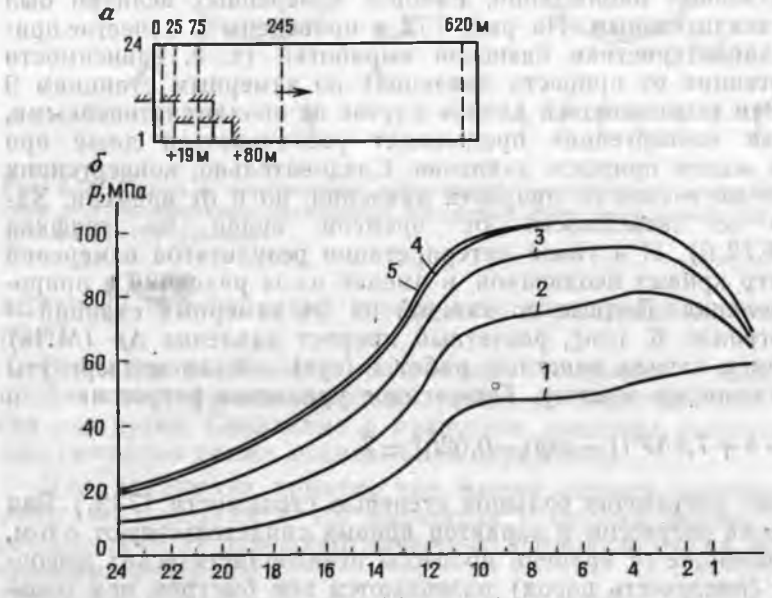


Рис. 6.71. Схема горных работ (*а*) и график распределения давления по длине базисной выработки (*б*) в зависимости от расстояния до лавы (на горизонтальной оси — номера замерных станций):

1—5 — при удалении лавы от базисной выработки соответственно на 0; 25; 75; 245 и 620 м

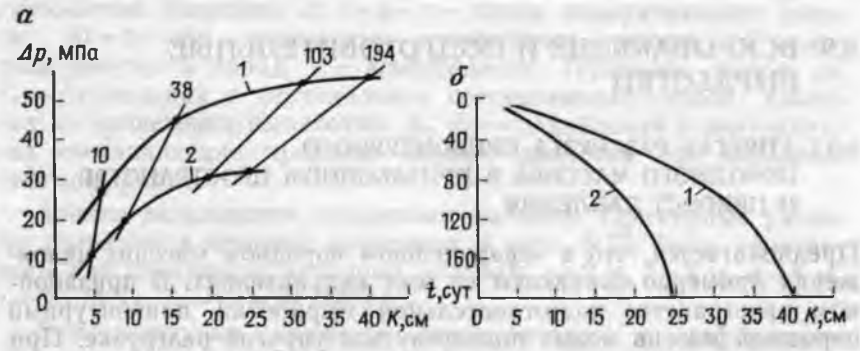


Рис. 6.72. Графики зависимости конвергенции K от прироста давления Δp (*а*) и времени t (*б*) на замерных станциях 9 (*1*) и 17 (*2*)

в зоне влияния двух краевых частей по вышележащим пластам (рис. 6.71, *а*). Расчеты показали, что давление на угольный целик в боку базисной выработки должно сильно возрастать до тех пор, пока лава не отойдет от нее на 245 м. После чего нарастание давления замедлится (рис. 6.71, *б*). Давление под краевыми частями по вышележащим пластам было, как и ожидалось, значительно выше, чем в надработанных зонах.

В базисной выработке были устроены 24 замерные станции. Конвергенцию определяли по смещению крепи в порядке производственных наблюдений. Разброс измеренных величин был очень значительным. На рис. 6.72, *а* приведены в качестве примера характеристики базисной выработки (т. е. зависимости конвергенции от прироста давления) по замерным станциям 9 и 17. Эти зависимости в данном случае не являются линейными, так как конвергенция продолжает увеличиваться даже при весьма малом приросте давления. Следовательно, конвергенция зависит не только от прироста давления, но и от времени. Характер ее зависимости от времени виден из графика (рис. 6.72, *б*). И в такой интерпретации результатов измерений характер кривых неодинаков, и именно из-за различий в приросте давления. Данные по каждой из 24 замерных станций — конвергенция K (см), расчетный прирост давления Δp (МПа) и время с начала очистных работ t (сут) — были подвергнуты регрессионному анализу. Полученное уравнение регрессии

$$K = 4 + 7{,}4\Delta P\,[1 - \exp(-0{,}02t)] \pm 7$$

обладает достаточно большой степенью сходимости (73%). Вид уравнения регрессии и характер кривых свидетельствуют о том, что зависящие от времени процессы псевдопластических деформаций (ползучесть пород) развиваются тем быстрее, чем больше прирост давления. Однако приведенная выше функция отнюдь не претендует на универсальность. Необходимы дальнейшие исследования.

6.9. ВСКРЫВАЮЩИЕ И ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ

6.9.1. УПРУГАЯ РАЗГРУЗКА ПРИКОНТУРНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА В ПРИЗАБОЙНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ПРИРОСТ ДАВЛЕНИЯ

Предполагается, что в ненарушенном породном массиве напряжения примерно одинаковы во всех направлениях. В призабойном пространстве подготовительной выработки приконтурный породный массив может подвергнуться упругой разгрузке. При этом наблюдаются конвергенция контура выработки и поперечное расширение его верхней части. О каких величинах кон-

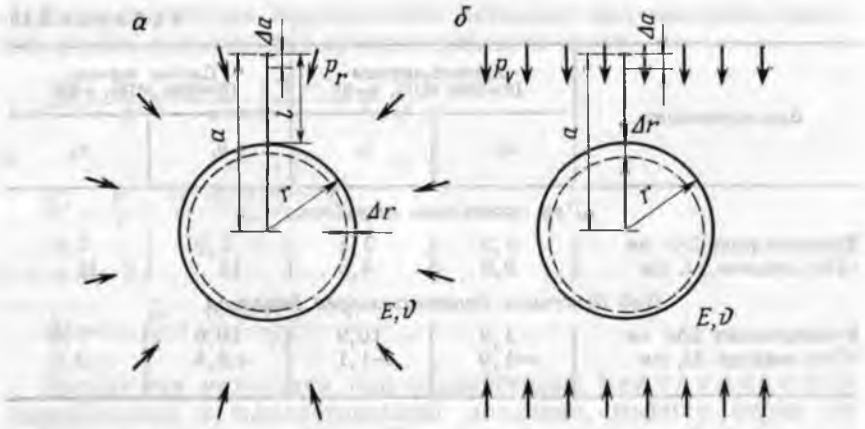


Рис. 6.73. Схемы к определению деформаций приконтурного породного массива под воздействием равномерно распределенного радиального (*а*) и вертикального (*б*) давления

вергенции и деформации поперечного расширения может идти речь?

Если горное давление возрастает, например, вследствие приближения фронта очистных работ, то увеличивается упругая разгрузка. Связанные с приростом давления дополнительные смещения также должны быть определены.

Для упрощения примем, что массив сложен однородными упругими породами и что выработку с круглой формой поперечного сечения оснащают радиально расположенными измерительными анкерами.

Примем следующие обозначения (рис. 6.73): r — радиус выработки (до хвостовиков анкеров); Δr — уменьшение радиуса выработки; a — расстояние между концами измерительных анкеров и центром контура поперечного сечения выработки; Δa — уменьшение величины a; $l=a-r$ — длина измерительного анкера; $\Delta l=\Delta r-\Delta a$ — удлинение измеренного анкера; E — модуль упругости пород; ν — коэффициент Пуассона пород; p_r, p_v — радиальная и вертикальная составляющие горного давления до проведения выработки; $\bar{p}_r$, $\bar{p}_v$ — радиальная и вертикальная составляющие прироста горного давления под влиянием очистных работ.

Анализ результатов примерных расчетов. Примерные расчеты, результаты которых приведены в табл. 6.15, были произведены для следующих исходных условий: $r=2$ м, $l=2$ м, $a=4$ м, $p_r=20$ МПа, $\bar{p}_r=\bar{p}_v=20$ МПа.

Действительные значения конвергенции и деформации должны находиться в пределах между значениями, рассчитанными для p_r и p_v. При этом величина упругой конвергенции при

Таблица 6.15

Вид деформации	Крепкие породы (E=8000 МПа, ν=6)		Слабые породы (E=2000 МПа, ν=2)	
	p_r	p_v	p_r	p_v
При проведении выработки				
Конвергенция $2\Delta r$, см	1,3	1,8	5,9	5,9
«Расслоение» Δl, мм	2,3	4,5	12	15
Под действием дополнительного давления				
Конвергенция $2\Delta r$, см	1,9	10,9	10,6	7,8
«Расслоение» Δl, мм	−1,0	−1,1	+8,4	+3,8

проведении достигает порядка нескольких сантиметров. При воздействии дополнительного давления она составляет 2—10 см на каждые 20 МПа прироста давления (упругая часть интенсивности конвергенции равна примерно 5 см на 10 МПа прироста давления). Упругое расширение пород, которое нередко неправильно называют «расслоением», под воздействием прироста давления в условиях крепких пород (при $\nu > 4$ под действием радиального и при $\nu > 3$ под действием вертикального давления) часто бывает отрицательным. Однако его абсолютная величина ничтожно мала (около 1 мм), чтобы ее можно было вычитать из результатов измерений (в целях оценки состояния поперечного расширения контура выработки при $\nu = 4$ или $\nu > 3$).

Уравнения для расчета. Выработка находится под действием равномерно распределенного радиального давления, имеющего перед ее проведением величину p_r. При проведении точка приконтурного массива, расположенная на расстоянии a от продольной оси выработки приближается к ней на величину

$$\Delta a = \frac{p_r}{E} a \left(\frac{\nu - 2}{\nu^2} + \frac{\nu + 1}{\nu} \frac{r^2}{a^2} \right),$$

а точка на контуре поперечного сечения выработки — на расстояние

$$\Delta r = \frac{p_r}{E} r \frac{\nu^2 - \nu + 4}{2\nu^2}.$$

При длине измерительных анкеров, равной радиусу выработки ($a = 2r$) величина «расслоения»

$$\Delta l = \frac{p_r}{E} r \frac{\nu^2 + \nu + 4}{2\nu^2}.$$

Если выработка впоследствии попадает под влияние очистных работ, вызывающее прирост давления p_r, то

$$\overline{\Delta a} = \frac{\overline{p_r}}{E} a \frac{\nu+1}{\nu}\left(\frac{\nu-2}{\nu}+\frac{r^2}{a^2}\right)$$

и

$$\overline{\Delta r} = \frac{\overline{p_r}}{E} r \frac{2(\nu+1)(\nu-1)}{\nu^2},$$

а для $a=2r$

$$\overline{\Delta l} = \frac{\overline{p_r}}{E} r \frac{(\nu+1)(\nu-4)}{2\nu^2}.$$

Выработка находится под воздействием вертикального (нормального к напластованию) давления, равного перед ее проведением проходкой p_v. При проведении выработки точка приконтурного массива, расположенная на расстоянии a от ее продольной оси, приближается к ней на

$$\Delta a = \frac{p_v}{E} a\left[\frac{2\nu^2-5\nu+4}{\nu}\frac{r^2}{a^2}+(\nu-2)\frac{r^2(a^2-r^2)}{2a^4}\right],$$

а точка, находящаяся на контуре поперечного сечения выработки, — на

$$\Delta r = \frac{p_v}{E} r \frac{\nu+1}{\nu(\nu-1)}\frac{2\nu^2-5\nu+4}{\nu}.$$

При $a=2r$ «расслоение»

$$\Delta l = \frac{\Delta r}{2} = \Delta a = \frac{p_v}{E} r \frac{\nu+1}{\nu(\nu-1)}\frac{2\nu^2-5\nu+4}{5\nu}.$$

При приросте давления

$$\overline{\Delta a} = \frac{\overline{p_v}}{E} a \frac{\nu+1}{\nu(\nu-1)}\left[\frac{2\nu^2-5\nu+4}{\nu}\frac{r^2}{a^2}+(\nu-2)\frac{(2a^2-r^2)(a^2+r^2)}{2a^4}\right],$$

$$\overline{\Delta r} = \frac{\overline{p_v}}{E} r \frac{(\nu+1)(3\nu-4)}{\nu^2},$$

а для анкера длиной r

$$\overline{\Delta l} = \frac{\overline{p_r}}{E} r \frac{\nu+1}{\nu^2}\frac{3\nu^2+2\nu-32}{16(\nu-1)}.$$

Все эти расчетные зависимости выведены в предположении, что в породном массиве происходят только упругие деформации при отсутствии явлений текучести (пластических деформаций) и хрупких изломов.

Если в приконтурном породном массиве происходят разрушения вследствие превышения предела прочности, то появляется дополнительная упругая разгрузка, поскольку расчлененные трещинами блоки породного массива полностью теряют

способность находиться в состоянии упругого объемного сжатия. Эта компонента конвергенции может намного превосходить величину чистой упругой разгрузки.

6.9.2. КОНВЕРГЕНЦИЯ И РАСЧЕТ ЕЕ ОЖИДАЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ (ПО Б. ШВАРЦУ) [145, 147]

Рассмотрим процесс сближения n пар реперных точек, заложенных непосредственно в забое выемочного штрека при его проведении с опережением лавы и контролируемых в течение всего периода выработки. Кривая конвергенции должна состоять из трех ветвей, первая из которых соответствует периоду проведения штрека (непрерывно или с перерывами); вторая — периоду воздействия лавы до перехода ею реперной пары; третья — периоду влияния лавы после ее прохода через место наблюдений.

Основная задача заключается в том, чтобы представить все три участка кривой уравнением вида

$$K = Af(t), \tag{6.3}$$

где $f(t)$ является известной, не зависящей от данной пары реперных точек, функцией.

Уравнение кривой, характеризующей изменение конвергенции в период проведения выработок, известно:

$$K = A \lg (1 + t/t_0). \tag{6.4}$$

Теперь рассмотрим конвергенцию через 14 сут и через 1 год соответственно (K_{14} и K_{360}), например, для n замерных точек в одном и том же штреке. Если уравнение (6.3) справедливо, то соотношение K_{360}/K_{14} должно быть независимым от выбранной пары замерных точек. Оно должно иметь ту же величину, что и соотношение величин $f(t)$ при $t = 360$ сут и $t = 14$ сут.

Следовательно, величина K_{14} является весьма удобным показателем. С его помощью можно определить любую кривую начальной конвергенции штрека, исключив тем самым необходимость дальнейшего учета фактора времени. Кроме того, он позволяет оперативно принимать требуемые меры еще во время проведения наблюдений. Если, например, на каком-либо участке штрека будет установлено, что показатель K_{14} имеет ненормально большую величину, то можно сделать вывод, что в этом месте в будущем конвергенция резко усилится, и даже предсказать ожидаемые повреждения крепи. В любом случае показатель K_{14} пары реперных точек является основой для прогнозирования конвергенции.

Эти зависимости справедливы также для полевых штреков и квершлагов.

6.9.3. РАССЛОЕНИЕ ПОРОД И КОНВЕРГЕНЦИЯ [109, 113, 139, 147]

Рассмотрим поведение двух замерных точек, заложенных в кровле выработки на разной высоте: одна из них заглублена в приконтурный породный массив достаточно далеко (на глубину z), вторая на глубину 40 см (как это обычно делают при измерении конвергенции). Из уравнения (6.1) для периода, следующего непосредственно за проведением выработки, следует, что закономерность изменения конвергенции обеих указанных замерных точек относительно одной и той же замерной точки в почве выработки одинакова. Иными словами, в каждый момент времени t отношение

$$\frac{K_z(t)}{K_{40}(t)} = \frac{A_z f(t)}{A_{40} f(t)} = \frac{A_z}{A_{40}}$$

не зависит от t (A_z и A_{40} — соответственно глубина заложения точек, равная z и 40 см).

Если наносить на графике по оси абсцисс ежедневно измеряемые величины K_z, а по оси ординат значения K_{40}, то полученная зависимость должна быть прямолинейной. Практический опыт подтверждает это положение. Начиная с некоторого определенного момента, совпадающего со взрыванием шпуровых зарядов следующего после заложения замерных точек проходческого цикла, указанная зависимость выражается прямой линией с углом подъема, определяемым величиной z. Величина расслоения пород, как можно было ожидать, уменьшается с увеличением глубины заложения контрольной точки. В то же время менее очевидным является другое положение, согласно которому расслоение происходит, по-видимому, не в виде последовательного расслоения вначале самой ближней пачки породных слоев, затем более дальней и т. д., а в виде одновременного постепенного расслоения породной толщи мощностью в несколько метров, причем такой процесс происходит непрерывно в течение всего периода проходческих работ и перерывов в проходке, подчиняясь логарифмической зависимости от времени (см. разд. 6.9.2).

Результаты других измерений свидетельствуют о том, что не только расслоение пород в кровле, но и все остальные сдвижения контура выработки и приконтурного породного массива пропорциональны друг другу. Как показали измерения в одном из квершлагов во время его подработки (рис. 6.74), точки, характеризующие относительное изменение измеряемых величин, располагаются у приведенной на графике кривой в узкой полосе разброса. Из этого следует, что деформация удлинения как в вертикальном, так и в поперечном направлении пропорциональна конвергенции (исключения могут иметь место в закрепленных анкерами выемочных штреках на сопряжении с лавой, а также при опускании уже расслоившейся кровли на опо-

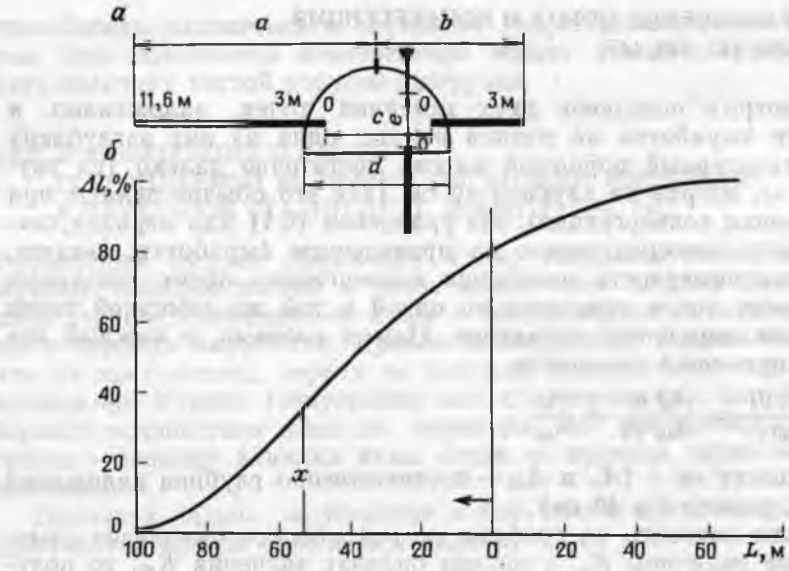


Рис. 6.74. Схема измерения деформации приконтурного породного массива квершлага (*а*) и график изменения измеренных величин в зависимости от расстояния до подрабатывающей лавы *L* (*б*):

Δl — относительная деформация (%) при абсолютных значениях Δa — 174 мм; Δb — 160 мм; Δc — 472 мм, Δd — 504 мм; Δe — 310 мм

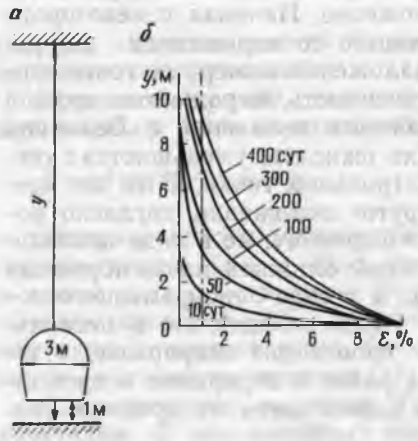


Рис. 6.75. Схема измерения расслоения кровли (*а*) в штреке, пройденном по мощному пласту, и график изменения относительного расслоения пород ε в зависимости от высоты замерной точки над кровлей штрека y при продолжительности наблюдений 100, 200, 300 и 400 сут (*б*)

ру в виде крепи или жесткой околоштрековой полосы). Указанная пропорциональность сохраняется также при воздействии дополнительного давления, вызванного очистными работами (см. рис. 6.74).

Вопрос о закономерностях затухания процесса конвергенции в породном массиве был исследован до настоящего времени только для условий штрека, пройденного по пласту мощностью 15 м. Французскому исследователю Ж. Ф. Раффу удалось найти приближенное математическое выражение для результатов измерений, согласно которому расслоение пород

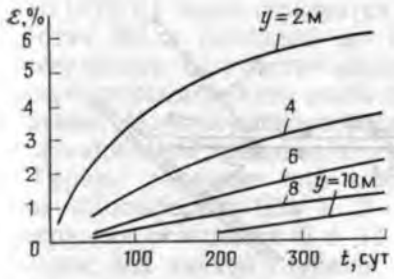


Рис. 6.76. График изменения относительного расслоения пород ε во времени t на высоте y над кровлей штрека

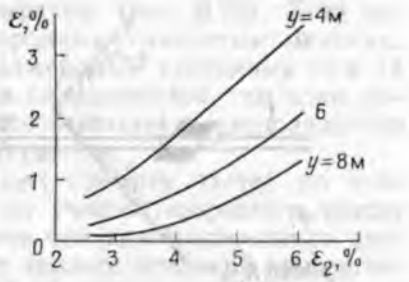


Рис. 6.77. График изменения относительного расслоения пород ε на высоте 4, 6 и 8 м над кровлей штрека в зависимости от расслоения ε_2 в 2 м над кровлей штрека

кровли (в сантиметрах на 1 м породной толщи) равно

$$\varepsilon = A \exp(-\lambda y / t^m),$$

где A — константа, m — показатель степени функции времени ($m=0{,}5$), λ — реологическая константа ($\lambda=0{,}5$) и y — высота замерной точки над кровлей штрека (рис. 6.75, *а*).

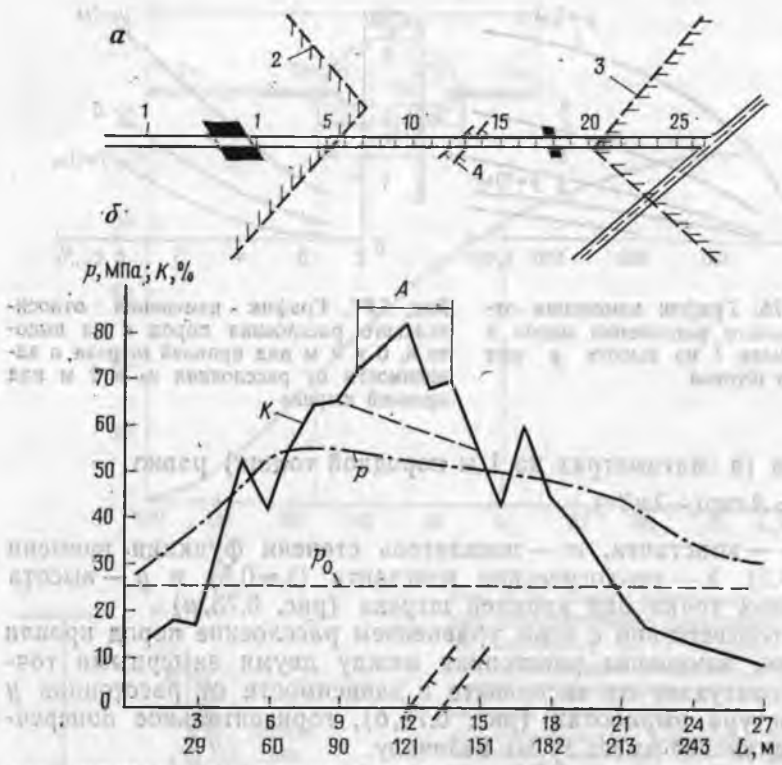
В соответствии с этим уравнением расслоение пород кровли (вернее, изменение расстояния между двумя замерными точками) затухает по экспоненте в зависимости от расстояния y до контура выработки (рис. 6.75, *б*), горизонтальное поперечное удлинение имеет ту же величину.

На графике (рис. 6.76) приведены кривые зависимости расслоения от времени, а на графике (рис. 6.77) — расслоения ε на высоте 4, 6 и 8 м от расслоения ε_2 на высоте 2 м над кровлей штрека. В этих случаях зависимости уже не линейные. Линейными они могут быть только при условии, что показатель функции времени равен нулю.

В однородной, сохраняющей постоянный объем среде закономерность затухания сдвижения в зависимости от расстояния описывается гиперболой. В шахтных условиях высота расслоения пород (существенный фактор условий поддержания подготовительных выработок) ограничивается половиной ширины выработки. Прочный породный слой, расположенный на малой высоте над кровлей выработки, может служить естественной границей зоны расслоения.

6.9.4. КОНВЕРГЕНЦИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КВЕРШЛАГА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ [137]

Квершлаг пройден площадью поперечного сечения в свету 18,5 м² на глубине 1060 м по породам, представленным глинистыми сланцами, и закреплен податливыми арочными рамами из спецпрофиля линейной плотностью 42 кг/м. Расстояние



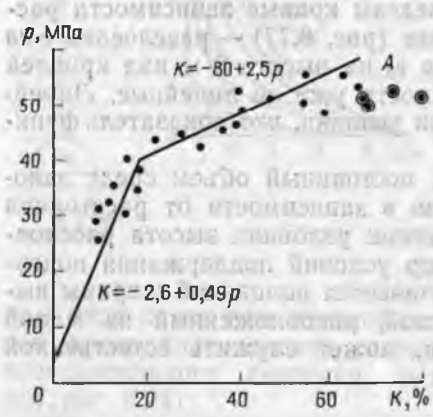


Рис. 6.78. Схема расположения квершлага (*а*) и график распределения по его длине *L* конвергенции *K* и расчетного давления *p* (*б*):

1 — квершлаг; *2, 3* — границы краевых частей соответственно по пластам «Цольферейн-1/2» и D — C, расположенным на 45 и 65 м выше разрабатываемого пласта; *4* — зона нарушения с амплитудой сброса 50 м; *A* — область влияния зоны нарушения; p_0 — нормальное для данной глубины горное давление; цифры у штрека и оси абсцисс — номера замерных станций

Рис. 6.79. Характеристика квершлага:

A — зона тектонического нарушения

между арками равнялось 0,6 м. Применялось заполнение закрепного пространства твердеющей смесью на основе ангидрита. Квершлаг проходил в районе краевых частей по пластам D—C, L, B и «Цольферейн-1/2».

Распределение расчетного давления и конвергенции по длине квершлага (по данным наблюдений, проведенных

29.10.1979 г.) характеризуется графиком (рис. 6.78). Хотя выработка была пройдена по однородным глинистым сланцам, конвергенцию на участке между замерными станциями 10 и 14 следует рассматривать особо из-за находившейся там зоны нарушения. Максимум конвергенции соответствует расположению дислокационной трещины этого нарушения.

Горное давление под контурами краевых частей по пластам «Цольферейн-1/2» и D—C на участке квершлага между замерными станциями 6 и 14 более чем вдвое превышало нормальное для данной глубины. Оно явилось причиной конвергенции, доходившей до 65% начальной высоты квершлага, а в зоне нарушения, превышавшей указанную величину, такая конвергенция необычно высока для квершлагов или полевых штреков и объясняется влиянием краевых частей по выше- и нижележащим пластам.

Как видно из графика (рис. 6.79), характеристика этого квершлага имеет перегиб в точке, соответствующей величине горного давления 38 МПа. Таким образом, интенсивность конвергенции в данном случае при давлении свыше 38 МПа существенно увеличивается. Вполне возможно, что это вызвано тем, что предел прочности на сжатие глинистых сланцев, по которым пройден квершлаг, имеет примерно такую же величину.

6.9.5. КОНВЕРГЕНЦИЯ И СБЛИЖЕНИЕ БОКОВ В ПОДРАБОТАННЫХ ВЫРАБОТКАХ, ПРОЙДЕННЫХ ВКРЕСТ ПРОСТИРАНИЯ

В качестве примера рассмотрим распределение конвергенции вдоль квершлага и полевого уклона (рис. 6.80). Конечная конвергенция K (рис. 6.81, *а* и 6.82, *а*) установилась примерно через год после их проведения. В течение последних 100 сут наблюдений увеличение конвергенции было незначительным. Величины горного давления p (рис. 6.81, *б* и 6.82, *б*) были определены расчетным методом по Г. Эверлингу. Предел прочности пород на одноосное сжатие σ_D (рис. 6.81, *в* и 6.82, *в*) устанавливался ориентировочно по условным показателям прочности пород почвы *GL*, указываемым обычно на маркшейдерских планах.

Сопоставление графиков показывает, что пиковые значения конвергенции K связаны не только с наибольшими величинами горного давления p, но и с наименьшими абсолютными показателями прочности пород σ_D при относительно невысоком горном давлении. Это положение подтверждается уравнением регрессии, имеющим сходимость 84%:

$$K = -44 + 13p/\sqrt{\sigma_D} \pm 11\%.$$

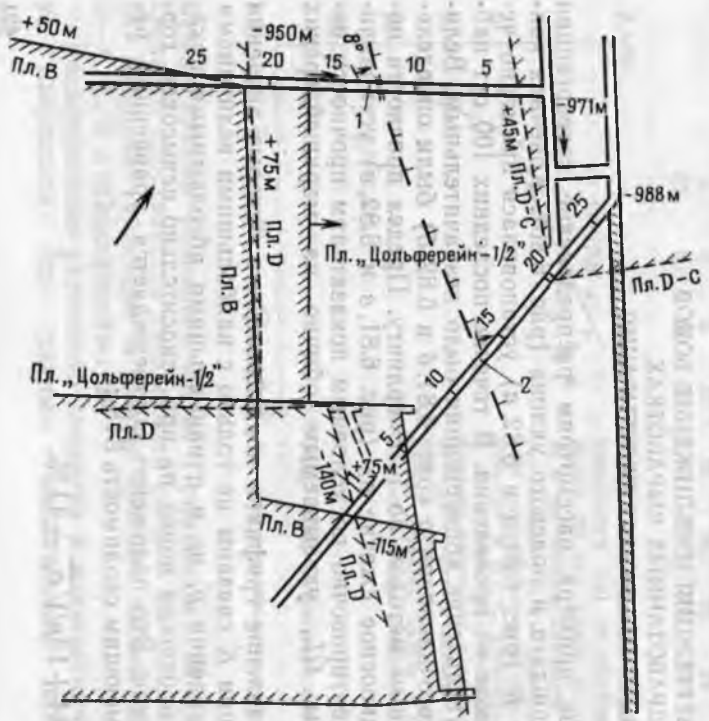


Рис. 6.80. Выкопировка из плана горных работ на участке наблюдений в квершлаге *1* и полевом уклоне *2*:
цифры у выработок — номера замерных станций

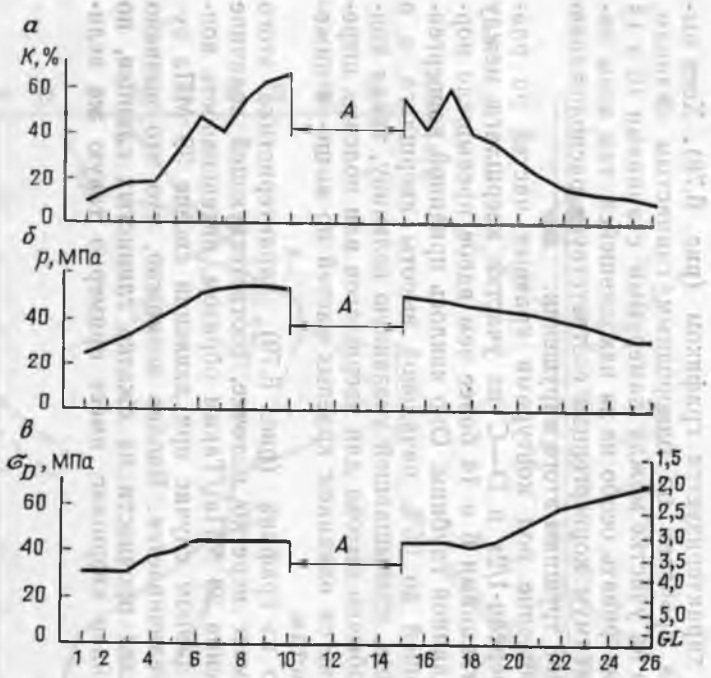


Рис. 6.81. Графики распределения конвергенции K (*а*), расчетного давления p (*б*) и предела прочности пород на одноосное сжатие σ_D (*в*) (или условного показателя прочности пород GL) по длине квершлага:
A — зона тектонического нарушения; цифры на оси абсцисс — номера замерных станций

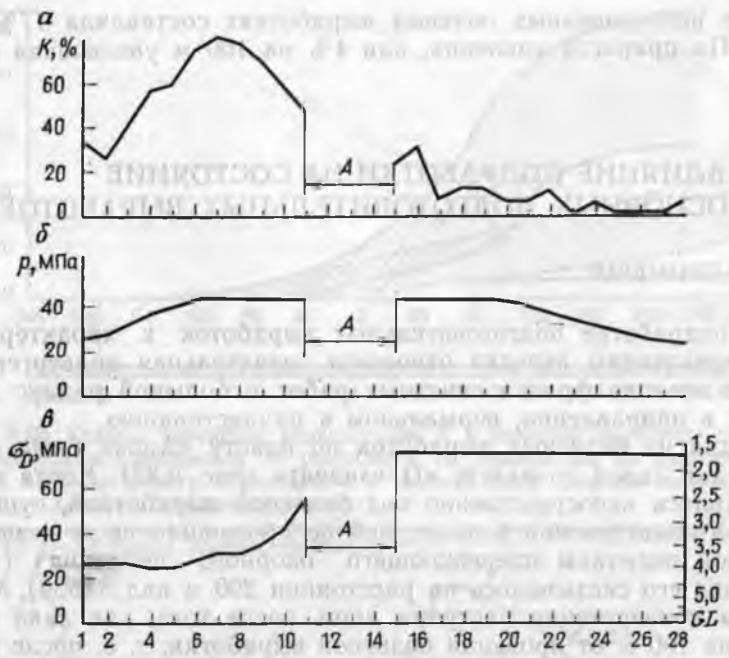


Рис. 6.82. Графики распределения конвергенции K (*а*), расчетного давления p (*б*) и предела прочности пород на одноосное сжатие σ_D (*в*) (или условного показателя прочности пород GL) по длине полевого уклона:
A — зона тектонического нарушения; цифры на оси абсцисс — номера замерных станций

Сближение боковых стенок SW, как известно из наблюдений в выемочных штреках, зависит от конвергенции

$$SW = -1 + 0{,}35K \pm 0{,}4\%.$$

Степень надежности этого уравнения 80%.

Для исследовавшихся выработок справедливы следующие положения:

геомеханическая нагрузка на выработки, пройденные вкрест простирания, определяется величиной горного давления в совокупности с прочностью пород;

в качестве параметра прочности пород можно использовать показатель, обратный условному показателю прочности пород почвы GL и соответствующий ему предел прочности на одноосное сжатие в виде σ_D или $\sqrt{\sigma_D}$;

в обоих исследованных случаях величина $\sqrt{\sigma_D}$ обеспечивала надежную корреляцию;

конвергенция обратно пропорциональна прочности пород;

при породах средней прочности ($GL = 2{,}5$, $\sigma_D = 57$ МПа), характерных для выемочных штреков, интенсивность конверген-

ции в исследованных полевых выработках составляла 17% на 10 МПа прироста давления, или 4% на 100 м увеличения глубины.

6.10. ВЛИЯНИЕ ПОДРАБОТКИ НА СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

6.10.1. ПРИМЕРЫ

При подработке подготовительных выработок к характерным ее проявлениям нередко относятся значительная конвергенция после прохода фронта очистных работ и большой радиус действия в направлении, нормальном к напластованию.

Одна из базисных выработок по пласту «Анна» была подработана лавой по пласту «Президент» (рис. 6.83). Когда лава находилась непосредственно под базисной выработкой, существенной конвергенции в последней не произошло из-за незначительной величины опережающего опорного давления (хотя влияние его сказывалось на расстоянии 290 м над лавой). Максимум конвергенции наступил лишь после того, как лава отошла на 100 м от проекции базисной выработки, т. е. после разгрузки и опускания породного массива в районе базисной выработки. Границы подвергшегося конвергенции участка базисной выработки находились примерно над контурами выработанного пространства по пласту «Президент», максимум конвергенции приходился на середину лавы.

Один из полевых штреков был подработан лавой по пласту Н, находившейся под ним на расстоянии 52 м (рис. 6.84). Вплоть до 15.12.1973 г. в полевом штреке не наблюдалось увеличения конвергенции. После отхода лавы на 70 м от разрезной печи (7.1.1974 г.) конвергенция в полевом штреке заметно усилилась. Максимум конвергенции располагался в полевом штреке к началу очистных работ примерно над лавой (по нормали к напластованию). По мере подвигания лавы конвергенция в полевом штреке непрерывно возрастала, причем максимум ее приходился на середину отработанного по пласту Н участка.

Развитие конвергенции в квершлаге, подработанном лавой длиной 200 м по пласту R, характеризуется графиком (рис. 6.85). Вентиляционный штрек находился на уровне квершлага, а конвейерный — в 25 м под ним. На участке квершлага, закрепленном кольцевой и прямоугольной рамной крепью и находившемся на уровне вентиляционного штрека, конвергенция была больше, чем на участке, закрепленном кольцевой крепью и располагавшемся в 15—25 м над лавой. Начальная конвергенция появилась еще до подработки квершлага лавой как результат воздействия опережающего лаву опорного давле-

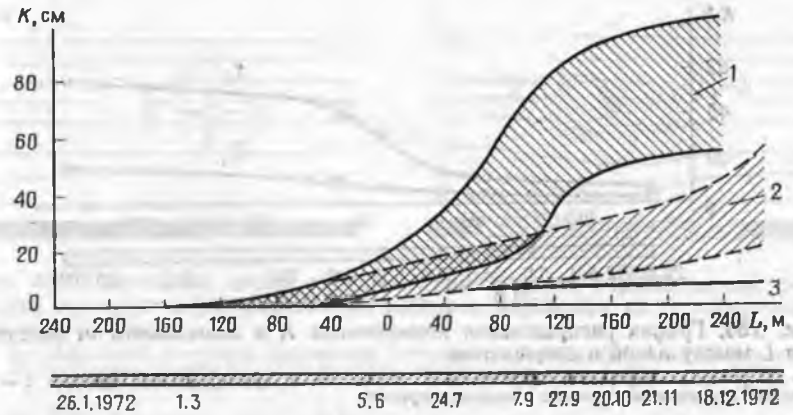


Рис. 6.83. График изменения конвергенции K в базисной выработке по пласту «Анна» в зависимости от расстояния по горизонтали до подрабатывающей лавы по пласту «Президент»; в нижней части рисунка показано положение лавы на определенную дату:

1 — на участке замерных станций № 7—11; *2* — на участках замерных станций № 3—6 и 12—15; *3* — на участке замерных станций № 1—2

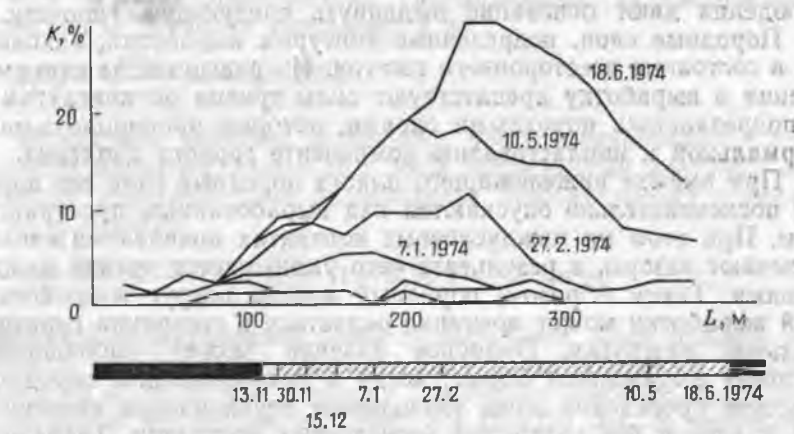


Рис. 6.84. График распределения конвергенции K по длине полевого штрека L, подрабатывавшегося лавой по пласту Н

ния. Остальная часть конвергенции приходилась уже на тот период, когда квершлаг сместился вместе с подработанным породным массивом.

6.10.2. ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА КОНВЕРГЕНЦИЮ

В базисной выработке по пласту «Анна» при подработке ее лавой по расположенному ниже на 290 м пласту «Президент» наблюдались интенсивные деформации, развивавшиеся в тече-

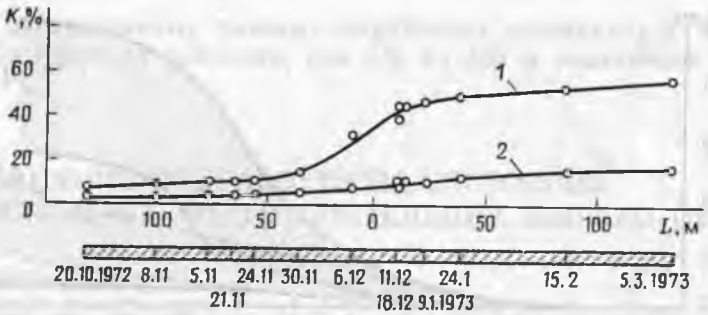


Рис. 6.85. График распределения конвергенции K в зависимости от расстояния L между лавой и квершлагом:

1 — на участке квершлага, закрепленном кольцевой и прямоугольной крепью; 2 — на участке, закрепленном только кольцевой крепью

ние длительного времени. Расчеты показали, что из-за большого расстояния между пластами прирост давления перед подработкой составлял всего лишь 2%. Конвергенция стала резко возрастать лишь после подработки, когда базисная выработка находилась уже в зоне пониженного давления. Такого рода наблюдения дают основание выдвинуть следующую гипотезу.

Породные слои, подрезанные контуром выработки, находятся в состоянии всестороннего сжатия. Их разгрузке за счет смещения в выработку препятствуют силы трения по контактам с неподрезанными породными слоями, которые пропорциональны нормальной к напластованию компоненте горного давления.

При выемке нижележащего пласта породные слои его кровли последовательно опускаются над выработанным пространством. При этом на междуслоевых контактах появляются и вновь исчезают зазоры, в результате чего уменьшается трение между слоями. Таким образом, породный массив вокруг подработанной выработки может временно оказаться в состоянии горизонтальной разгрузки. Подобное явление может наблюдаться в менее выраженной форме, когда в подработанном породном массиве происходит лишь уменьшение вертикальной компоненты давления без раскрытия межслоевых контактов. Такая разгрузка возможна не только при подработке, но и при надработке.

Вследствие сдвижений слои породного массива теряют свою первоначальную взаимосвязь из-за исчезновения сцепления на шероховатых контактах между слоями. После повторной нагрузки в слоистом массиве не восстанавливается первоначальное сопротивление сдвигу по плоскостям наслоений, что может выражаться в повышенной чувствительности массива к увеличению давления, т. е. в повышении интенсивности конвергенции.

Для примера выполним приближенный расчет сближения боков выработки, вызванного упругой разгрузкой породных слоев вследствие снижения нормальной к напластованию ком-

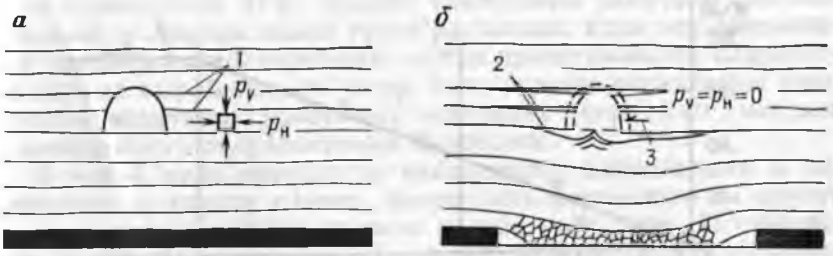


Рис. 6.86. Расчетные схемы к определению влияния горизонтальной разгрузки породных слоев, подрезанных контуром выработки, на ее деформацию при подработке:

а — до подработки; *б* — после подработки; *1* — усилия трения и сцепления между слоями; *2* — расслоение пород; *3* — выдавливание разгруженных пород в штрек

поненты давления (рис. 6.86), при следующих условиях: $p_v = p_H = 20$ МПа, модуль упругости пород $E = 5000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}15$.

При вертикальной разгрузке массива, т. е. при снижении нормального к напластованию давления на $\Delta p_v = -p_v = -20$ МПа, горизонтальная (параллельная напластованию) компонента давления уменьшается на

$$\Delta p_H = \frac{\nu \Delta p_v}{1-\nu} = -3{,}5 \text{ МПа}.$$

Вследствие действия оставшейся части горизонтальной компоненты давления $\Delta p_{HR} = 16{,}5$ МПа подрезанный контуром выработки породный слой подвергается относительному поперечному удлинению

$$\varepsilon = \frac{p_{HR}}{E}(1-\nu^2) = \frac{16{,}5}{5000}(1-0{,}15^2) = 3{,}2 \text{ мм/м},$$

смещаясь в направлении полости выработки. Если принять, что ширина разгруженной приконтурной зоны породного массива равна 40 м, то общая величина сближения боковых стенок подработанной выработки составит $3{,}2 \cdot 40 = 130$ мм. В результате попутного смещения слоев кровли и почвы может произойти смятие этих не подрезанных контуром выработки слоев со значительной по величине конвергенцией.

Изложенная гипотеза находит свое подтверждение в проявлениях влияния глубины и обусловленного очистными работами увеличения давления на деформации горных выработок, которые также могут быть объяснены действием горизонтальных напряжений.

6.10.3. КОНВЕРГЕНЦИЯ ПРИ ПОДРАБОТКЕ

Штреки, пройденные по пласту «Анна» после его подработки нижележащим пластом «Президент» (при мощности междупластья около 320 м), по характеру деформирования не отли-

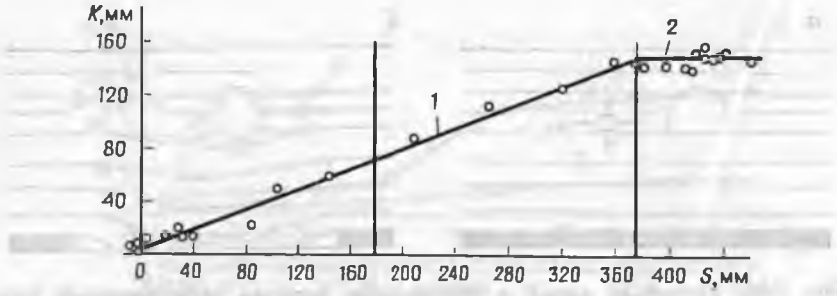


Рис. 6.87. График зависимости конвергенции K от опускания породного массива S при подработке:
1, 2 — соответственно во время и после окончания отработки лавы

чались от штреков, пройденных в ненарушенном массиве. Доминирующим фактором, влияющим на деформирование штреков по пласту «Анна», которые были подработаны тем же пластом «Президент» уже после проведения выработок, являлось оседание породного массива. Процесс оседания начинался примерно в 100 м перед линией очистного забоя.

Регрессионный анализ замеров опускания породного массива и конвергенции наклонной выработки по пласту «Анна» в результате подработки их лавой по пласту «Президент» показал, что между ними существует линейная связь (рис. 6.87) со сходимостью 98%. При этом линейность взаимосвязи сохранялась как до, так и после прохода лавы под пунктом наблюдения. После остановки лавы последовало незначительное опускание массива, не вызвавшее какой-либо конвергенции.

Найденная взаимозависимость может быть частично объяснена в соответствии с положениями, изложенными в разд. 6.10.2. Предложенная там гипотеза подтверждается тем, что вначале происходит сближение боков выработки, а затем — конвергенция в ней. Тем не менее линейную взаимосвязь между конвергенцией и опусканием пока еще невозможно чем-то объяснить.

По начальным результатам измерений опускания массива и конвергенции выработки определяют угол подъема кривой графика «опускание — конвергенция». Конечная точка этой кривой и величина конечной конвергенции пока еще не могут быть заданы, поскольку величину конечного ожидаемого опускания массива требуется определить расчетом. Расчет конечной величины опускания породного массива на горизонте рассматриваемой наклонной пластовой выработки был произведен с помощью машинной программы RTM300 концерна «Рурколе». Расчетная и фактически измеренная величины конечного опускания массива существенно отличались друг от друга, как и следовало ожидать, в соответствии с предыдущим практическим опытом и литературными данными.

Тем не менее между расчетными и фактическими величинами конечного оседания была обнаружена линейная взаимосвязь

с достоверностью 91%, причем измеренные величины соответствовали в среднем одной трети расчетных. Если это соотношение известно для конкретного случая проектирования подработки горных выработок, то могут быть заранее определены ожидаемые величины конечного опускания породного массива и конвергенции подработанных выработок.

В какой мере результаты наблюдений, выполненных в выработках по пласту «Анна», могут быть перенесены на другие участки пород карбона, должно показать будущее. Исследования, проведенные во всех выемочных штреках шахты «Россенрай» в порядке производственных наблюдений, не дают повода считать, что какие-либо из основных факторов, определяющих деформирование выработок, действуют здесь по-другому, чем в остальных шахтах Рурского бассейна. Поэтому существует большая вероятность того, что найденные на шахте «Россенрай» закономерности справедливы и для других шахт.

Описанные выше исследования изложены в работе [85]. Определенные в ней закономерности побудили попытаться рассчитать ожидаемое опускание породного массива на основе математической модели горного давления Г. Эверлинга. Для одной из пластовых выработок, подработанной при расстоянии между пластами 90 м, расчетные значения были пересчитаны в опускание породного массива. Между расчетным опусканием и фактической конвергенцией и в этом случае была обнаружена линейная взаимозависимость. Таким образом, модель для расчета горного давления может быть использована (в ходе одного и того же расчета) и для определения величины опускания породного массива.

6.10.4. КОНВЕРГЕНЦИЯ И ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПОДРАБОТКЕ — СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КРЕПИ

После опускания подработанного породного массива в большинстве случаев его напряженное состояние восстанавливается, однако оно не достигает первоначальной величины. Разность между первоначальным и конечным давлением в массиве после его подработки соответствует величине разгрузки, которая может быть рассчитана с помощью математической модели горного давления. Величина разгрузки находится в линейной зависимости от рассчитанного на модели значения опускания. Поэтому конвергенцию можно графически сопоставлять и с величиной разгрузки.

Такое сопоставление имеет свои преимущества. Перед подработкой и опусканием породного массива давление повышается в том случае, если расстояние до подрабатываемого пласта не слишком велико. С подобным повышением горного давления связано появление конвергенции, которая пропорциональна приросту давления. Конвергенцию, обусловленную повышением и понижением давления, можно наносить на один

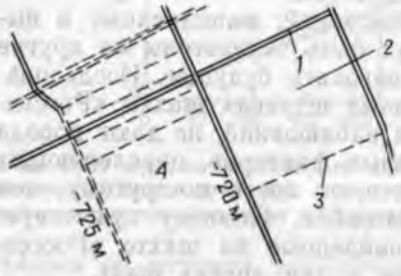


Рис. 6.88. Схема подработки штрека по пласту «Анна» лавой по пласту «Герман-Густав»:

1 — штрек по пласту «Анна»; *2*, *4* — соответственно выемочные участки № 378 и 377 по пласту «Гермав-Густав»; *3* — краевая часть по пласту «Гермав-Густав»

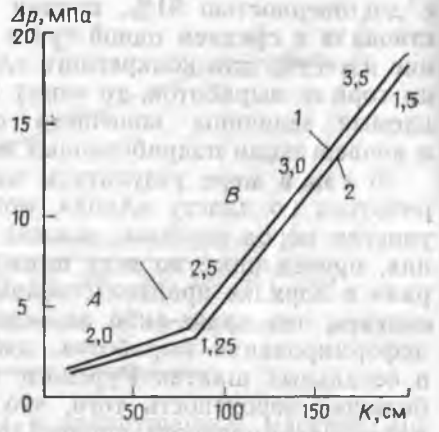


Рис. 6.89. Характеристики участков штрека по пласту «Анна», закрепленных жесткой (*1*) и податливой (*2*) крепью:

A, *B* — соответственно в зоне нагружения и разгрузки; цифры — показатели деформирования элементов крепи

график и сопоставлять. При этом абсолютные значения изменения давления можно наносить на ось ординат. Величина разгрузки, следовательно, добавляется в виде положительной величины нагрузки. По полученным таким образом характеристикам чрезвычайно удобно сравнивать эффективность применения крепей различных типов.

Групповой штрек по пласту «Анна» находился на глубине 690 м (рис. 6.88). Он был пройден буровзрывным способом. Один его участок был закреплен трехзвенной жесткой арочной крепью GI130 при площади поперечного сечения 20,2 м² и расстоянии между арками 0,5—0,75 м, другой, расположенный в зоне подработки, — четырехзвенной податливой арочной крепью GI20 при расстоянии между арками 0,75 м. Линейная плотность спецпрофиля крепи 32 кг/м. Закрепное пространство заполняли твердеющими смесями, подававшимися пневматическим способом. Ширина закрепного пространства не превышала 0,20 м.

Характеристики участков штрека с различной крепью (рис. 6.89) свидетельствуют о следующем. Оба участка штрека при приближении к его проекции лавы по нижележащему пласту при одинаковом приросте давления подверглись почти одинаковой конвергенции. В этой начальной стадии подработки приросту давления на одну единицу соответствовала относительно большая конвергенция. С момента пересечения лавой проекции штрека сильное снижение давления сопровождалось дальнейшей конвергенцией. На единицу изменения давления

приходилась значительно меньшая конвергенция (опять-таки одинаковая на обоих участках штрека). Из этого следует, что оба вида арочной крепи при одном и том же изменении давления оказывают одинаковое влияние на конвергенцию.

Тем не менее оба вида крепи по-разному реагировали на одну и ту же конвергенцию. Еще при конвергенции менее 50 см на жестких арочных рамах можно было наблюдать первые признаки деформации (показатель деформирования равен 2). Эти деформации развивались быстрее, чем увеличивалась конвергенция, так что при конвергенции около 1,70 м средний показатель деформирования элементов крепи составлял уже около 3,5. На участке штрека с податливой арочной крепью при такой же конвергенции средний показатель деформирования достигал лишь 1,5. С точки зрения эксплуатации штрека это означало, что бо́льшую часть участка штрека с жесткой арочной крепью пришлось перекрепить, в то время как податливые арочные крепи с заполненным твердеющими смесями закрепным пространством восприняли такие же нагрузки без повреждений. После подрывки почвы была восстановлена требуемая для нормальной эксплуатации штрека площадь поперечного сечения.



7. КРЕПЛЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК*

7.1. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

7.1.1. ЗНАЧЕНИЕ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ [16]

На шахтах Рурского бассейна на каждую 1000 т добытого товарного угля проводят 4,6 м выемочных штреков и других пластовых выработок. Затраты на проведение 1 м штрека по пласту составляли в 1980 г. около 4100 марок. Таким образом, в себестоимости 1 т товарного угля 16 марок приходится на проведение штреков. Если же к ним прибавить расходы на транспортирование угля по выемочным штрекам и их поддержание, то указанная цифра увеличится до 28 марок. Все это — прямые расходы. Но имеются также и косвенные затраты, связанные с эксплуатацией выемочных штреков и вызванные ограничением нагрузки на лаву из-за недостаточной скорости проведения выработки или же потерями добычи в результате задержки с доставкой к очистным забоям крупногабаритных узлов для ремонта забойного оборудования по выемочным штрекам с уменьшенной площадью поперечного сечения.

Конвергенция в выемочных штреках во многих случаях очень велика (табл. 7.1). С ростом глубины она станет еще больше и в еще большей мере будет препятствовать нормальной эксплуатации очистных забоев.

Эксплуатационные требования к выемочным штрекам определяются в основном условиями транспортирования по ним угля, доставки к лавам материалов и оборудования, подачи энергии, передвижения людей, а также условиями проветривания очистных забоев. Выемочные штреки должны беспрепятственно функционировать при весьма высоких нагрузках на лаву, не создавая узких мест в производственном процессе добычи угля. Во всех случаях проектирования очистных работ необходимо придерживаться основного правила, согласно которому ограничение нагрузки на лаву допустимо лишь по факторам, возникающим непосредственно в очистном забое.

В табл. 7.2 приведены данные о трудоемкости подземных работ в целом в очистных забоях и в выемочных штреках.

Производительность труда рабочего на подземных работах за период с 1963—1980 гг. повысилась в 1,5 раза при соответ-

---

* Авторы раздела В. Гётце и Ю. Краэ.

Таблица 7.1

Мощность пласта, м	Удельный вес выемочных штреков (%) с уменьшенной площадью поперечного сечения по сравнению с начальной	
	до 10%	свыше 40%
1	33	1
2	16	11
3	6	25

Примечание. По данным Г. Хана и О. Якоби.

ственном снижении трудоемкости с 388,3 до 253,6 чел-смены на 1000 т товарного угля.

Если удельный вес трудоемкости работ в очистных забоях в среднем по шахтам Рурского бассейна снизился с 35,9 до 20,7% общей трудоемкости на подземных работах, то доля трудоемкости работ в выемочных штреках повысилась за тот же период на 7%. При этом заметно возросли затраты труда по проведению штреков и транспортированию угля по ним. Низкая производительность труда при проведении выработки обусловливает замедленное снижение трудоемкости подземных работ. Она вызвана в основном отсутствием средств механизации возведения крепи. В области поддержания выемочных штреков ранее был достигнут существенный успех, явившийся результатом применения усовершенствованных конструкций крепи. Повышение трудоемкости работ по поддержанию штреков в последние годы обусловлено, по-видимому, в какой-то мере увеличением площади поперечного сечения выработок.

Таблица 7.2

Вид работ	1963 г.		1971 г.		1980 г.	
	Трудоемкость работ					
	чел-смен на 1000 т	%	чел-смен на 1000 т	%	чел-смен на 1000 т	%
Подземные работы	388,3	100	256,9	100	253,6	100
Очистные работы	139,4	35,9	74,9	29,2	52,5	20,7
Работы в выемочных штреках	72,7	18,7	52,5	20,4	65,4	25,8
В том числе						
проведение	29,9	7,7	22	8,5	25,5	10,1
транспорт	32,5	8,4	23,1	9	31,2	12,3
поддержание	10,3	2,6	7,4	2,9	8,7	3,4

7.1.2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ — СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И МЕХАНИЗАЦИЯ

При совершенствовании штрековой крепи в ближайший период основные усилия должны быть направлены на достижение следующих целей, имеющих важное значение как при проведении выработки, так и при поддержании на сопряжениях с лавами:

повышение безопасности работ за счет устранения частых случаев вывалов породы и угля;

сокращение затрат времени на возведение штрековой крепи для повышения скорости проведения выработок и роста производительности труда проходчика;

совершенствование штрековой крепи, чтобы при возможно меньших расходах материалов обеспечить быстрое нарастание сопротивления и высокую несущую способность крепи при сохранении достаточной податливости.

Указанные цели могут быть достигнуты только при комплексном подходе.

Проведение штреков. Задачи совершенствования штрековой крепи:

улучшение способов соединения элементов крепи и заполнения закрепного пространства. За счет этого должны быть созданы крепи с быстрым нарастанием сопротивления и высокой несущей способностью, не требующие ремонта и обладающие достаточной податливостью (с тем чтобы их можно было извлекать и повторно использовать даже при высокой деформированности);

совершенствование элементов межрамных связей и ограждений для сокращения затрат времени на возведение крепи и повышения ее несущей способности. Межрамные ограждения (затяжка) должны быть устойчивыми к коррозии и пригодными для применения совместно с мелкозернистыми смесями, используемыми для заполнения закрепного пространства. Должна быть обеспечена возможность соединения в стык отдельных элементов затяжки, что позволит навешивать их консольно. Благодаря этому можно будет избежать выскальзывания затяжки из-под рам крепи и высыпания материала, подаваемого для заполнения закрепного пространства;

создание не требующей технического ухода и устанавливаемой механизированным способом податливой анкерной крепи, способной противостоять значительным деформациям приконтурного породного массива;

разработка податливой крепи из бетонных сегментов для выработок с большой площадью поперечного сечения;

создание высокопроизводительных технических средств для возведения набрызгбетонной крепи, способной быстро воспринимать нагрузку;

изыскание дешевых материалов для заполнения закрепного пространства и набрызгбетонирования, обладающих также

и малым сроком схватывания и затвердевания, а также повышение прочности набрызгбетона на изгиб за счет добавления в него волокнистых компонентов.

Задачи механизации работ по креплению:

создание установок для возведения рамной металлической крепи обычных видов, пригодных для размещения на проходческих комбайнах со стреловидным исполнительным органом, погрузочных и бурильных машинах;

разработка передвижного оборудования с установками для возведения крепи, обеспечивающего монтаж арочных рам вместе с межрамными связями и ограждениями в уже закрепленной части штрека и их транспортировку к забою. Оно должно обладать достаточно высокой грузоподъемностью и быть приспособленным для выполнения других необходимых работ;

создание достаточно компактных установок для механизированного заполнения закрепного пространства, работающих без пылеобразования и обеспечивающих подачу 15 м³/ч зернистых и пылевидных твердеющих смесей за рамы крепи при буровзрывном способе проведения выработок;

разработка машин непрерывного действия для набрызгбетонирования и заполнения закрепного пространства при подаче 3—5 м³/ч зернистых или пылевидных смесей в забоях, проводимых комбайнами;

разработка высокопроизводительных устройств, дозирующих и подающих компоненты смесей в машины для набрызгбетонирования и заполнения закрепного пространства;

создание бункеро-сортировочных установок, с помощью которых можно приготавливать из мелкокусковой породной массы, получаемой в проходческом забое, заполнитель для твердеющих смесей, используемых для заполнения закрепного пространства;

разработка дистанционно управляемых машин для бурения анкерных шпуров и полностью механизированной установки армополимерных анкеров длиной 1,8—2,5 м.

Зоны сопряжения штреков с лавами. Задачи совершенствования крепи:

совершенствование элементов для подхвата верхняков рам штрековой крепи на сопряжении штрека с лавой и поддержания кровли пласта на пересечении с контуром выработки для сохранения несущей способности штрековой крепи и сокращения трудоемкости работ на концевых участках лавы;

разработка механизированной крепи, обеспечивающей подхватывание штрековой крепи независимо от передвижки привода лавного конвейера и предотвращение вывалов пород из кровли на сопряжении;

создание передвижной механизированной крепи для поддержания кровли на концевом участке лавы при проведении выемочного штрека с отставанием очистного забоя;

применение анкеров для упрочнения кровли пласта на сопряжении лавы со штреком и крепления верхняков штрековой крепи к породному массиву при проходе очистного забоя.

Совершенствование технологии укладки околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства:

предупреждение пылеобразования за счет применения полностью автоматизированных оросительных устройств;

создание специальных средств транспортирования твердеющих смесей с поверхности к забоям. Они позволят уменьшить трудоемкость доставки материалов для выкладки околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства обычными средствами подземного транспорта и обеспечить независимость работ по выкладке околоштрековых полос от транспорта угля в шахте.

7.1.3. НОВОЕ В КРЕПЛЕНИИ ШТРЕКОВ [9, 84]

Штреки с прямоугольной формой поперечного сечения. Доля выемочных штреков с прямоугольной или трапециевидной формой поперечного сечения составляет на шахтах Рурского бассейна около 2% и имеет тенденцию к дальнейшему снижению. В штреках с прямоугольной формой поперечного сечения их ширина (по верхнякам) составляет 3,2—4,2 м на участках, отрабатываемых в обратном порядке, и 4,2—6,2 м на участках, отрабатываемых прямым порядком. Высота таких штреков в проходке равняется 2—3,5 м. Достоинство штреков с прямоугольной формой поперечного сечения — перед штреками с арочной формой — удобство разделения их сечения на отделения для транспорта угля, доставки материалов и оборудования, передвижения людей.

Как показывает опыт шахт Рурского бассейна, применение лишь одной анкерной крепи возможно только при очень прочной кровле, сложенной толстыми породными слоями. При прочной тонкослоистой кровле или кровле, представленной глинистыми сланцами, помимо установки анкеров требуется поддерживающая крепь, в частности, в виде рядов средних стоек.

При используемых на шахтах Рурского бассейна крепях с несущей способностью 200—600 кН/м² и среднем пределе прочности вмещающих пород 30—40 МПа можно успешно поддерживать штреки шириной до 5 м. Поддержание штреков большей ширины возможно в более устойчивых породах или при дополнительных мерах по упрочнению пород, например, анкерами.

Для выполнения названных выше задач сегодня еще нет соответствующих стоек. Дешевые деревянные стойки можно применять только на участках штреков с малой конвергенцией. Их в большинстве случаев необходимо заменять перед подходом

лавы более податливыми стойками трения или гидравлическими стойками. Повторная замена возможна лишь на расстоянии 60—250 м за лавой. Недостатками стоек трения являются, как известно, малое усилие начального распора, медленное нарастание сопротивления и скачкообразная просадка. Гидравлические стойки, применяемые в лавах, чувствительны к коррозии, теряют при продолжительной работе под нагрузкой несущую способность, повреждаются даже при небольшой внецентренности нагрузки и имеют недостаточную для большой конвергенции просадку.

При выемочных штреках с прямоугольной формой поперечного сечения характерны специфические трудности как непосредственно в проходческом забое, так и на сопряжении с лавой.

В проходческом забое существуют две проблемы. Распорное усилие крепи может быть приложено к породам кровли лишь в том случае, если удается предотвратить вывалы породы. Указанное условие является критерием применимости прямоугольной формы поперечного сечения штреков. Вторая проблема заключается в выполнении требования о своевременной установке средних стоек, предусмотренных паспортом крепления, которые в наиболее благоприятных случаях удается устанавливать лишь в 15 м от забоя. Из-за этого при раннем развитии деформаций в породах кровли и почвы пласта теряется возможность предупредить образование складок в породных слоях.

Дополнительная анкерная крепь, устанавливаемая непосредственно в забое, может в значительной мере предупредить расслоение пород и образование складок вплоть до того момента, как будут поставлены средние стойки, что позволяет использовать штреки с прямоугольной формой поперечного сечения на большей глубине.

Расслоение пород кровли и почвы происходит также на сопряжении штрека с лавой, где приходится удалять средние стойки для возможности передвижки привода лавного конвейера.

Как показали испытания, область применения штреков прямоугольной формы поперечного сечения ограничена и определяется такими факторами, как вид крепи, глубина горных работ, свойства вмещающих пород и мощность пласта.

Штреки с арочной формой поперечного сечения. Совершенствование арочной крепи позволило устранить многие ее недостатки. Нововведения относятся к механизированному заполнению закрепного пространства непосредственно в забое и к подхватыванию верхних секций арочных рам на сопряжении с лавой.

Для обеспечения высокой несущей способности арочной крепи пространство между ее верхними секциями и кровлей должно быть надежно подбучено. Заполнение закрепного простран-

ства производилось до последнего времени вручную и требовало больших затрат времени. Поэтому им нередко пренебрегали, особенно при скоростном проведении штреков. Как следствие, наблюдалось выдавливание под действием нагрузки арочных секций в пустоты за крепью, что приводило к деформации и повреждениям элементов податливых соединений и существенному уменьшению несущей способности арочной крепи в своде выработки.

После разработки способов механизированного возведения околоштрековых полос появилась возможность механизировать также процесс заполнения закрепного пространства в забое твердеющими смесями.

В штреке, проводившемся по весьма слабым породам с опережением лавы на 80 м, благодаря механизированному заполнению пустот за арочной податливой крепью удалось уменьшить конвергенцию на 16% начальной высоты штрека в свету, составлявшей 4,05 м, и увеличить остаточную площадь поперечного сечения на 2,5 м^2 (на находившемся в сопоставимых условиях участке штрека, проводившемся без заполнения закрепного пространства, конвергенция после прохода лавы составила 67% начальной высоты). Сохранение достаточно большой высоты штрека у входа в лаву имело большое значение для передвижки привода лавного конвейера и для размещения на участке сопряжения вентиляционного трубопровода, подававшего воздух в забой штрека. Увеличенная остаточная высота штрека сохранялась и после прохода лавы.

Применявшиеся ранее прогоны не обепечивали надежного подхватывания и прижатия к кровле верхних секций арочной крепи после удаления с находившихся со стороны лавы стоек арочных рам. Следствием этого была повышенная конвергенция, сопровождавшаяся смещением затяжки и вывалами из кровли. Благодаря разработке специальных подхватывающих устройств удалось устранить ослабление крепи штрека на сопряжении с лавой, возникающее при передвижке вынесенного на штрек привода лавного конвейера.

Для всех видов крепи общим является то, что они дают возможность сохранять полную несущую способность арочной крепи на сопряжении штрека с лавой. При этом подхватываются лишь те арки крепи, которые находятся непосредственно над лавным конвейером с учетом шага передвижки, а не на всю ширину приводной головки, как в случае использования прогонов.

Способы охраны штреков со стороны выработанного пространства. Для состояния выемочных штреков после прохода лавы, наряду с мероприятиями по их креплению, большое значение имеет способ охраны со стороны выработанного пространства. После отработки пласта с одной стороны штрека кровля над ним опускается неравномерно. При большой разнице в конвергенции происходит взаимное смещение пород в кровле и поч-

ве штрека по плоскостям наслоений. Потерявшие связь между собой пачки тонкослоистых пород приобретают усиленную склонность к расслоению и смятию с образованием складок, выдавливающихся в полость штрека. Средства охраны штрека со стороны выработанного пространства предназначены для того, чтобы уменьшить разницу в конвергенции у обоих боков выработки до минимума, в том числе и при одностороннем выработанном пространстве.

Без специальных средств охраны со стороны выработанного пространства можно поддерживать лишь те штреки, которые пройдены по пластам с легкообрушающейся на большую высоту непосредственной кровлей. Образующаяся мелкокусковая породная масса плотно прилегает к штрековой крепи и нижним слоям основной кровли. В таких условиях штрековая крепь не имеет возможности выдавливаться в выработанное пространство, а породы над штреком не высыпаются в выработанное пространство. Наиболее благоприятные условия для поддержания штреков без специальных средств охраны со стороны выработанного пространства существуют при мощности пласта от 1 до 1,8 м.

При слабой, но не образующей мелкокусковой породной массы и не обрушающейся на большую высоту кровле и при слабых породах почвы для предупреждения неравномерного опускания кровли над штреком рекомендуется устанавливать с обеих его сторон деревянные костры, которые не должны вдавливаться в породы кровли или почвы.

При крепких боковых породах для уменьшения конвергенции штрека со стороны выработанного пространства необходимы по возможности более жесткие средства охраны, например околоштрековые полосы из быстротвердеющих смесей на основе ангидрита.

При отработке пласта с обеих сторон штрека, а также при повторном использовании выработки опускание породного массива уже на расстоянии 40—80 м после прохода второй лавы доходит до 80% мощности пласта (без учета составляющей конвергенции, приходившейся на расслоение пород). Жесткие средства охраны штреков в таких условиях разрушаются или вдавливаются в боковые породы. Поэтому рекомендуется охранять штреки с двусторонним выработанным пространством податливыми устройствами или узкими жесткими полосами. Если при первом использовании вдоль штрека была возведена жесткая и широкая полоса, то повторное его использование возможно только при отработке участка в обратном порядке с погашением выработки после прохода лавы.

При использовании любой из применяемых в шахтах твердеющих смесей удается достигать предела прочности на сжатие материала околоштрековых полос от 15 до 30 МПа. При высокой скорости подвигания лавы целесообразно возводить околоштрековую полосу непрерывно. Состояние штрека определяется

не только выбором способа охраны штрека со стороны выработанного пространства, но и технологией возведения околоштрековых полос.

7.1.4. ЗНАЧЕНИЕ НАДЕЖНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЖИДАЕМЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК [108]

При исследованиях распределения горного давления было обнаружено, что в некоторых выработках вследствие влияния краевых частей и целиков по соседним пластам давление соответствует глубине в несколько тысяч метров. При дальнейшем углублении горных работ необходимо стремиться к тому, чтобы выработки были расположены вне зон повышенного давления. Было бы неблагоразумно предусматривать для штреков, расположенных на глубине 1500 м, крепь, которая должна воспринимать прирост давления, соответствующий глубине 6000 м, если имеется возможность за счет правильного проектирования очистных работ на вышележащих пластах избежать образования зон повышенного давления на нижних горизонтах. Проектирование очистных работ должно вестись по целым блокам шахтного поля, а не по отдельным пластам. Бессмысленно рассчитывать только на крепи с высокой несущей способностью, поскольку имеются возможности уменьшить действующие на выемочные штреки нагрузки и обойтись применением крепи с небольшим сопротивлением. В случае невозможности расположения штреков в зонах пониженного или нормального давления необходимо предусматривать усиление крепи подготовительных выработках в пределах повышенного давления.

Реакцию породного массива на повышенное горное давление можно определить в каждом конкретном случае только путем шахтных наблюдений и измерений. Если соответствующие характеристики известны для какого-то пласта, то проектирование очистных работ на соседних участках выемочного поля можно вести на их основе с учетом расчетного давления.

С помощью расчетного горного давления и результатов производственных наблюдений за состоянием горных выработок можно проектировать управление породным массивом. Использование результатов наблюдений и измерений, выполненных на одном участке шахтного поля, при проектировании очистных работ на другом участке всегда связано с определенной ненадежностью. Поэтому прогноз проявлений горного давления всегда является вероятностным. Степень достижимой надежности прогнозных данных имеет особое значение для дальнейшего совершенствования штрековой крепи.

Крепей различных типов для подготовительных выработок становится все больше: от достаточно простых и дешевых, рас-

считанных на небольшие нагрузки, до дорогостоящих, для установки которых требуется квалифицированный персонал. Ввиду большого количества требуемых для них материалов последние должны быть своевременно включены в соответствующие проекты, заказаны, изготовлены и поставлены на шахты. При этом экономические соображения и многообразие горно-геологических и эксплуатационных факторов вынуждают отказываться от выбора наиболее дорогих крепей, которые к тому же отнюдь не всегда являются наиболее эффективными. Выбранная крепь должна быть оптимально приспособлена к конкретным условиям. Крепь должна удовлетворять условиям эксплуатации, однако она не должна быть дороже той, которая требуется для заданного срока службы выработки и допустимой степени деформирования.

Однако поскольку любые прогнозы содержат известную долю вероятности, правильность прогнозных данных следует контролировать при проведении выработки простыми средствами, чтобы вовремя обнаружить отклонения и при необходимости принять меры к упрочнению пород или усилению крепи. Чем меньше достоверность прогнозных данных, тем чаще становятся необходимыми трудоемкие дополнительные мероприятия. В этом случае основным направлением дальнейших исследований должна быть разработка подобных дополнительных мероприятий. При высокой достоверности и надежности прогноза, наоборот, можно заранее установить, где следует предусматривать простую крепь, а где — более сложную и дорогую. В этом случае основным направлением дальнейших разработок должно быть создание дифференцированных типов крепей. Таким образом, степень достижимой надежности прогнозов в области ожидаемых проявлений горного давления влияет на направление опытно-конструкторских работ по созданию новых типов крепей.

В качестве дополнительных могут быть предусмотрены, например, следующие мероприятия. Пространство за арочными рамами подлежит плотному заполнению (устройства для механизации указанного процесса уже разработаны). Благодаря этому предупреждается расслоение пород в боках выработки и повышается собственная несущая способность приконтурного массива. Кроме того, увеличивается и несущая способность самих рам арочной крепи. Можно также анкеровать породы кровли с таким расчетом, чтобы имелась возможность удалять на непродолжительное время стойки арочных рам со стороны лавы без нарушения кровли штрека. После прохода лавы возводят механизированным способом жесткую (например, из ангидрита) околоштрековую полосу. В отдельных случаях породы кровли пласта требуется упрочнять еще перед лавой во избежание образования вывалов на сопряжении ее со штреком. Подобные дополнительные мероприятия могут проводиться отдельно или совместно.

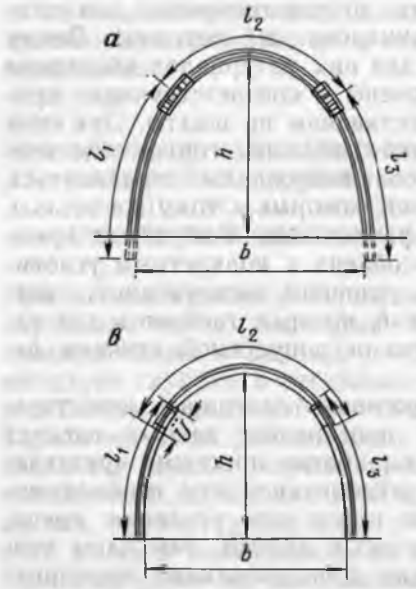


Рис. 7.1. Типовые схемы крепления выработок арочной крепью:
а — жесткой трехзвенной; *б* — жесткой четырехзвенной; *в* — податливой трехзвенной; *г* — податливой четырехзвенной

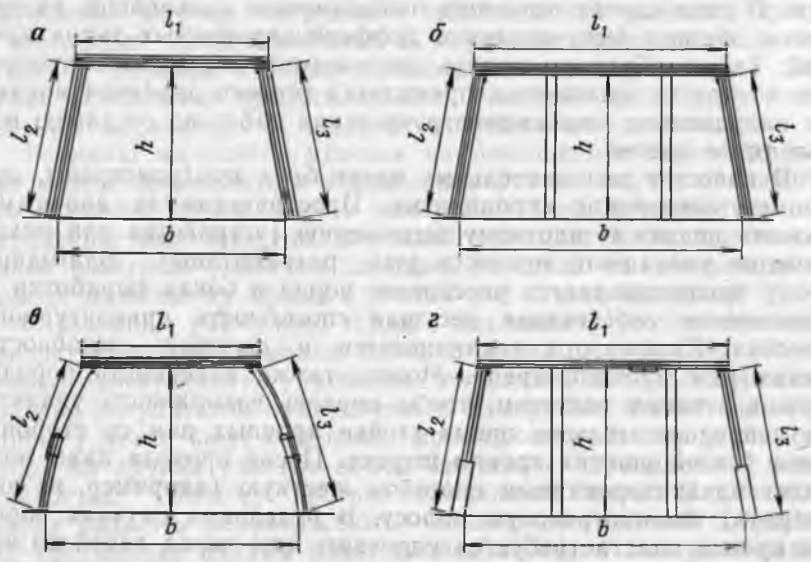


Рис. 7.2. Типовые схемы крепления выработок трапециевидной крепью:
а — жесткой; *б* — жесткой с установкой средних стоек; *в* — ограниченной податливости; *г* — ограниченной податливости с установкой средних стоек

Хотя все работы, включая установку арочных рам, могут быть частично механизированы, дополнительные мероприятия осложняют нормальный производственный ритм. При этом их эффективность зависит от тщательности выполнения работ. Чем в большей степени внедрены средства механизации работ по креплению, тем большие осложнения вносят дополнительные мероприятия. Поэтому высокая надежность прогноза проявлений горного давления является необходимой предпосылкой для создания как оптимальных с точки зрения механики горных пород и экономичных видов крепей, так и средств механизации работ по креплению. Понятие надежности распространяется, во-первых, на прогноз геомеханических условий, и, во-вторых, на технические и технологические средства и способы управления горным давлением.

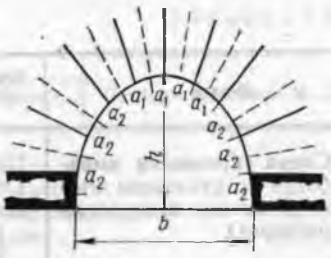


Рис. 7.3. Типовая схема крепления выработки анкерной крепью

Существенной причиной значительных различий в проявлениях горного давления являются различные отступления от проектов горных работ. Скопления воды на почве сводят на нет все усилия по улучшению состояния выработки. То же относится и к пустотам за крепью, и к недостаточной кинематической связи в элементах податливости арочных рам. Понятие надежности относится, таким образом, и к исключению возможности ошибок при выполнении работ по креплению. Повышение надежности в этом смысле неизбежно потребуется при дальнейшем увеличении глубины горных работ, где придется встретиться с более интенсивными проявлениями горного давления.

7.1.5. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПАСПОРТА КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Наиболее часто применяемые на шахтах ФРГ схемы крепления подготовительных выработок приведены на рис. 7.1—7.3, а формы паспортов крепления — в табл. 7.3—7.5.

7.2. АРОЧНАЯ КРЕПЬ

7.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АРОЧНОЙ КРЕПИ

Наблюдения в 130 выемочных штреках показали, что деформация контура поперечного сечения при их поддержании в условиях одностороннего выработанного пространства в два раза меньше, чем в штреках с двусторонним выработанным прост-

Таблица 7.3

Шахта . . .	Крепь арочная жесткая симметричная (арочная, податливая, симметричная)	Паспорт крепления № ...

Схема крепления выработки (с указанием места установки межрамных распорок)

Ширина по почве, b, мм . . . . . .
Общая высота h_1 . . . . . .
Длина сегмента, мм:
l_1 . . . . . .
l_2 . . . . . .
l_3 . . . . . .
l_4 . . . . . .
Длина соединения внахлестку U (при податливой крепи), мм . . . . . .
Площадь поперечного сечения, м²:
в свету . . . . . .
в проходке . . . . . .

Тип арочной рамы (фирменное или унифицированное обозначение) . . .

Линейная плотность спецпрофиля, кг/м . . . . . .
Расстояние между рамами, не более, м . . . . . .
Расстояние между последней рамой и забоем, не более, м . . . . .
Вид предохранительной крепи . .

Число межрамных распорок . . .
Число прочих элементов межрамных соединений . . . . . .
Максимальная масса подвешиваемого груза, т . . . . . .
Вид затяжки . . . . . .

Элементы крепи	Тип	Допуск Главного управления горного надзора		Изготовитель	Примечание
		дата	номер		
Спецпрофиль					
Соединения					
Межрамные распорки					
Приспособление для навешивания консолей предохранительной крепи					

Название участка . . . . . .
Название и номер штрека . . . . . .

ранством. В последних степень деформирования элементов крепи увеличивается более чем вдвое, так как примерно в 70% всех штреков податливость арочных рам полностью исчерпывается уже после отработки пласта с одной стороны. В обследовавшихся штреках применялись арки из спецпрофиля линейной плотностью от 26 до 36 кг/м.

Исследования в одном из штреков, пройденном с оставлением околоштрекового целика шириной от 1 до 7 м при мощности пласта 2,7 м, позволили сделать вывод о влиянии ширины целика на величину сближения боковых стенок и деформирова-

Таблица 7.4

Шахта ...	Крепь трапециевидная, жесткая, симметричная (трапециевидная, податливая, симметричная)	Паспорт крепления № ...

Схема крепления (с указанием места установки межрамных распорок)

Ширина по почве b, мм . . . .
Общая высота h, мм . . . . .
Длина верхняка l_1, мм . . . . .
Длина, мм:
l_2 . . . . . .
l_3 . . . . . .
Площадь поперечного сечения, м²:
в свету . . . . . .
в проходке . . . . . .

Линейная плотность спецпрофиля:
верхняка . . . . . .
стойки . . . . . .
Расстояние между рамами, не более, м . . . . . .
Расстояние между забоем и последней рамой крепи, не более, м . . .
Вид предохранительной крепи . .

Число межрамных распорок . . .
Число прочих элементов межрамных связей . . . . . .
Максимальная масса подвешиваемого груза, т . . . . . .
Вид затяжки . . . . . .

Элементы крепи	Тип	Допуск Главного управления горного надзора		Изготовитель	Примечание
		дата	номер		
Спецпрофиль:					
верхняка					
стойки					
Соединения:					
верхняка					
верхняка и стойки					
Межрамные распорки					
Приспособление для подвешивания консолей предохранительной крепи					

Название участка . . . . . .
Название и номер штрека . . . . . .

ние крепи. Наблюдения показали, что оптимальной является ширина целика около 2 м. При такой ширине целика сближение боков штрека относительно невелико, а крепь не подвергается значительным деформациям, как и при поддержании штрека без оставления целика. Если ширина целика составляет в зависимости от мощности пласта 50—70 м, то смещение боков штрека и деформация крепи бывают примерно такими же, как при поддержании штрека в условиях одностороннего выработанного пространства.

Таблица 7.5

Шахта ...	Крепь анкерная, с расположением анкеров в шахматном порядке	Паспорт крепления № ...

Схема крепления

Ширина по почве b, мм . . . . . .
Общая высота h, мм . . . . . .
Длина анкера, мм:
a_1 . . . . . .
a_2 . . . . . .
a_3 . . . . . .
a_4 . . . . . .
Расстояние между рядами анкеров r, мм . . .
Площадь поперечного сечения в проходке, м² .

Отставание последнего ряда анкеров (не более), мм . . . . . .
Усилие предварительного натяжения, Н . . . . . .
Плотность крепи, анкер/м² . . . . . .
Вид затяжки

Элементы крепи	Тип	Допуск Главного управления горного надзора		Изготовитель	Примечание
		дата	номер		
Анкерный болт					
Анкерный замок					
Опорная плита					

Название участка . . . . . .
Название и номер штрека . . . . . .

В результате анализа большого числа данных наблюдений и измерений лабораторией рудничной крепи и механики горных пород были сделаны следующие выводы:

для того чтобы правильно установить требуемые параметры штрековой крепи, необходимо еще при проектировании штрека установить ожидаемую конвергенцию;

линейная плотность спецпрофиля рам арочной крепи не оказывает ощутимого влияния на конвергенцию в штреке (при применяемых в настоящее время типах спецпрофиля);

конвергенция оказывает влияние на деформацию рам арочной крепи.

Различные типы штрековых крепей оправдывают себя лишь до определенной величины конвергенции. Жесткие арочные рамы с заполнением закрепного пространства вручную можно применять, если ожидаемая конвергенция не превышает 15% начальной высоты штрека. При конвергенции больше 15% следует использовать податливую арочную крепь.

Удельный расход стали, SA, кг/м³, требуемой для крепления, наряду с конвергенцией K зависит от условного показателя

прочности пород почвы и определяется уравнением

$$SA = 22e^{\left(0{,}0053 + \frac{0{,}0068}{GL}\right) K}.$$

Удельный расход стали на крепление зависит от длины арочных рам BL, линейной плотности спецпрофиля PG, площади поперечного сечения выработки в свету Q и расстояния между рамами BA. Длина BL рам обычных типов арочной крепи находится в следующей зависимости от площади поперечного сечения штрека Q:

$$BL = 6 + 0{,}36Q.$$

Удельный расход стали

$$SA = \frac{BL}{Q}\,\frac{PG}{BA},$$

или

$$SA = \frac{PG}{BA}\left(\frac{6 + 0{,}36Q}{Q}\right).$$

Тогда требуемая линейная плотность крепи

$$PG = \frac{BA \cdot SA}{6 + 0{,}36Q},$$

а расстояние между рамами крепи

$$BA = \frac{PG}{SA}\left(\frac{6 + 0{,}36Q}{Q}\right).$$

Следовательно, имеется возможность определять параметры податливой арочной крепи с заполнением закрепного пространства вручную.

Для приближенного определения параметров арочной крепи может использоваться номограмма (рис. 7.4), которая позволяет по заданной конвергенции и известному условному показателю прочности пород почвы получать необходимый удельный расход металла и другие параметры.

В обследованных штреках заполнение закрепного пространства осуществлялось вручную, что обусловливало в какой-то степени точечные нагрузки на арки. При механизированном заполнении пустот твердеющими смесями нагрузка распределяется равномерно, что способствует снижению конвергенции в выработке на одну треть. Благодаря уменьшению конвергенции расход металла на крепление может быть также соответственно сокращен. При механизированном заполнении закрепного пространства, обеспечивающем значительно лучший контакт крепи с приконтурным породным массивом, вероятно вполь-

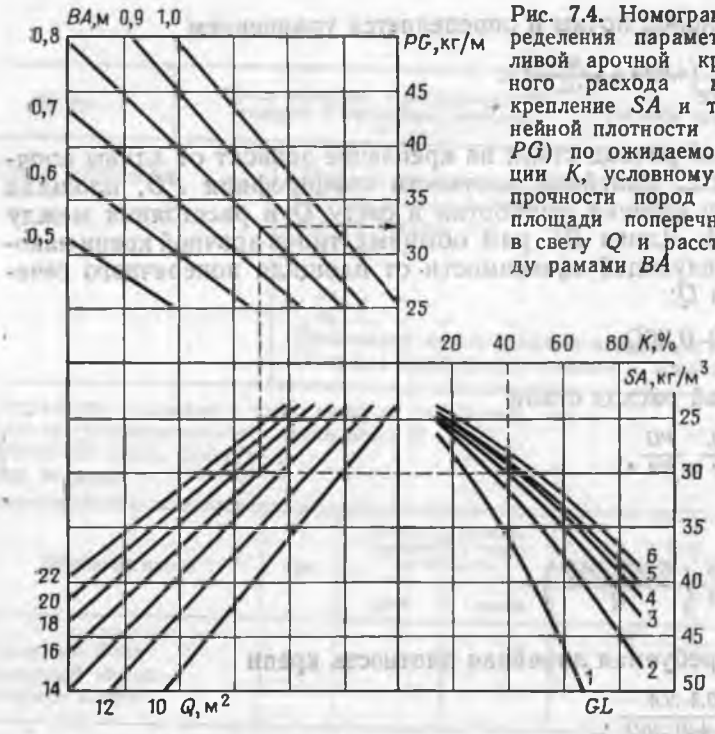


Рис. 7.4. Номограмма для определения параметров податливой арочной крепи (удельного расхода металла на крепление *SA* и требуемой линейной плотности спецпрофиля *PG*) по ожидаемой конвергенции *K*, условному показателю прочности пород почвы *GL*, площади поперечного сечения в свету *Q* и расстоянию между рамами *BA*

не возможно еще более уменьшить расход металла. Однако это предположение следует еще подтвердить дальнейшими наблюдениями.

7.2.2. ПОДАТЛИВЫЕ КРЕПИ С МЕДЛЕННЫМ НАРАСТАНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Из-за изменения формы секций арочной крепи при просадке арочной рамы возрастает сопротивление элементов податливости. Это приводит к увеличению сопротивления рамы и к деформации спецпрофиля. Измерения в одном из выемочных штреков с арочной крепью показали, что после прохода лавы по мере просадки рам их сопротивление увеличивается. Элементы податливости рам имели неодинаковые характеристики, что можно объяснить различными усилиями трения в податливых соединениях спецпрофилей.

Исследованиям подвергались боковые соединения арочных рам из желобчатого спецпрофиля линейной плотностью 32 кг/м. Они проводились после прохода лавы и повторной установки ножек арочной крепи с длиной нахлестки в податливых соединениях 0,75 м.

При установке арочной рамы ее сопротивление равнялось нулю (рис. 7.5). Затем с увеличением просадки оно возрастало.

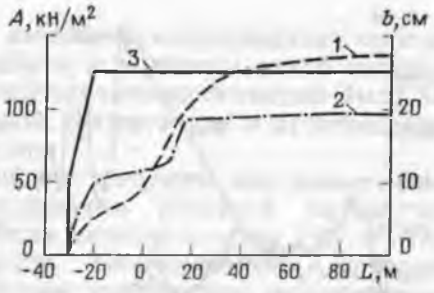


Рис. 7.5. График нарастания сопротивления A рам штрековой крепи и увеличения их просадки b в зависимости от расстояния до лавы L:

1, 2 — без предварительного распора; *3* — с предварительным распором 250 кН

Арочная крепь лишь тогда оказала сопротивление оседанию кровли, когда в приконтурном породном массиве началось расслоение и породы стали нагружать крепь.

Таким образом, эти крепи характеризуются медленным нарастанием сопротивления. Было бы, однако, целесообразным, как показали эксперименты на моделях штреков с прямоугольной формой поперечного сечения при различном сопротивлении крепи, чтобы устанавливать крепь так, чтобы она могла оказывать сопротивление деформациям приконтурного породного массива до начала его расслоения.

В случае применения арочной крепи для достижения этого необходимо устанавливать боковые сегменты с помощью гидравлических стоек. За счет начального распора удалось бы обеспечить работу крепи с активным сопротивлением (см. рис. 7.5, кривая *3*).

7.2.3. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРЕПИ И СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОСАДКЕ

Причину частых аварий со штрековой крепью можно видеть в том, что до последнего времени при проектировании штреков нельзя было дать количественную оценку ожидаемой конвергенции. Другая причина — отсутствие достаточно надежных сведений о допустимой степени деформирования крепи, при которой еще не теряется ее несущая способность. Их удалось получить путем шахтных наблюдений и измерений и экспериментов на моделях.

На простом испытательном стенде с моделью арочной крепи в масштабе 1 : 10 исследовались несущая способность и сопротивление крепи при просадке четырехзвенной арки. Имитация относительного (по отношению к почве) оседания кровли и прилегания арок крепи к породному контуру выработки обеспечивалась прижимными винтами. Арки крепи изготовляли из выдержанного в масштабе модели спецпрофиля из чистого алюминия (соответствующего спецпрофилю ТН48 линейной плотностью 29 кг/м) с пределом текучести 40 МПа, что соответствовало уменьшенному в 10 раз пределу текучести стали. Сопро-

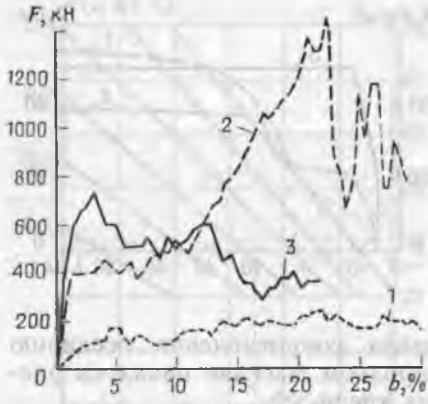


Рис. 7.6. График зависимости несущей способности рамы податливой арочной крепи F от опускания кровли b при начальном сопротивлении просадке 50 (*1*), 200 (*2*) и 300 (*3*) кН

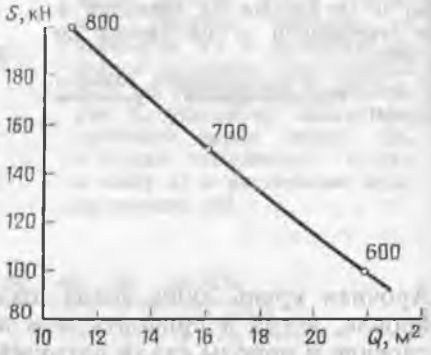


Рис. 7.7. График изменения оптимального начального сопротивления просадке S четырехзвенной податливой арочной рамы с хорошим заполнением закрепного пространства в зависимости от площади поперечного сечения Q выработки (цифрами показана максимальная несущая способность рамы в кН)

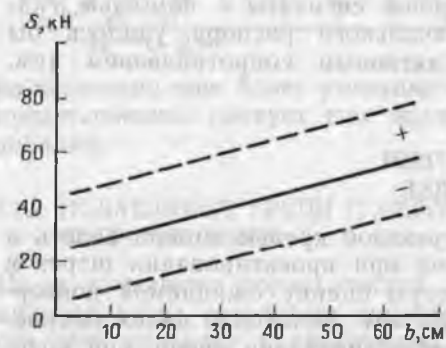


Рис. 7.8. График зависимости сопротивления просадке S от хода просадки b

тивление проскальзывания в податливых соединениях звеньев крепи на модели можно было регулировать до усилия 600 кН. Сопротивление крепи измерялось на верхнем прижимном винте. Остальные прижимные винты создавали для арочной рамы опору, как это имеет место в натурных условиях при достаточно плотном заполнении закрепного пространства.

Экспериментами установлена большая податливость арочной крепи при равномерном нагружении. При опускании кровли, составлявшем 35% начальной высоты штрека, элементы крепи не подверглись каким-либо разрушающим деформациям.

Эксперименты показали, что звенья крепи без осложнений вдвигались друг в друга в элементах податливости при начальном сопротивлении просадке 50 и 200 кН (рис. 7.6). Несущая способность крепи зависела от величины опускания кровли. В то время как при начальном сопротивлении просадке 200 кН максимальная несущая способность доходила до

1400 кН, при более высоком начальном сопротивлении просадке в 300 кН не было достигнуто и половины такой несущей способности, так как податливость соединений секций была заблокирована уже при небольшой конвергенции и арочные рамы подверглись сильной деформации.

Подобные же результаты были получены при моделировании арочной крепи из спецпрофиля линейной плотностью 36 кг/м при площади поперечного сечения в свету 16,8 м². Податливые соединения обладали сопротивлением просадке 150 кН. Такая крепь с медленным нарастанием сопротивления приобрела несущую способность в 700 кН лишь после относительного опускания кровли на 25% исходной высоты, что в шахтных условиях с учетом поднятия почвы соответствует общей конвергенции в 75%. Это объясняет, почему такая крепь при забутовке закрепного пространства вручную не оказывает какого-либо воздействия на конвергенцию в штреке (даже при оптимальном соотношении начального сопротивления просадке, линейной плотности спецпрофиля крепи и площади поперечного сечения выработки). Если бы начальное сопротивление просадке у таких арочных рам было отрегулировано на 200 кН, то недопустимые деформации крепи начались еще при относительном опускании кровли на 20% исходной высоты выработки. Также и у этой мощной крепи ее несущую способность не удалось повысить за счет увеличения сопротивления просадке в элементах податливости. В то же время сопротивление просадке меньше 150 кН уменьшило максимальную несущую способность указанной крепи.

Податливая арочная крепь из спецпрофиля линейной плотностью 36 кг с достаточно хорошим заполнением закрепного пространства достигает максимальной несущей способности в том случае, если начальное сопротивление просадке ее податливых соединений выбирается в зависимости от площади поперечного сечения выработки (рис. 7.7). Так, для площади поперечного сечения 12 м² оптимальным является начальное сопротивление просадке в 200 кН, а для 22 м² — 100 кН. Величина несущей способности крепи снижается при этом с 800 кН при площади поперечного сечения 12 м² до 600 кН при 22 м².

Результаты шахтных измерений приведены на графике (рис. 7.8). Здесь приведены средние значения и ширина зоны разброса результатов измерений сопротивления 36 боковых податливых соединений четырехзвенных податливых арочных рам в зависимости от величины просадки. Причинами столь большого разброса измеренных значений являются:

скачкообразная просадка крепи;

внедрение стоек рам в породную мелочь или в породы почвы;

точечный контакт рам с приконтурным породным массивом.

Оказалось, что штреки при применении достаточно тяжелых спецпрофилей крепи, небольшом расстоянии между рамами и

тщательной установке крепи могут надежно поддерживаться в не особенно трудных горно-геологических условиях. При дальнейшем углублении горных работ добиваться этого будет труднее.

7.2.4. НЕЗААНКЕРОВАННЫЕ И ЗААНКЕРОВАННЫЕ МЕЖРАМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

На испытательном стенде в масштабе 1 : 10 на 10 арочных рамах из чистого алюминия исследовалось влияние межрамных соединений на несущую способность и деформируемость податливой арочной крепи. Арочные рамы нагружались с помощью прижимных винтов. Наибольший интерес представляет собой устойчивость штрека при воспроизведении конвергенции, характерной для участка сопряжения штрека с лавой. Исследования показали, что предварительно напряженные межрамные стяжки, прикрепленные к имитируемому приконтурному массиву (в подземных условиях, например, анкерами), значительно повышают несущую способность крепи по сравнению с теми случаями, когда применяются межрамные стяжки без предварительного натяжения и не прикрепленные к породному массиву. Эффект повышения устойчивости крепи тем больше, чем выше конвергенция. Повышения несущей способности крепи можно достичь также при обеспечении равномерной просадки рам в элементах податливости.

При незааннкерованных межрамных стяжках арочные рамы под нагрузкой отклоняются от первоначального положения. Из-за этого происходит заклинивание элементов податливости и повышается сопротивление просадке рам, что в свою очередь усиливает неравномерность деформирования штрека. Звенья арочных рам изгибаются и скручиваются, после чего нагрузки на крепь по направлению не соответствуют наибольшему моменту сопротивления спецпрофиля. В результате несущая способность крепи еще более снижается, доля деформирования крепи в конвергенции выработки повышается.

При зааннкерованных межрамных стяжках арочные рамы не отклоняются от первоначального положения, сопротивление рам просадке изменяется в меньшей степени, напряжения изгиба и кручения в элементах крепи не возникают, а направления наибольшего момента сопротивления спецпрофиля крепи не выходят из плоскости действия нагрузок. Конвергенция воспринимается податливыми соединениями, а не за счет деформирования крепи. Такой же эффект, как и прикрепление межрамных стяжек к приконтурному породному массиву, оказывает заполнение закрепного пространства твердеющими смесями, препятствующими боковому смещению рам.

7.2.5. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРЕПИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ВРУЧНУЮ

Значение надежных боковых опор арочных рам, подвергающихся нагрузке со стороны кровли, для повышения их несущей способности выяснялось при подземных испытаниях, проводившихся на опытной шахте «Тремония».

Цель экспериментов заключалась в определении максимальной нагрузки, которую может выдержать арочная рама, связанная с соседними рамами, при различных видах нагружения и различной степени заполнения закрепного пространства. Исследовались следующие виды нагружения:

точечная нагрузка, приложенная к верхней части арочной рамы (рис. 7.9, *а*, *б* и *в*);

точечная нагрузка, приложенная к арочной раме непосредственно в месте соединения верхнего сегмента с боковым (рис. 7.9, *г*, *д* и *е*);

равномерно распределенная нагрузка, приложенная к верхней части арочной рамы (рис. 7,9, *ж*, *з* и *и*);

равномерно распределенная нагрузка, приложенная к верхней части арочной рамы, с дополнительной пригрузкой в 50 кН от подвешенного над соединением верхнего сегмента с боковым груза (рис. 7.9, *к*, *л* и *м*).

Степень заполнения закрепного пространства у измерительной рамы варьировала следующим образом:

почти без всякого заполнения, лишь с покрытием породой опор боковых сегментов (рис. 7.9, *а*, *г*, *ж* и *к*);

с заполнением закрепного пространства до половины высоты ножек крепи (рис. 7.9, *б*, *д*, *з* и *л*);

с заполнением закрепного пространства на всю высоту ножек крепи, т. е. до места их соединения с верхним сегментом (рис. 7.9, *в*, *е*, *и* и *м*).

Полное заполнение закрепного пространства (до самой верхней точки арочной рамы) при исследованиях не применялось, так как оно противоречит практике крепления штреков.

Для каждого случая нагружения на схемах (см. рис. 7.9) указана наибольшая достигнутая нагрузка. Она характеризовалась тем, что в связи с увеличивающейся деформацией дальнейшее ее повышение было невозможным. Следует указать, что в четырех экспериментах пришлось ограничиться нагрузкой в 600 кН, которую допускало применявшееся измерительное оборудование.

Согласно стандарту ДИН 21531 «Арочная крепь; арочные рамы для штреков и их ответвлений» максимальный изгибающий момент, который может быть приложен к арочной раме штрековой крепи, должен рассчитываться по простой формуле, согласованной с главным земельным управлением горного надзора. При известных размерах крепи и свойствах материала из этой же формулы можно получить расчетную разрушающую

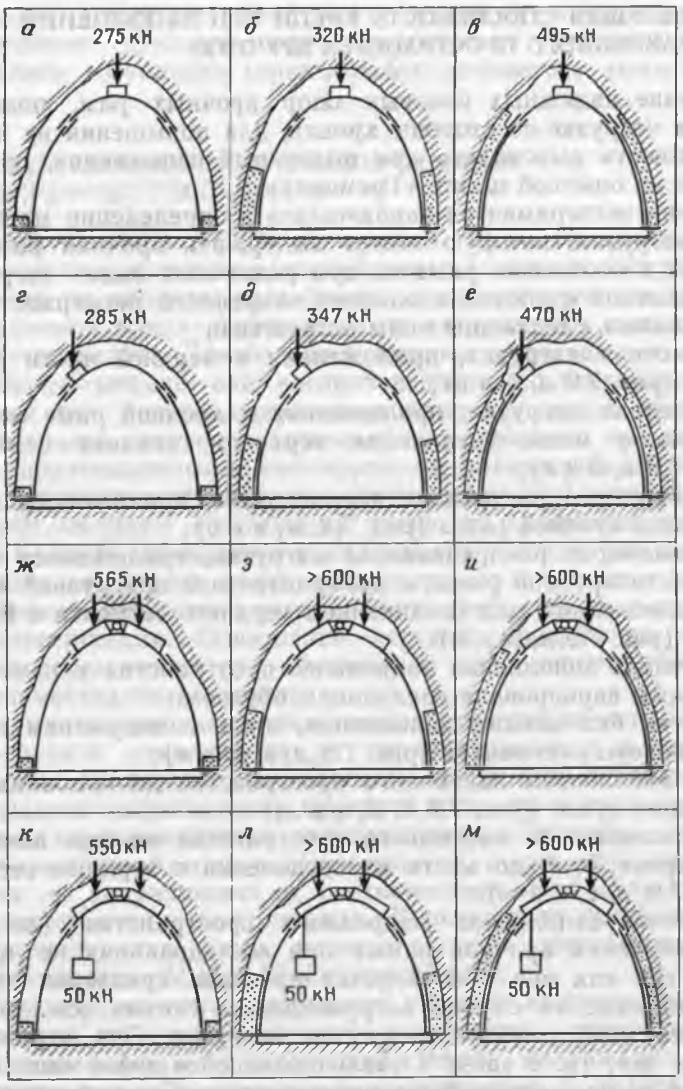


Рис. 7.9. Схемы приложения нагрузки к арочной крепи при различной степени заполнения закрепного пространства

нагрузку. Для арочных рам ВВ, которые испытывались при описанных выше экспериментах (спецпрофиль СП10) расчетная разрушающая нагрузка равна 229 кН. Фактически же было получено 275 кН при нагружении рам без заполнения закрепного пространства и 495 кН при заполнении закрепного пространства на высоту ножек арочной крепи.

Таким образом, фактическая несущая способность арочной рамы при отсутствии забутовки закрепного пространства превышает расчетную в 1,2 раза, а при забутовке закрепного пространства на высоту ножек арки — в 2,2 раза без появления признаков разрушения.

7.2.6. ВЛИЯНИЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

Согласно наблюдениям в выемочных штреках при буровзрывном способе их проведения средняя ширина зазоров между породным контуром и арками крепи составляет 20 см. Расстояние между боками и крепью имеет наименьшую величину у основания стоек и наибольшую — в так называемых «углах» арочного контура поперечного сечения выработки. Средний объем закрепного пространства составляет 2,2 м^3 на 1 м штрека. В штреках, проводимых комбайнами избирательного действия, средняя ширина зазора равна 29 см, в «углах» она на 10 см больше, а непосредственно под сводом несколько меньше. В штреках, проводимых буровзрывным способом, в 40% случаев ширина зазора колеблется от 20 до 50 см и в 10% — не превышает 20 см. При проведении выработок комбайнами большая ширина зазора встречается чаще; в 10% случаев она превышает 60 см.

Форма поперечного сечения штрека, закрепленного арочной крепью, после прохода лавы приближается к трапециевидной или к сводчатой с острым углом в вершине. Наблюдения показывают, что в штреках, проводимых комбайнами, свод выработки выполаживается, а в штреках, проводимых буровзрывным способом, наоборот, становится остроугольным.

Заполнение закрепного пространства вручную. Расстояние между породным контуром выработки и крепью уменьшается уже в нескольких метрах от ее забоя. Уже в 15 м перед лавой из-за конвергенции объем закрепного пространства сокращается наполовину (рис. 7.10). Приконтурный породный массив разрыхляется. Отслаивающаяся порода добавляется к материалу ручной забутовки. Из-за точечного приложения нагрузки крепь деформируется и выдавливается в штрек. Процесс деформирования заканчивается лишь тогда, когда площадь поперечного сечения штрека сокращается до 45% первоначальной величины. При так называемом «самоподбучивании» закрепного пространства, практиковавшемся на шахте «Цольферейн», отделившаяся от массива порода, заполняющая закрепное пространство, на сопряжении штрека с лавой высыпалась. При удалении стоек штрековых рам со стороны лавы наблюдается выпадение затяжки. В этом случае особенные опасения вызывает состояние кромки кровли пласта на сопряжении с контуром штрека. При ее обрушении рамы крепи теряют боковую опору и могут быть выдавлены в образовавшиеся пустоты и деформированы.

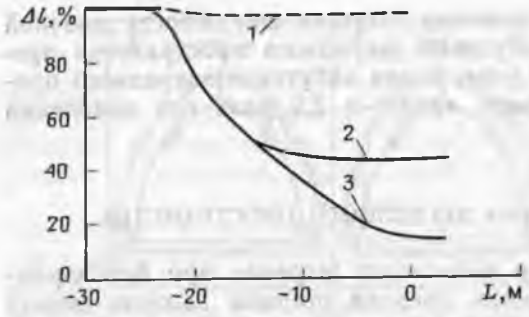


Рис. 7.10. График изменения относительного расстояния между породным контуром штрека и рамами крепи в зависимости от расстояния до лавы L при заполнении закрепного пространства:

1 — механизированным способом; *2* — вручную; *3* — пенопластом (в двух последних случаях наблюдалось выдавливание затяжки)

Заполнение закрепного пространства твердеющими смесями на основе природного ангидрита. Наряду с обычной забутовкой закрепного пространства или его самоподбучиванием на шахтах уже применяют доведенные до стадии эксплуатационной пригодности способы механизированного заполнения закрепного пространства быстротвердеющими и достаточно податливыми смесями. При подаче пневматическим способом смесей на основе природного ангидрита непосредственно в забое удается заполнять до 93% объема закрепного пространства. Благодаря этому конечная конвергенция уменьшается на 16% начальной высоты штрека. Существенно сокращается также деформирование крепи.

В одном из случаев к механизированному заполнению закрепного пространства пришлось прибегнуть в связи с такой большой конвергенцией в штреке еще до подхода лавы, что стала невозможной передвижка привода лавного конвейера. Благодаря заполнению закрепного пространства природным ангидритом конвергенцию штрека удалось уменьшить на 60 см, устранив тем самым значительные затруднения на сопряжении штрека с лавой. Несущая способность затвердевшего ангидрита оказалась настолько высокой, что непосредственная кровля пласта прочно удерживалась после удаления стоек арочных рам у входа в лаву, и от применявшегося ранее упрочнения породных слоев полиуретаном можно было отказаться.

При возведении ангидритовых околоштрековых полос закрепное пространство в зоне, пересеченной контуром штрека кровли пласта, также обязательно заполняется смесью. Благоприятные результаты, получаемые при применении узких ангидритовых полос, могут быть в значительной мере отнесены на счет заполнения закрепного пространства.

Заполнение закрепного пространства пенопластом. Во многих случаях для заполнения пустот между породным контуром штрека и крепью применяют пенопласт. Специально разработанный для использования в шахтах пенопласт под фирменным названием «изошаум» имеет предел прочности на сжатие 3 МПа после усадки на 70%. Поэтому прежде чем пенопласт начнет оказывать заметное сопротивление, приконтурный по-

родный массив успевает в значительной мере разрыхлиться. Однако породы за крепью не отслаиваются от массива и самопроизвольного заполнения закрепных пустот породной массой не происходит. При заполнении закрепного пространства пенопластом расстояние между породным контуром штрека и крепью сокращается в большей степени, чем при забутовке вручную (примерно на 85%).

Звенья арочных рам нередко выдавливаются в крупные пустоты, заполненные пенопластом, из-за чего податливые арки теряют способность к равномерной просадке. Тем не менее прочность пенопласта часто бывает достаточна для того, чтобы предупредить вывалы пород из кровли на сопряжении штрека с лавой.

Частичное заполнение закрепного пространства рукавами «Буллфлекс». Этот способ предусматривает при установке в забое рам крепи укладку в углубления спецпрофиля тканевых рукавов, в которые затем под давлением нагнетают водный раствор твердеющей смеси. В результате расширения рукавов обеспечиваются прижатие затяжки к породному контуру выработки и достаточное прилегание крепи к породам. Ткань, из которой изготавливаются распорные рукава, должна обладать высокой прочностью, воздухо- и водопроницаемостью и быть удобной при обработке.

Для заполнения распорных рукавов применяют водные растворы мелкозернистых смесей. При давлении нагнетания до 1,4 МПа вода отфильтровывается через водопроницаемую ткань распорного рукава и раствор приобретает благоприятное для затвердевания водоцементное отношение.

Под затяжкой, прижимаемой к породному контуру распорными рукавами, все еще остаются мелкие остаточные пустоты. Измерения показали, что рядом с такими пустотами находятся точки контакта затяжки с породой. Степень заполнения закрепного пространства составляет $70 \pm 6{,}8\%$. При этом арочные рамы примерно на 30% своего периметра имеют контакт с приконтурным массивом.

Сравнение различных способов заполнения закрепного пространства. Эффективность способа заполнения закрепного пространства можно оценить по снижению как конвергенции, так и деформирования крепи (табл. 7.6).

Для сравнения различных способов заполнения закрепного пространства конечная конвергенция и степень деформирования арочной крепи при забутовке вручную были приняты за единицу. При самоподбучивании арочных рам эти величины примерно на 10% выше.

Из приведенных в табл. 7.6 данных можно сделать вывод, что самоподбучивание арочных рам лишь незначительно хуже, чем обычная забутовка закрепного пространства вручную, если пустоты за крепью в среднем не шире 20 см и распределены по периметру контура выработки более или менее равномерно.

Таблица 7.6

Способ заполнения закрепного пространства	Способ охраны штрека	Коэффициент изменения	
		конечной конвергенции	деформирования крепи
Забутовка вручную	Деревянные костры	1	1
Самоподбучивание	То же	1,1	1,1
Самоподбучиванне и расклинивание рам	»	1,2	1,8
Заполнение пенопластом	»	1,4	1,3
Заполнение ангидритом	Полосы из ангидрита	0,6	0,5
Забутовка вручную	То же	0,75	0,8

При самоподбучивании закрепного пространства совместно с расклиниванием рам крепи деревянными клиньями конвергенция увеличивается на 20%, а степень деформирования крепи — на 80%. По-видимому, деревянные клинья усиливают неблагоприятное воздействие неравномерной нагрузки на крепь.

При пенопластовом заполнении закрепного пространства конвергенция и деформирование крепи увеличиваются соответственно на 40 и 30%. Таким образом, некоторое улучшение состояния кровли на сопряжении штрека с лавой сопряжено с большей конвергенцией и более сильным деформированием крепи. Неравномерная ширина зазора между породным контуром штрека и крепью из-за почти полной усадки пенопласта проявляется в полной мере.

В то же время заполнение закрепного пространства природным ангидритом снижает конвергенцию штрека и деформацию крепи весьма значительно. Высокие дополнительные затраты на ангидритовое заполнение оправдывают себя в тех случаях, когда необходимо не только улучшить состояние кровли на сопряжении штрека с лавой, но и уменьшить конвергенцию штрека и деформацию крепи.

Если же при забутовке закрепного пространства вручную состояние сопряжения штрека с лавой удовлетворительное и требуется лишь уменьшить остаточную конвергенцию и предупредить сильное деформирование крепи, то вполне достаточно организовать лишь выкладку вслед за подвиганием лавы околоштрековой полосы из быстротвердеющей смеси. В этом случае можно ожидать, что конечная конвергенция будет ненамного больше той, которая наблюдается при замене забутовки закрепного пространства вручную механизированной.

7.2.7. АРОЧНАЯ КРЕПЬ С ЖЕЛЕЗОБЕТОНОМ

Примером применения такой крепи с высокой несущей способностью может служить дополнительное крепление участкового квершлага выемочного поля «Курл» на шахте «Гнейзенау». Эта мера потребовалась для того, чтобы можно было подработать участковый квершлаг 9 пластом «Рётгерсбанк» мощностью 2,1 м с углом падения 37°. Для усиления жесткой металлической арочной крепи, уже частично деформированной, между ее рамами установили арочные решетчатые фермы, которые были покрыты опалубкой и заполнены раствором ангидрита. При этом выведенные в подкровельную часть опалубки рукава для подачи раствора служили также для уплотнения уложенной смеси. Таким образом была образована железобетонная оболочка толщиной 55 см, полностью прилегающая к приконтурному породному массиву. На участке квершлага, непосредственно примыкавшем к пласту «Рётгерсбанк», приконтурный породный массив был дополнительно упрочнен нагнетанием магнезиальных вяжущих веществ.

Прирост горного давления в зоне подработки квершлага был весьма значительным (рис. 7.11). В южной части квершлага при приближении лавы давление превышало в 2,5 раза нормальную для данной глубины величину, однако после подработки оно сократилось до 0,5 первоначального значения. Такие большие изменения напряженного состояния обусловливали разгрузку породного массива, уменьшение сил сцепления между слоями и последующий рост конвергенции в квершлаге. Тем не менее в северной части квершлага, где вертикальное расстояние до пласта было бо́льшим, конвергенция составляла всего лишь 15 см, а в месте пересечения квершлагом слабых вмещающих пород, склонных к пучению (у пластов «Ида» и «Эрнестина»), она не превышала 40 см. На участке без усиления арочной крепи железобетоном конвергенция после подработки достигала 60 см, что явилось следствием влияния краевой части по пласту «Рётгерсбанк». Сильный прирост горного давления (120 МПа) вызвал также значительное сближение боков квершлага, доходившее до 90 см. На участке с усиленной крепью сближение боков не превышало 10 см. Лишь в месте засечки штрека по пласту «Ида», где железобетонная дополнительная крепь квершлага была ослаблена, оно составило 80 см.

Помимо геологических факторов и параметров крепи характер конвергенции определяется изменением давления Δp. При этом снижение давления при разгрузке массива приравнивается к его приросту. Взаимосвязь между изменением давления Δp и измеренной конвергенцией выражается характеристикой конвергенции в горной выработке или на каком-то ее участке.

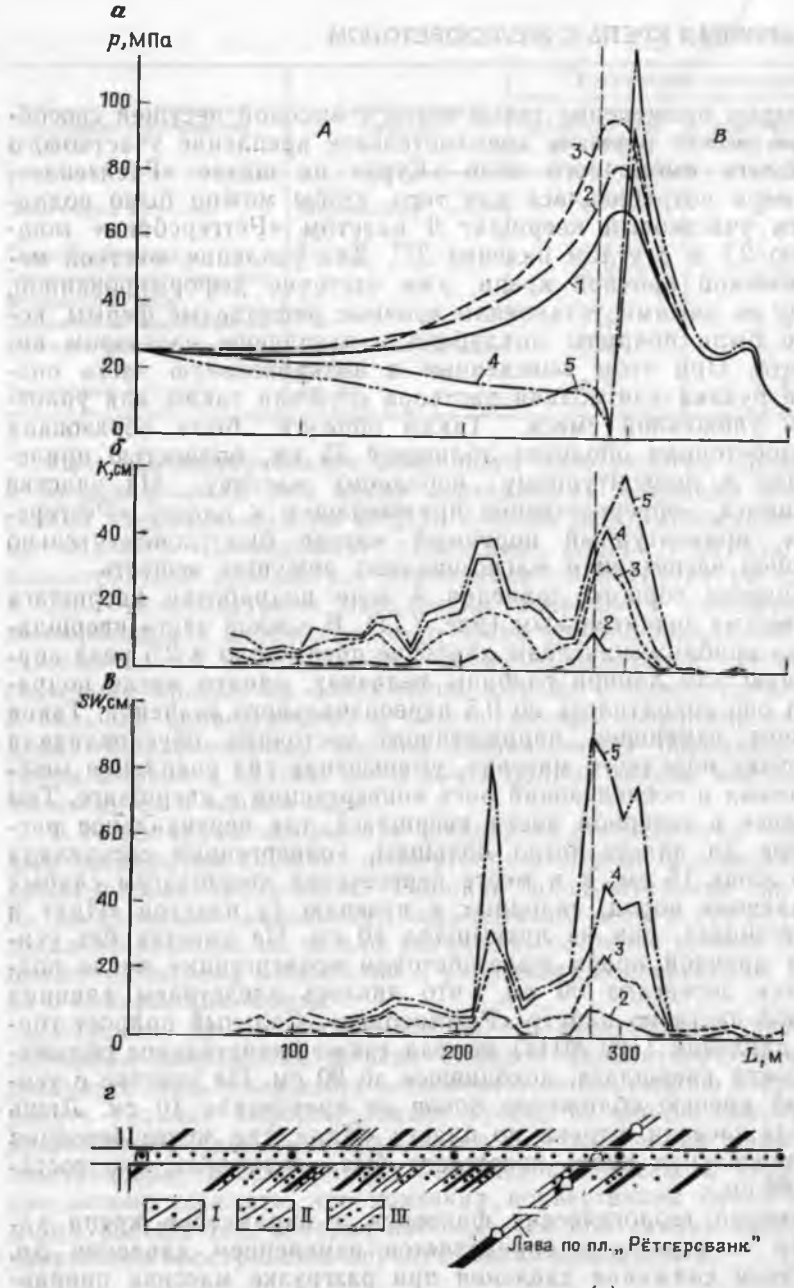


Рис. 7.11. Графики изменения горного давления p (*а*), конвергенции K (*б*) и сближения боковых стенок SW (*в*) по длине квершлага L и схема расположения квершлага (*г*):

1—3 — при подходе лавы к квершлагу на расстояние соответственно 230, 40 и 10 м; *4, 5* — при отходе лавы от квершлага на расстояние соответственно 20 и 150 м; *A, B* — соответственно участки квершлага с усилением и без усиления железобетоном; *I* — песчаник; *II* — песчано-глинистый сланец; *III* — глинистый сланец; *IV* — лава по пласту «Рётгерсбанк»

На участке квершлага с усиленной жесткой крепью измеренная конвергенция была относительно небольшой (как в северной части с незначительным изменением давления, так и в южной части, где давление изменилось на довольно значительную величину). Максимальная конвергенция составляла всего 45 см, что и определило достаточно крутой подъем характеристики (рис. 7.12). Интенсивность конвергенции равнялась 4,4 см на 10 МПа прироста давления.

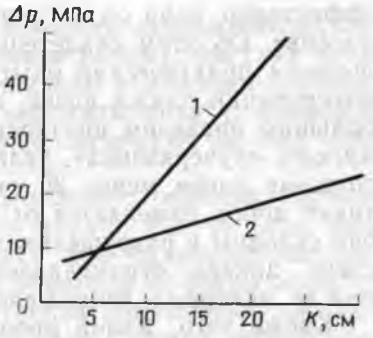


Рис. 7.12. Характеристики участков квершлага с усилением (*1*) и без усиления железобетоном после одноразового перекрепления (*2*)

На участке квершлага, где крепь не была усилена, в зоне воздействия краевой части пласта характеристика конвергенции была более пологой. Интенсивность конвергенции составляла 17 см на 10 МПа изменения давления. Следует еще принять во внимание то обстоятельство, что из-за проводившегося на этом участке квершлага перекрепления, значительную часть остаточной конвергенции учесть не удалось. Поэтому действительная характеристика должна бы быть еще более пологой. В различии указанных усредненных характеристик конвергенции отражается эффективность мер по усилению крепи квершлага.

За счет армированной бетонной оболочки была создана крепь, несущая способность которой благодаря целенаправленному упрочнению приконтурного породного массива была в несколько раз выше, чем у обычных крепей. Несущая способность крепи участкового квершлага, плотно прилегающая к упрочненным породам, оказалась в условиях шахты «Гнейзенау» настолько высокой, что она смогла воспринять без повреждений нагрузки, создавшиеся при подработке квершлага пластом, находившемся на небольшом по вертикали расстоянии от квершлага.

7.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ПУЧЕНИЕМ ПОЧВЫ

7.3.1. АНКЕРОВАНИЕ ПОЧВЫ

Вопрос о целесообразности анкерования почвы в каком-либо из выемочных штреков должен решаться с учетом горно-геологических и эксплуатационных условий.

Горно-геологические условия. Важным условием эффективного применения анкеров для упрочнения почвы является непарушенность породного массива. Анкер не будет действовать

эффективно, если он установлен в уже разрушенном породном массиве. Об этом свидетельствует накопленный к настоящему времени практический опыт анкерования почвы. Не подлежит анкерованию также почва, состоящая из породных слоев с небольшим пределом прочности (ниже 25 МПа), в том числе из мягкого «кучерявчика», угля и слабого глинистого сланца, при толщине слоев менее 20 см. Условный показатель прочности таких пород изменяется от 3 до 6. При воздействии давления они склонны к разрушению на мелкие куски. Упрочняющее действие анкера ограничивается небольшим объемом. Порода между анкерами взламывается и выдавливается вверх.

Кроме того, малой прочностью характеризуются разделенные плоскостями ослабления породные слои, которые также не могут быть упрочнены анкерами. Плоскости ослабления в породах почвы обнаруживаются по буровым кернам. Поэтому бурение керновых скважин должно быть непременной составной частью подготовки к проектированию работ по упрочнению пород почвы анкерами.

По буровым кернам определяется также чувствительность пород почвы к воде. От того, в какой степени вода влияет на прочностные свойства пород, зависит выбор способа бурения анкерных шпуров. При ярко выраженной склонности пород к размоканию рекомендуется применять сухое бурение.

Эксплуатационные условия. При наличии горно-геологических предпосылок целесообразности анкерования почвы к организации проходческих работ должны быть предъявлены два важных требования:

возможность размещения в призабойном пространстве машины для бурения анкерных шпуров и установки анкеров;

согласование скорости подвигания забоя штрека с производительностью машины по установке анкеров.

Машина по установке анкеров должна размещаться вблизи забоя выработки, с тем чтобы можно было анкеровать еще не нарушенные деформацией породные слои почвы. Длина такой зоны (считая от забоя) редко превышает 10 м. Место анкерования может находиться на тем большем расстоянии от забоя, чем выше первоначальная прочность пород почвы.

Достигнутая к настоящему времени производительность работ по установке анкерной крепи составляет 10—30 анкеров/сут. При максимальной производительности 30 анкеров/сут, ширине штрека 6 м и плотности крепления 1 анкер/м^2 ежесуточно можно анкеровать участок штрека длиной 5 м. Поэтому скорость проведения выработки также не должна превышать 5 м/сут.

Техника бурения анкерных шпуров. Ниже приведены основные требования к машинам для бурения шпуров при анкеровании почвы.

Маневренность: большой диапазон поворота направляющих автоподатчика (до 27° к горизонтальной плоскости);

достаточно большая высота точки поворота направляющих автоподатчика (не менее 2 м над уровнем почвы); быстрая установка и возможность фиксации в заданном положении бурения.

Устойчивость: защита от опрокидывания с помощью распорных устройств; защита от опрокидывания за счет собственного веса.

Производительность: применение тяжелых бурильных машин (массой 80 кг); высокое усилие подачи (при вращательном бурении не менее 20 кН, при ударно-вращательном — не менее 8 кН); возможность перехода от вращательного к ударно-вращательному способу бурения; достаточно большая длина направляющих автоподатчика (для буровых штанг длиной не менее 1,5 м); возможность одновременной работы нескольких бурильных машин с автоподатчиками.

Удаление буровой мелочи: быстрое переключение с продувки шпуров на промывку водой; высокопроизводительный отсос буровой мелочи; возможность промывки скважин суспензиями (например, с добавлением магнезиальных вяжущих).

Достигнутую в настоящее время производительность, при которой на полную установку одного анкера в почве затрачивается 20—30 мин, следует считать неудовлетворительной и недостаточной для того, чтобы соответствовать скорости подвигания проходческого забоя 5 м/сут. Поэтому машины для анкерования почвы должны быть усовершенствованы таким образом, чтобы на бурение анкерной скважины глубиной 6 м затрачивалось не более 10 мин (со сменой буровых штанг), заполнение скважины цементирующим составом с последующим введением в нее анкерной штанги длилось не более 5 мин.

Техника анкерования. После выявления целесообразности анкерования почвы по горно-геологическим и эксплуатационным факторам следует с тех же позиций определить параметры анкерной крепи, используемой для упрочнения почвы. К таким параметрам, в частности, относятся: тип анкерной крепи, длина анкерных штанг, глубина заглубления хвостовиков анкерных штанг под уровнем почвы, угол наклона анкерных шпуров, плотность анкерной крепи, расстояние между рядами шпуров, разрывная прочность анкерных штанг и схема расположения анкеров.

Тип анкерной крепи. Анкерная крепь различается по виду закрепления анкерной штанги в скважине (по всей длине скважины или только в ее донной части), материалу анкерной штанги, виду цементирующего состава и длине анкерной штанги.

Длина анкерных штанг. Анкеры должны скреплять породные слои почвы на всю глубину зоны складкообразования, соответствующей, согласно экспериментам на моделях и измерениям в шахтах, как правило, трем четвертям или в максимальном случае полной ширине выработки.

Глубина заглубления хвостовиков анкерных штанг. Под этим параметром подразумевается расстояние между хвостовиком анкера и уровнем почвы в тех случаях, когда анкерную штангу определенной длины закрепляют в шпуре, имеющем бо́льшую, чем длина штанги, глубину. Такое расположение хвостовика позволяет в случае необходимости осуществлять подрывку почвы. Рекомендуемая глубина заглубления анкерной штанги 0,6—0,8 м, что несколько больше глубины однократной подрывки почвы.

Угол наклона анкерных шпуров. В породных слоях почвы штрека происходят смещения их относительно друг друга. При этом анкерная штанга, расположенная в шпуре по нормали к напластованию, подвергается усилиям среза. Большим сопротивлением обладают те анкерные штанги, которые подвергаются напряжениям сжатия. Они возникают в том случае, если анкерный шпур пробурен диагонально к напластованию.

Плотность анкерной крепи. Нижний предел плотности анкерной крепи составляет, согласно Н. Бушману, 1 анкер/м². Эта величина получена в результате экспериментов на моделях и была впоследствии подтверждена при наблюдениях в шахтах и исследованиях на современных моделях подготовительных выработок. В некоторых случаях при высокой первоначальной агрегатной прочности пород почвы удавалось существенно уменьшить их пучение при меньшей плотности анкерной крепи (0,8 анкера/м²). Для пород с условным показателем прочности не более 3 верхний предел плотности анкерной крепи соответствует 2 анкера/м².

Расстояние между рядами анкеров. Расстояние между рядами анкеров с учетом геологических особенностей строения почвы следует выбирать в пределах 0,8—1,2 м. В особых случаях (особо прочные породы) расстояние между рядами анкеров может быть увеличено до 1,5 м.

Прочность анкерных штанг. Необходимая прочность анкерных штанг на растяжение (кН) определяется по требуемой несущей способности AW (кН/м²) и плотности Ad (анкер/м²) по формуле

$$A = AW/Ad.$$

Поскольку в настоящее время анкерные штанги с прочностью на разрыв свыше 550—600 кН пока не изготовляются, следует выбирать такую плотность крепи, чтобы нагрузка на одну анкерную штангу не превышала указанной величины.

Схема расположения анкеров. Указанные выше параметры определяют требуемую схему расположения анкеров (паспорт анкерования почвы).

Кроме того, при проектировании работ по упрочнению почвы анкерованием необходимо:

устраивать так называемые «анкерные барьеры» для предупреждения нежелательного воздействия разрушенной почвы на незаанкерованном участке выработки на поведение почвы, упрочненной анкерами. С этой целью с обоих концов участка выработки, почва которого должна быть упрочнена анкерами, на протяжении 5—10 м плотность анкерной крепи увеличивают вдвое (путем соответствующего уменьшения расстояния между рядами анкеров);

располагать анкеры с учетом ожидаемого направления сдвижения пород почвы под боками выработки.

Наблюдения за сдвижением пород в почве и конвергенцией выемочных штреков с анкерной крепью показали, что при односторонней отработке пласта сдвижение пород в почве после прохода лавы направлено от бока штрека, противоположного лаве. Это обстоятельство должно учитываться путем выбора такой несимметричной схемы расположения анкеров, при которой почва под боком штрека, противоположном лаве, имела бы усиленное крепление. В выемочных штреках с двусторонней отработкой пласта, полевых штреках и квершлагах, наоборот, схема расположения анкеров должна быть симметричной, если только нет каких-либо данных о несимметричном характере сдвижения пород почвы. Если не имеется возможности устанавливать все анкеры каждого ряда непосредственно у проходческого забоя, то в призабойном пространстве рекомендуется устанавливать лишь средние анкеры, а боковые анкеры в этом случае устанавливаются позже — на некотором расстоянии от забоя.

На рис. 7.13 показана примерная схема расположения анкеров, в которой учтено требование о большей плотности анкерования почвы у противоположного лаве бока выемочного штрека в условиях односторонней отработки и крепких породах почвы. Она характеризуется следующими параметрами: высота и ширина штрека — соответственно 4,1 и 5,8 м; площадь поперечного сечения выработки 18 м^2; глубина анкерных шпуров 6 м; длина анкерных штанг 5,5 м; глубина заглубления хвостовиков анкеров 0,5 м; число анкеров в ряду 7; расстояние между рядами анкеров 1,2 м; плотность анкерной крепи 1 анкер/м^2.

При подобной схеме расположения анкеров в почве штрека образуется несущий обратный свод, опоры которого расположены под боками выработки.

Опыт упрочнения почвы анкерованием. Рассмотрим результаты шахтных испытаний этого способа упрочнения почвы на примере анкерования почвы выемочного штрека, пройденного по пласту «Президент». Указанный штрек проходили с помощью буровзрывных работ на глубине 1040 м с опережением лавы на 80 м. Породы почвы — крепкие песчано-глинистые сланцы с пределом прочности на сжатие 70 МПа.

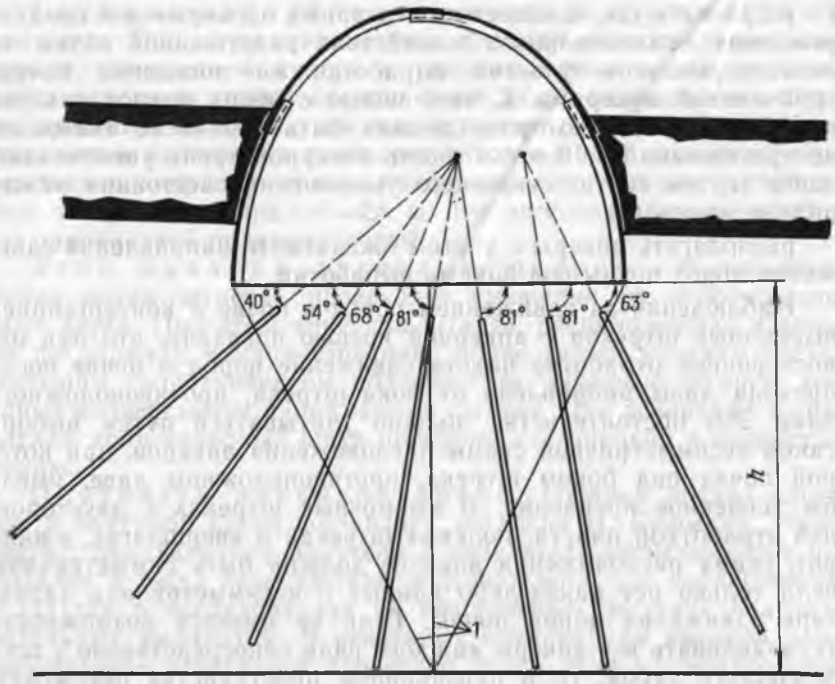


Рис. 7.13. Схема расположения анкеров при упрочнении почвы в выемочном штреке, который должен поддерживаться в условиях одностороннего выработанного пространства:

l — предполагаемое расположение плоскостей разлома, по которым будет происходить выдавливание пород почвы; *h* — глубина зоны разрушения почвы (примерно 6 м)

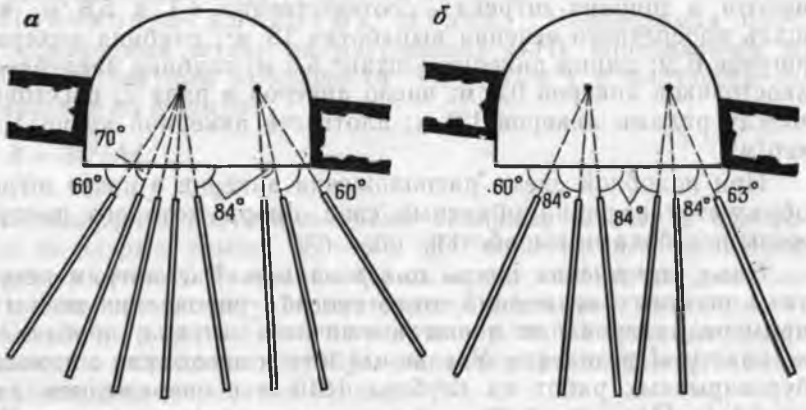


Рис. 7.14. Схемы расположения анкеров в нечетных (*а*) и четных (*б*) рядах

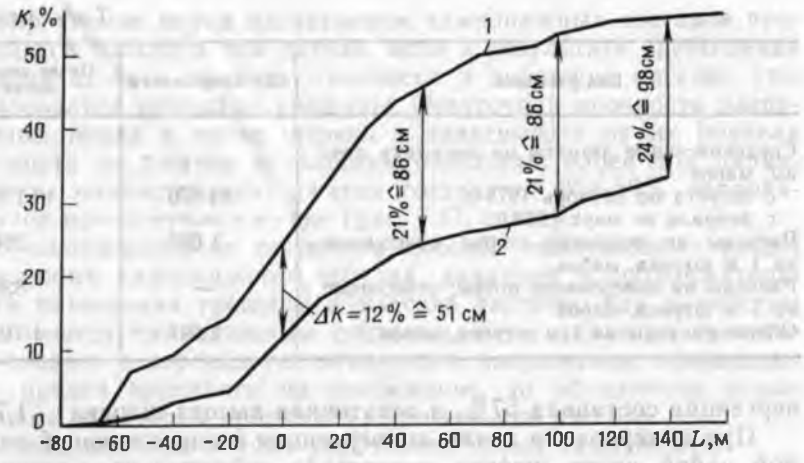


Рис. 7.15. График изменения конвергенции K в зависимости от расстояния до лавы L:
1, 2 — на участках штрека без анкерования и с анкерованием почвы

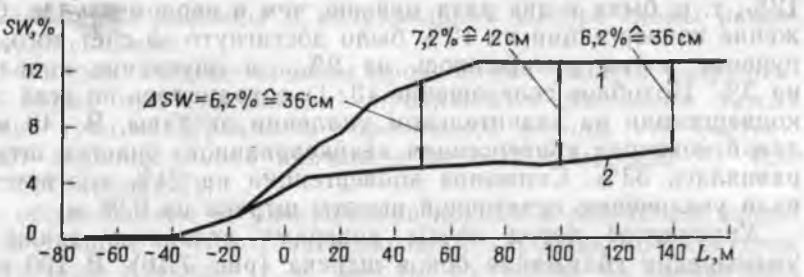


Рис. 7.16. График сближения боков штрека SW в зависимости от расстояния до лавы L:
1 и *2* — на участках штрека без анкерования и с анкерованием почвы

Поскольку в опережающей очистной забой части штрека находился конвейер, паспортом крепления почвы предусматривалась поочередная установка 8 (рис. 7.14, *а*) и 6 анкеров (рис. 7.14, *б*) в ряду при расстоянии между рядами 1,5 м. Плотность 0,8 анкера/м². Хвостовики анкеров были заглублены в почву на 0,8 м, длина анкерных штанг составляла вначале 4,5 м, а затем 5,2 м.

Оказалось, что благодаря анкерованию характер смятия породных слоев почвы существенно изменился. Производственные наблюдения, проводившиеся в этом штреке для контроля эффективности анкерования, показали, что на незаанкерованном участке штрека конвергенция проявлялась уже в 80 м перед лавой, достигая на сопряжении 24% (рис. 7.15). В 50 м за лавой конвергенция возросла до 45%, после чего ее интенсивность начала уменьшаться. В 140 м за лавой конечная величина кон-

Таблица 7.7

Вид расходов	До анкерования	После анкерования
Среднемесячные затраты на подрывку почвы, марок		
с августа по октябрь 1978 г.	84 870	14 175
с февраля по март 1978 г.	—	
Расходы на подрывку почвы, отнесенные на 1 м штрека, марок	1 697	284
Расходы на анкерование почвы, отнесенные на 1 м штрека, марок	—	835
Общие расходы на 1 м штрека, марок	1 697	1 119

вергенции составила 57%, а остаточная высота штрека — 1,77 м.

При анкеровании почвы конвергенция в опережающей очистной забой части штрека возрастала значительно медленнее. Лишь в 20 м перед лавой ее интенсивность примерно сравнялась с интенсивностью конвергенции на незаанкерованном участке. На сопряжении величина конвергенции составила 12%, т. е. была в два раза меньше, чем в первом случае. Снижение конвергенции на 12% было достигнуто за счет того, что пучение почвы уменьшилось на 9%, а опускание кровли — на 3%. Подобное соотношение (3 : 1) сохранялось по всей зоне конвергенции на значительном удалении от лавы. В 140 м за лавой конечная конвергенция заанкерованного участка штрека равнялась 33%. Снижение конвергенции на 24% соответствовало увеличению остаточной высоты штрека на 0,98 м.

Упрочнение пород почвы анкерами сказалось также на уменьшении сближения боков штрека (рис. 7.16). В 100 м за лавой горизонтальная конвергенция штрека, отнесенная к его начальной ширине, сократилась с 12,5 до 5,3%. Выигрыш в 7,2% соответствует 0,42 м ширины штрека.

Упрочнение почвы анкерованием способствует улучшению состояния зоны сопряжения штрека с лавой при соответствующем облегчении выполнения производственных операций. Вместе с тем, оно экономически выгодно.

Сравнение расходов на подрывку почвы и упрочнение пород почвы анкерованием в выемочном штреке по пласту «Рётгерсбанк» показывает, что применение анкерования позволило сэкономить около 600 марок на 1 м поддерживаемого штрека (табл. 7.7).

7.3.2. ТАМПОНАЖ ПОРОД ПОЧВЫ

Тампонаж служит главным образом для упрочнения разрушенных горных пород, с тем чтобы они могли противостоять повышенному горному давлению.

Упрочнение пород нагнетанием тампонажных составов производится только в том случае, если в результате превышения первоначального предела прочности в породном массиве уже образовались открытые трещины. Остаточная прочность разрушенных пород в почве штрека в зависимости от их предела прочности на сжатие и толщины отдельных слоев при параллельном напластованию сжатии составляет 25—50% первоначальной прочности в массиве (рис. 7.17, слева).

В зависимости от принятого способа тампонажных работ, выбранного тампонажного состава, давления и продолжительности нагнетания трещины в массиве частично или полностью заполняются тампонажным составом. Если давление нагнетания создает в породах растягивающие напряжения, превышающие предел прочности на растяжение, то образуются новые трещины, в которые проникает упрочняющий раствор.

Различают три случая упрочнения пород тампонажем:

с частичным упрочнением пород, при котором прочность в массиве после тампонажа VF' лишь незначительно превышает остаточную прочность RF (см. рис. 7.17, кривая *1*). Это наблюдается при малом давлении нагнетания, большой вязкости упрочняющего раствора и неправильном выборе схемы расположения скважин;

с полным восстановлением прочностных свойств разрушенных пород при заполнении упрочняющим раствором самых мелких трещин. Прочность упрочненной породы VF' соответствует первоначальной прочности породы в массиве VF (см. рис. 7.17, кривая *2*);

с образованием из разрушенной породы в результате заполнения трещин и пустот затвердевшим упрочняющим составом своего рода брекчии (т. е. породы, состоящей из сцементированных обломков с высоким содержанием цементирующего вещества при отсутствии слоистости). В этом случае прочность упрочненной породы VF' выше первоначальной прочности породы в массиве VF (см. рис. 7.17, кривая *3*).

Характер повторного снижения прочности упрочненной породы с VF' до RF' во всех случаях зависит от вида тампонажного состава. При применении для этой цели полиуретана характерно резкое снижение прочности упрочненной породы VF', после того как она подвергнется нагрузке, превышающей предел ее несущей способности.

Область применения тампонажа. Тампонаж пород почвы следует производить в тот период, когда зона смятия достигла окончательной глубины. В общем случае такие условия имеют место в уже пройденных штреках, в которых производилась хотя бы однократная подрывка почвы, однако процесс пучения почвы еще не прекратился. Кроме того, тампонаж целесообразен в тех штреках, в которых пучение почвы уже прекратилось, но под влиянием запроектированной над- или подработки оно может возобновиться.

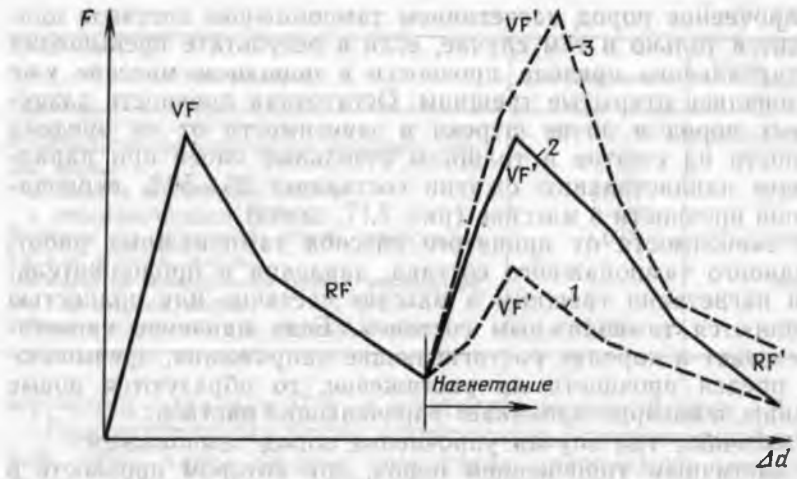


Рис. 7.17. График изменения прочности пород почвы F в зависимости от параллельного напластованию сжатия Δd при различных случаях упрочнения пород:

VF и *VF'* — агрегатная прочность пород в массиве соответственно до и после упрочнения; *RF* и *RF'* — остаточная прочность пород соответственно до и после упрочнения

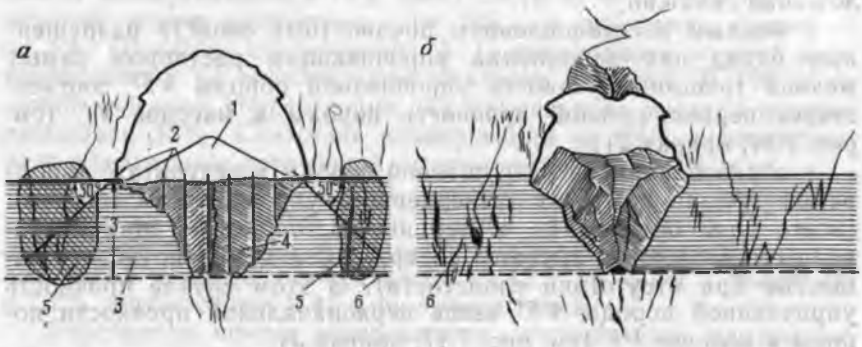


Рис. 7.18. Схемы разрушения породных слоев в почве, упрочненных (*а*) и неупрочненных (*б*) тампонажем:

1 — порода, удаляемая при подрывке почвы; *2* — тампонажные скважины; *3* — зона складкообразования; *4, 5* — соответственно первая и вторая зоны тампонажа; *6* — плоскость скольжения

Схемы разрушения породных слоев в почве штрека и расположения тампонажных скважин приведены на рис. 7.18.

Технология тампонажных работ. Как видно из рис. 7.18, разрыхление породных слоев почвы ограничивается двумя сильно разрушенными зонами. Первой из них является зона смятия и пучения пород, ограниченная плоскостями, проходящими под углом около 68°. Это первая зона тампонажа. Тампонажные скважины бурят перпендикулярно к почве таким образом, чтобы упрочняющий раствор мог проникать в трещины, ограничивающие зону смятия и складкообразования. Бурения до-

полнительных коротких тампонажных скважин под бока выработки не требуется. Если в результате тампонажа первая зона полностью упрочнена, то прочность упрочненного массива VF', как было показано выше, будет соответствовать первоначальной прочности массива VF. Сопротивление пород почвы деформированию является, следовательно, таким же, как непосредственно после проведения штрека.

Другая зона разрыхления находится под боками выработки, где образуются трещины и клиновидные блоки. Здесь находится вторая зона тампонажа. Максимальная ширина зоны образования трещин и клиновидных блоков под боками выработки примерно соответствует 4—5-кратному их сближению.

Известно, что средняя величина сближения боков штреков в шахтах Рурского бассейна равна примерно 14% начальной ширины выработки (50—55 см). Максимальная ширина зоны трещинообразования составляет, таким образом, под обоими боками штрека 2—2,7 м (считая от породного контура). Длина скважин должна соответствовать максимальной ширине зоны трещинообразования. Скважины необходимо бурить под углом около 45° к горизонтали под бока выработки. Если давление нагнетания достаточно высоко, то тампонажный раствор проникает в раскрытые трещины, ограничивающие клиновидные блоки, повышая сопротивление трению по плоскостям этих трещин.

7.3.3. БЕТОННЫЕ СВОДЫ В ПОЧВЕ ВЫРАБОТКИ С ПОДАТЛИВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПЬЮ И БЕЗ НЕЕ

Путем бетонирования почвы выработки в виде обратного свода достигается высокое, равномерно распределенное усилие крепи (рис. 7.19). При дополнительном усилении обратного свода податливой металлической крепью увеличивается остаточное сопротивление пучению почвы. Часть незабетонированного объема углубления в почве заполняется дробленой породой из проходческого забоя. Наличие ее способствует снижению деформирования металлической крепи в обратном своде.

На простом стенде для моделирования в масштабе 1 : 10 (для прочностных характеристик и линейных размеров) испытывали бетонные арки обратного свода, упрочненные и не упрочненные податливой металлической крепью. Целью экспериментов являлось установление:

величины начального сопротивления металлической крепи просадке для обеспечения ее высокой несущей способности, большой податливости при перегрузках и соответственно малой деформируемости;

несущей способности бетонного обратного свода от его толщины бетона в средней части штрека при вертикальной нагрузке, равномерно распределенной на 30% ширины свода;

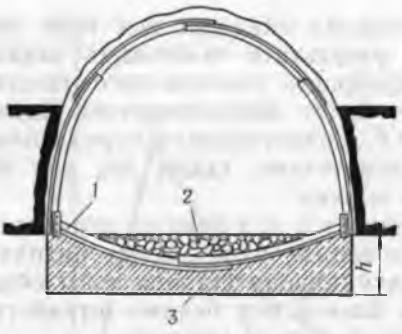
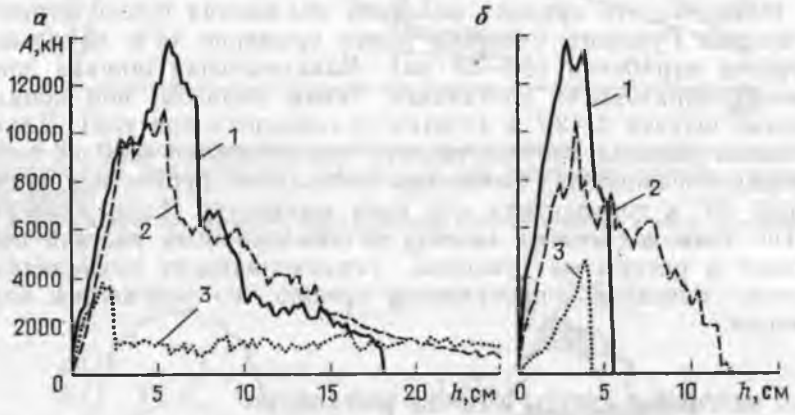


Рис. 7.19. Схема крепления выработки с обратным сводом:

1 — металлическая арка; *2* — дробленая порода; *3* — бетонная постель; *h* — глубина дополнительной подрывки почвы

Рис. 7.20. График изменения несущей способности обратного свода *A* в зависимости от высоты пучения почвы *h* при наличии (*а*) и отсутствии (*б*) усиливающей металлической крепи:

1, *2* и *3* — толщина бетонного свода соответственно 90, 60 и 30 см



несущей способности бетонного обратного свода с усилением и без усиления металлической крепью.

Испытания металлической крепи, состоявшей из двух звеньев, показали, что начальное сопротивление просадке определяет несущую способность, податливость и деформацию. При этом было установлено, что чем выше начальное сопротивление просадке, тем больше несущая способность. В то же время с увеличением начального сопротивления уменьшается податливость и увеличивается деформируемость крепи.

Для условий обратного свода (см. рис. 7.19) оптимальным оказалось начальное сопротивление просадке 150 кН, при котором наблюдались лишь легкие деформации крепи при пучении почвы на 40 см. Поэтому при дальнейших испытаниях бетонного свода, усиленного металлической крепью, сопротивление просадке последней принимали равным 150 кН.

Взаимосвязь между несущей способностью бетонного свода пучением почвы при толщине бетонной постели 30, 60 и 90 см и влияние металлической крепи на остаточную несущую способность характеризуются графиками (рис. 7.20). Предел прочности на сжатие материала бетонного свода составлял 29—35 МПа при сроке твердения 28 дней.

Из графиков (см. рис. 7.20) видно, что:

максимальная несущая способность (и соответственно сопротивление) обратного бетонного свода как с усиливающей металлической крепью, так и без нее практически одинакова. При толщине бетонного свода 30 см она составляла около 10 000 кН (удельное сопротивление 1700 кН/м²), а при толщине 90 см — около 14 000 кН (2300 кН/м²);

остаточная несущая способность бетонного свода с усиливающей податливой металлической крепью значительно увеличивается. В то время как остаточная несущая способность бетонного свода без металлической крепи сразу же резко снизилась после разрушения бетона и уже после пучения почвы на 5—10 см оказалась практически равной нулю, у бетонного свода с усиливающей металлической крепью после разрушения бетона и вплоть до того момента, когда пучение почвы составило 15 см, сохранялась остаточная прочность примерно в 2000 кН (остаточное удельное сопротивление 330 кН/м²);

остаточная несущая способность бетонных сводов толщиной 60 и 90 см с усиливающей металлической крепью была примерно одинаковой, причем при толщине свода 60 см она была даже несколько выше, чем при 90 см. Это можно объяснить различием в характере разрушения бетона в зависимости от толщины свода. При толщине свода 60 см в его средней части образуется излом по плоскости сдвига, при котором обе образующиеся половины свода сохраняют сцепление друг с другом. В результате при дальнейшем пучении почвы бетонный свод сохраняет относительно высокую несущую способность. При толщине бетонного свода 90 см в его середине образуется хрупкий излом, при котором обе половины свода больше не сохраняют связи друг с другом и остаточная несущая способность становится весьма малой. По этой причине и с учетом экономических соображений толщину нижнего бетонного свода не рекомендуется принимать более 60 см.

Сопротивление крепи в таком случае будет по меньшей мере достаточным для восприятия без разрушения нагрузки от пучения почвы на глубине около 1000 м (при двукратном превышении нормального для данной глубины давления).

7.3.4. РАЗГРУЗКА ОТ НАПРЯЖЕНИЙ И УПРОЧНЕНИЕ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТОК

Одной из мер борьбы с пучением почвы является сооружение так называемой постели из предварительно разрушенных взрыванием небольших зарядов ВВ пород почвы с последующим упрочнением их цементированием. Указанный способ был впервые предложен и с успехом опробован на практике советскими специалистами. Такую постель на необходимую глубину образуют при проведении выработки. Часть разрыхленных взрывом

пород убирается до уровня почвы выработки, а остальная часть упрочняется цементным раствором.

Принцип действия подобной постели из предварительно разгруженных и затем упрочненных пород можно описать следующим образом. При взрывании полностью разрушается слоистая структура пород почвы. При последующем цементировании разрыхленных пород образуется постель из породы типа конгломератов. Под действием горизонтальных напряжений она разрушается с образованием изломов по плоскостям среза и хрупкого разрушения и выдавливается в выработку монолитными блоками. Если трещины образуются только в форме изломов по плоскостям среза, то взаимное смещение блоков происходит в форме пологого надвига, характеризующегося меньшим пучением почвы, чем при образовании складок в слоях. Кроме того, прочность конгломерата при достаточно большом содержании цементирующего вещества выше, чем слоистой породы.

Эксперименты на моделях показали, что путем выбора геометрических параметров защитной постели (ее толщины и угла наклона боковых плоскостей) можно обеспечить:

существенное уменьшение конвергенции выработки, но при разрушенной по плоскостям среза защитной постели;

небольшое уменьшение конвергенции, но при благоприятной для эксплуатации выработки неразрушенной защитной постели, которая выдавливается в полость выработки как единое целое.

Если создание защитной постели преследует цель уменьшить конвергенцию выработки, то должны быть учтены следующие положения:

путем взрывания шпуровых зарядов породы в почве выработки должны быть разрыхлены до глубины, соответствующей не менее трем четвертям ожидаемой глубины смятия в складки породных слоев;

для предупреждения выдавливания защитной постели в полость выработки наклон ее стенок не должен превышать величины угла трения на поверхности раздела сцементированной защитной постели и породного массива. Этот угол трения может составлять 45—50° (что соответствует коэффициенту трения по поверхности раздела $\mu = 1 \div 1{,}2$). Если толщина постели принимается равной полной глубине пучения, то угол наклона стенок постели 50—55° (по отношению к горизонтали) будет вполне достаточным для предотвращения выдавливания постели.

Если ставится задача сохранить ровную почву выработки, то необходимо учитывать следующее:

породы почвы должны быть разрыхлены шпуровыми зарядами только до половины полной глубины пучения;

для обеспечения выдавливания защитной постели в полость выработки в неразрушенном состоянии углы наклона ее боко-

вых стенок должны быть меньше угла трения по плоскости, отделяющей постель от породного массива.

В обоих случаях расположение шпуров и величина зарядов в них должны быть такими, чтобы породы почвы не только разделились по плоскостям наслоения, но и были полностью разрыхлены.

7.3.5. УСТРОЙСТВО РАЗГРУЗОЧНЫХ ЩЕЛЕЙ

В штреке, пройденном по пологому пласту, его высота определяет толщину породных слоев, пересеченных контуром выработки. В штреке с разгрузочной щелью толщина подрезанных породных слоев увеличивается на глубину щели.

Благодаря устройству щели в почве штрека горизонтальные напряжения на нижнем контуре выработки перемещаются в глубину массива. Прорезанные щелью породные слои почвы разгружаются от горизонтальных напряжений, а зона возможного смятия пород перемещается на большую глубину. В зоне породных слоев, прорезанных контуром выработки и щелью, вследствие вертикальных напряжений происходит взаимное сближение боков выработки и смыкание стенок разгрузочной щели.

Пучение пород почвы, прорезанных разгрузочной щелью, может происходить тогда, когда породные слои, расположенные ниже разгрузочной щели, сминаются под действием горизонтальных напряжений и приподнимают прорезанный щелью породный блок, а также в случае закрытия разгрузочной щели при растрескивании породного массива.

Вполне понятно, что необходимо предупреждать смятие и выпучивание породных слоев почвы, находящихся ниже разгрузочной щели, поскольку в противном случае разгрузка почвы теряет смысл.

Возможность взламывания пород почвы под щелью зависит только от глубины последней. Как видно из рис. 7.21, в зависимости от глубины щели необходимо различать два случая:

первый — глубина щели b меньше расстояния a между щелью и боком выработки, $a:b>1$;

второй — глубина щели b больше расстояния a, $a:b<1$.

Если сравнить прорезанный щелью породный блок с балкой, на которую снизу действует сила p (усилие, с которым вспучивающиеся породные слои почвы давят на подрезанный породный блок), то в первом случае при $a:b>1$ она будет испытывать напряжения от изгиба. Сопротивление балки изгибу в этом случае незначительное, так что достаточно небольшого усилия p, чтобы такая балка прогнулась.

Во втором случае при $a:b<1$ подрезанный породный блок подвергается нагрузке не на изгиб, а на срез. Усилие p, требуемое для поднятия подрезанного породного блока при глубине щели $b=3{,}5$ м и пределе прочности пород на срез 5 МПа,

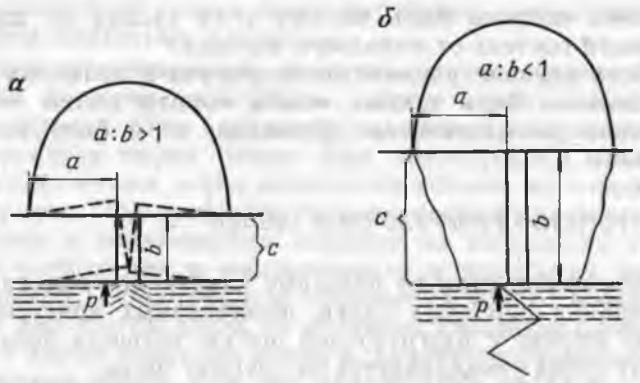


Рис. 7.21. Схемы, поясняющие характер взламывания почвы в зависимости от глубины разгрузочной щели:
а — породная консоль подвергается изгибу; *б* — породная балка подвергается срезу

равно примерно 12 МН на 1 м штрека. При $a=3$ м оно соответствует давлению около 4 МПа. Это давление соответствует, таким образом, тому сопротивлению, которое оказывает подрезанный породный блок выдавливанию находящихся под ним породных слоев. При столь высоком сопротивлении поднятие породных слоев под щелью невозможно даже при весьма высоких горизонтальных напряжениях. Сопротивление подрезанного породного блока с соотношением сторон $a:b<1$ может быть значительно увеличено, если щель будет заполнена податливым материалом. При пределе прочности материала на раздавливание $\sigma=10$ МПа сопротивление прорезанной почвы выдавливанию нижележащих слоев возрастает в три раза.

Заполнение щели представляется целесообразным также по условиям безопасности и по фактору скопления воды на почве выработки. Идеальный заполнитель — материал, обладающий такой же податливостью под действием нагрузки, что и гидравлическая стойка: высокое начальное сопротивление, а при дальнейшем нарастании нагрузки неуменьшающееся сопротивление деформации. Материалом с такими свойствами может быть, например, вспененный полиуретан, применяемый в шахтах для упрочнения пород.

Для того чтобы при соответствующих нагрузках вместо разрушения почвы происходило закрытие щели, прочность материала заполнителя должна быть меньше агрегатной прочности породных слоев почвы на 30—50%. Рекомендуемая ширина заполняемой щели в мягких породах — менее 20—30 см, в крепких породах — не более 20—30 см.

С точки зрения механики горных пород область применения способа разгрузочных щелей не ограничивается. Если же принять во внимание то обстоятельство, что с увеличением прочности пород производительность щеленарезных машин снижается и что в достаточно прочных породах прорезание щелей

вообще невозможно или же связано с непомерно высокими расходами, то область применения разгрузочных щелей ограничивается породами от небольшой до средней прочности (с условным показателем прочности *GL* выше 2).

7.3.6. АНКЕРОВАНИЕ ПОЧВЫ В СОЧЕТАНИИ С ОБРАЗОВАНИЕМ РАЗГРУЗОЧНЫХ ЩЕЛЕЙ

При комбинированном применении анкеров и разгрузочных щелей в почве выработки (в подземных условиях еще не опробовалось) деформация массива, которая должна происходить после смыкания щели, благодаря скреплению породных слоев анкерами существенно уменьшается или вообще не проявляется.

Действие комбинированного применения анкерования почвы и ее прорезки щелями на конвергенцию штрека исследовалось на модели с высокой агрегатной прочностью массива. В качестве мер по предотвращению выдавливания боков выработки и опускания кровли предусматривалось прорезание щелей и анкерование угольного массива и кровли штрека. Щели прорезали глубиной 3,5 м и шириной 25 см, после чего их заполняли пенополиуретаном с пределом прочности на сжатие 10 МПа. При анкеровании использовались сталеполимерные анкеры, закрепляемые по всей длине шпура глубиной 3,5 м. Хвостовики анкеров были заглублены на 0,45 и 0,5 м по отношению к контуру выработки. Разрывная прочность анкерных штанг составляла 60 кН, средняя плотность анкерования — 1,5 анкера/м^2.

В модели с неупрочненным приконтурным массивом под воздействием давления, соответствовавшего глубине 800—1000 м, почва штрека была взломана и приподнята с образованием трех плоскостей разлома. В связи с большой прочностью пород трещины хрупкого излома оставались открытыми. Крепь штрека еще не была деформирована. При давлении, соответствовавшем глубине 1200 м, почва штрека подверглась значительному пучению, угольные стенки были выдавлены в штрек, а в кровле началось смятие породных слоев с образованием складки с круглыми очертаниями — сплошной или с одной плоскостью разлома.

В модели с прорезанными щелями и заанкерованным породным контуром при давлении, соответствовавшем глубине до 1400 м, образование трещин, оконтуривающих выдавливающиеся в полость штрека клиновидные блоки пород, было незначительным. Крепь не деформировалась. На глубине 1400 м податливость материала, заполнявшего щели, была исчерпана. Поэтому при дальнейшем увеличении давления начали проявляться деформации приконтурного массива и крепи, выражавшиеся в смятии породных слоев почвы с образованием круглой складки с многочисленными плоскостями разлома, появлении в кровле признаков небольшой острой складки с тремя плоско-

стями разлома, небольшом выдавливании угольных стенок, обусловившем незначительные деформации ножек арочных рам.

Результаты проведенных исследований показали, что образование разгрузочных щелей в сочетании с анкерованием обеспечивает значительное уменьшение конвергенции штрека и существенное ослабление деформирования породного массива. Хорошее состояние приконтурного массива и крепи штрека на глубине до 1400 м объясняется действием заполненных податливым материалом щелей, а на глубине 1400—1600 м — упрочнением анкерами почвы, боков и кровли штрека. Благодаря анкерованию породные слои почвы подверглись лишь незначительному смятию с образованием круглой складки, связанной со значительно меньшим поднятием почвы, чем в модели с незаанкерованной почвой.

Количественная оценка результатов моделирования возможна с помощью характеристики «давление — конвергенция» и показателя интенсивности конвергенции.

В базовой модели (без прорезки щелями и без анкерования приконтурного массива) давление, при котором произошел разлом почвы, соответствовало примерно глубине 800 м. Интенсивность конвергенции выразилась в уменьшении начальной высоты штрека на 37% при увеличении давления на 10 МПа.

На модели с прорезанными щелями и заанкерованным приконтурным массивом смятие породных слоев почвы произошло лишь при давлении, соответствовавшем глубине 1450 м, т. е. в 1,75 раза большей глубине, чем в первом случае. Интенсивность конвергенции составляла всего лишь 5% на 10 МПа, т. е. была примерно в 20 раз меньше, чем в базовой модели. После смыкания щели и соответственно исчерпания податливости заполняющего щель материала за счет действия анкеров, главным образом в почве штрека, удалось добиться значительного уменьшения конвергенции выработки. Интенсивность конвергенции увеличилась после разлома породных слоев почвы до 13% на 10 МПа. Таким образом, благодаря анкерованию приконтурного массива удалось снизить конвергенцию примерно на 65%.

7.4. АНКЕРНАЯ КРЕПЬ В ВЫРАБОТКАХ С АРОЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

7.4.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РАСЧЕТЫ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Если в дальнейшем будет говориться об анкерной крепи как о самостоятельной крепи в выработках с арочной (сводчатой) формой поперечного сечения, то будет подразумеваться комбинированная крепь, состоящая из сталеполимерных анкеров и затяжки из металлической проволочной сетки. Имеются три причины, по которым сталеполимерные анкеры с закреплением

по всей длине шпура следует предпочесть анкерам с распорными замками. Последние воспринимают нагрузку через опорную плиту, которая вместе с нарезным хвостовиком анкерной штанги является наиболее слабым местом анкерной крепи. В сталеполимерных анкерах, закрепляемых по всей длине шпура, нагрузка от породного массива передается через затвердевший цементирующий материал непосредственно на анкерную штангу и притом вблизи того места, где в результате деформации пород возникли усилия, которые должны восприниматься анкером. В таких местах увеличивающейся деформации пород противодействует возрастающее сопротивление анкера. Поэтому при использовании сталеполимерных анкеров с закреплением по всей длине скважины агрегатная прочность породного массива увеличивается во всех случаях в намного большей степени, чем при применении анкеров с закреплением в части скважины, к которым относятся замковые анкеры. Опорные плиты сталеполимерных анкеров служат вначале лишь для крепления затяжки. Сталеполимерные анкеры при небольшой деформации приконтурного массива работают достаточно эффективно и без опорных плит. Лишь на более поздней стадии деформации выработки опорные плиты начинают оказывать сопротивление смещению породного контура.

Для того чтобы можно было передать деформирующее контур выработки усилие через анкерную штангу и опорную плиту породному массиву, штанга замкового анкера должна обладать достаточным предварительным натяжением на участке между расклиненным в донной части шпура замком и опорной плитой. Если такое предварительное натяжение анкера невозможно или недостаточно, применение замковой анкерной крепи теряет смысл. Замеры в забое одной из подготовительных выработок, проводившейся буровзрывным способом и крепившейся анкерами, показали, что требуемый и имевшийся вначале момент предварительного натяжения в 97% анкеров, установленных на длине заходки, после первого же очередного цикла взрывания уменьшился наполовину. После того как в этих анкерах натяжные гайки были подтянуты до предписанного уровня предварительного натяжения, при втором и третьем очередных взрываниях в забое 14% всех анкеров снова оказались незатянутыми. Таким образом, уже при самой незначительной деформации стенок шпура в месте закрепления распорного замка, при разрушении породы под опорной плитой или при нагревании анкерная штанга теряет предварительное натяжение. В то же время анкеры, закрепляемые по всей длине скважины, выполняют свои функции без предварительного натяжения и не требуют контроля.

И, наконец, анкеры распорного типа обладают тем недостатком, что они при определенном взаимном смещении слоистых пород теряют первоначальное натяжение. Хвостовик анкерной штанги выходит из устья шпура. Подобное сдвижение

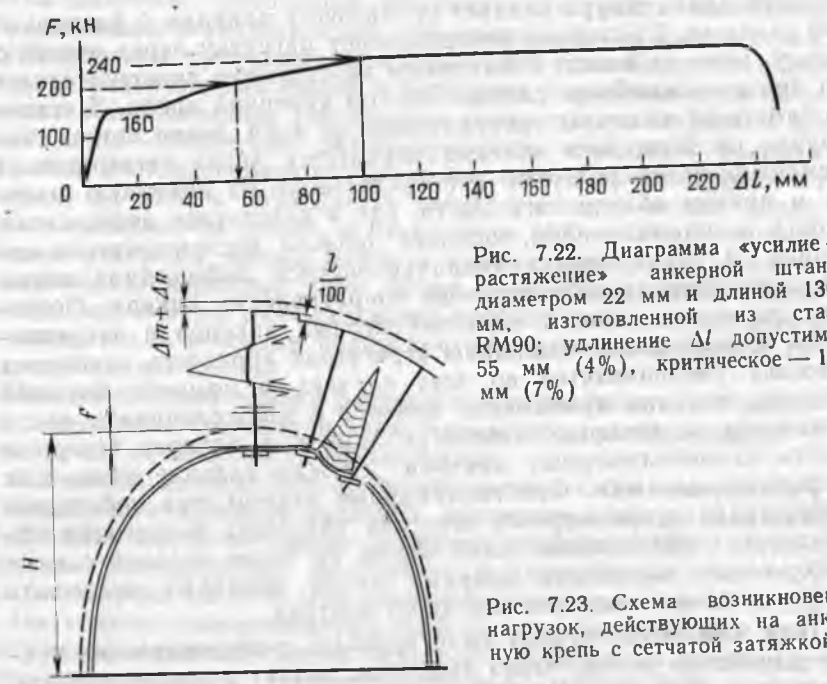


Рис. 7.22. Диаграмма «усилие — растяжение» анкерной штанги диаметром 22 мм и длиной 1360 мм, изготовленной из стали RM90; удлинение Δl допустимое 55 мм (4%), критическое — 100 мм (7%)

Рис. 7.23. Схема возникновения нагрузок, действующих на анкерную крепь с сетчатой затяжкой

пород кровли происходит, например, под примыкающим к лаве боком штрека после прохода лавы вследствие опускания пород кровли над выработанным пространством. Анкер с закреплением по всей длине скважины оказывает достаточно высокое сопротивление подобным сдвижением в самой начальной стадии, т. е. в тот момент, когда на деформирование приконтурного массива еще можно повлиять. Анкеры же распорного типа, особенно с клинощелевым распорным устройством, в этом отношении малоэффективны. Поэтому с точки зрения механики горных пород и условий безопасности ведения горных работ применение анкеров, закрепляемых по всей длине шпура, намного предпочтительнее использования анкеров с закреплением в донной части шпура, особенно клинощелевых.

Область применения анкерной крепи. Металлические анкерные штанги в обычном исполнении обладают ограниченным допустимым удлинением. Из диаграммы «усилие — растяжение» (рис. 7.22) можно видеть, каким может быть допустимое удлинение анкерной штанги. Оно должно быть таким, чтобы при дальнейшем растяжении штанги несущая способность анкера увеличивалась. Подобный запас прочности и надежности обеспечивается в том случае, если растягивающее усилие вызывает в анкерной штанге напряжения, находящиеся между пределом текучести и пределом прочности. Такое усилие соответствует допустимому удлинению анкера, составляющему в данном случае 4% (см. рис. 7.22). Пологая ветвь характеристики, на которой дальнейшее растяжение штанги происходит без увеличения нагрузки на анкер, начинается при удлинении штанги на 100 мм, т. е. при относительном удлинении 7%. Такое растяжение можно рассматривать как критическое.

На рис. 7.23 показаны два вида нагрузок, которым подвергается анкерная крепь с сетчатой затяжкой. Первый из них наблюдается при смещении заанкерованного приконтурного массива в результате образования направленных под острым углом к касательным контура выработки плоскостей сдвига, а также трещин хрупкого излома. При таком виде деформации приконтурного массива анкерные штанги подвергаются значительным нагрузкам, тогда как опорные плиты почти не нагружаются. Другой вид деформации приконтурного массива связан с сокращением периметра выработки, сопровождавшимся выдавливанием пород между анкерами. Подобный вид нагрузки анкерной крепи наблюдается в штреках на пологих пластах, где прорезанные контуром выработки породные слои соприкасаются по касательной со сводчатой кровлей штрека. При склонной к выдавливанию или очень мягкой породе растяжение штанг в экстремальном случае может быть равным нулю. При этом сетчатая затяжка кровли будет воздействовать на опорные плиты анкеров, которые, перекашиваясь, нагружают резьбовые хвостовики анкерных штанг. При небольших размерах опорных плит они продавливаются через сетчатую затяжку, а в неблагоприятном случае даже прорезают ее. При опорных плитах с большой поверхностью резьбовые хвостовики анкеров под действием изгибающих нагрузок могут быть срезаны. В обоих случаях происходит разрыв сетчатой затяжки с последующим высыпанием через него разрушенных пород.

Практика подземных горных работ показывает, что допустимое смещение закрепленного анкерами приконтурного породного массива при принятой в настоящее время длине анкеров (0,35—0,4 ширины выработки) может быть равным допустимому удлинению анкерной штанги. Если смещение приконтурного породного массива, особенно в кровле, превысит указанной выше критическую величину удлинения анкерной штанги, то кровля не будет уже полностью управляемой.

Относительное опускание кровли F в штреке с анкерной крепью, пройденном по пологому пласту, складывается из величины расслоения заанкерованного приконтурного породного массива в кровле штрека и величины оседания пород. Поэтому его можно рассчитать по формуле

$$F = \frac{1}{H}\left(\frac{dl}{H} + \Delta m + \Delta n\right),$$

где H — высота штрека, d — относительное удлинение анкера, %; l — длина анкера, Δm — расслоение слоев кровли в за-

анкерованном приконтурном массиве, Δn — податливость боков штрека.

Ниже приводится формула, с помощью которой можно оценить допустимую или соответственно критическую конвергенцию, но пока что только для выемочных штреков. В выемочных штреках податливостью боковых стенок Δn можно пренебречь, если с обеих сторон выработки находится угольный массив и на штрек не действует высокое вертикальное давление, вызванное, например, влиянием краевой части соседнего пласта, а также если при одностороннем выработанном пространстве штрек охраняется околоштрековой полосой, выложенной из материала с быстрым восприятием нагрузки. При таких условиях конвергенция K, слагающаяся из относительного опускания кровли F и относительного поднятия почвы S, при расслоении заанкерованного приконтурного массива на dl

$$K = \frac{dl/100}{H\,(1 - S/K - \Delta m/HK)}.$$

В этом выражении S/K представляет собой долю относительного поднятия почвы в общей конвергенции штрека. В соответствии с результатами производственных наблюдений в штреках с арочной формой поперечного сечения она в зависимости от условного показателя прочности пород почвы GL равна:

GL	1	2	3	4	5	6
S/K	0,5	0,62	0,7	0,71	0,73	0,73

Зона расслоения и разрыхления породных слоев над заанкерованным приконтурным массивом распространяется на высоту, примерно равную ширине штрека B. Поэтому величина $B-l$ соответствует мощности породных слоев над заанкерованной зоной, затронутых нормальным к напластованию расширением. Относительное расширение этих слоев вследствие высокой реакции отпора заанкерованного приконтурного массива меньше, чем в заанкерованной зоне. Оно пропорционально разрыхлению заанкерованных слоев (при отсутствии плоскостей скольжения) и обратно пропорционально толщине заанкерованной зоны. Таким образом, ориентировочно

$$\Delta m/KH \cong (B - l)\,dp/100l,$$

где p — коэффициент пропорциональности, зависящий от структуры непосредственной кровли пласта (при наличии в породах кровли на расстоянии B от верхнего контура штрека плоскости скольжения или угольного пласта, $p=0$, при отсутствии подобного ослабления породного массива $p=1$).

При помощи эмпирической формулы для определения K можно рассчитать две величины конвергенции. Первой из них является допустимая конвергенция, которая при применяемой в шахтах Рурского бассейна анкерной стали соответствует пре-

дельно допустимому расширению заанкерованного приконтурного массива 4%. Вторая величина — это критическая конвергенция, при которой приконтурный породный массив перестает быть управляемым. Такая конвергенция соответствует расширению приконтурного массива на 7%. Правильность приведенной выше формулы была проверена на примере двух выемочных штреков по пластам F и «Маузегатт» на участках, на которых вследствие влияния краевых частей по вышележащим пластам конвергенция достигла расчетной критической величины или превысила ее [1]. В обоих случаях на соответствующих участках штреков после превышения в них расчетных критических значений конвергенции кровля стала неуправляемой. Формула хорошо согласуется с данными шахтных наблюдений. Однако ее следует уточнить путем сопоставления с результатами дальнейших наблюдений.

Для того чтобы установить, можно ли в данном выемочном штреке применить анкерную крепь, должна быть известна также и ожидаемая конвергенция. Ее можно определить по результатам производственных наблюдений за состоянием выемочных штреков [8, 28, 29, 30]. Эта ожидаемая конечная конвергенция не должна быть больше критической, если данный выемочный штрек должен крепиться только анкерами (при современной технологии анкерования).

Для всех других видов горных выработок, для которых ожидаемую конечную конвергенцию пока еще нельзя определить с достаточной надежностью, при установлении возможности применения анкерной крепи в качестве самостоятельной следует исходить из того, что выработки должны находиться вне зон влияния краевых частей по соседним пластам и над ними на высоту до 5 м не должны залегать угольные пласты. Кроме того, во всех пластовых выработках с арочной формой поперечного сечения верхняя половина контура не должна пересекать угольный пласт, так как из-за частого отслаивания угля придать сечению выработки правильную арочную форму, как правило, невозможно. И, наконец, породы кровли должны быть такими, чтобы они допускали бурение анкерных шпуров и установку анкеров, состояли из слоев толщиной не менее 0,2 м, не теряли первоначальной прочности под влиянием влаги и позволяли придавать выработке арочную форму поперечного сечения. Все эти ограничения по применению анкерной крепи можно считать предварительными. Они должны служить для того, чтобы отбирать выработки, пригодные для закрепления анкерами. В дальнейшем, по мере накопления практического опыта и совершенствования технологии анкерного крепления указанные критерии применимости будут несомненно уточнены.

Устойчивость выработок, закрепленных анкерами. Анкеры вместе с заанкерованными породами приконтурного массива образуют несущую конструкцию в виде свода или кольца. Но о несущей конструкции можно говорить лишь до тех пор, пока

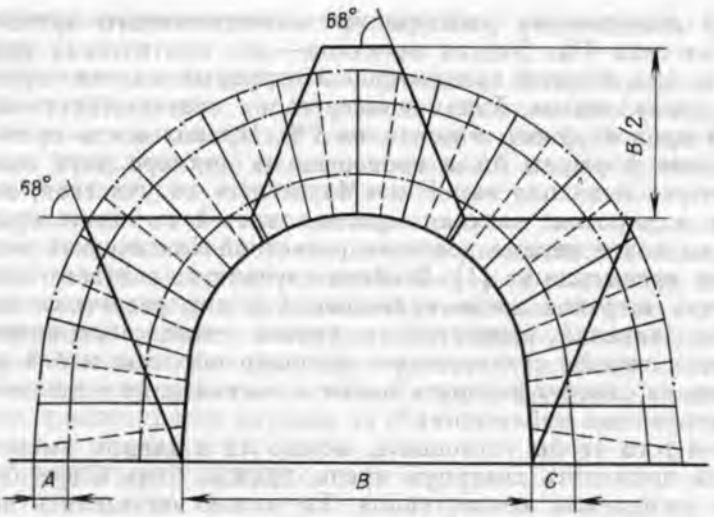


Рис. 7.24. Схема образования крупных отделенных от массива породных блоков породы в кровле и боках штрека, проведенного по пологому пласту:

A — минимальная длина закрепления анкеров в ненарушенном породном массиве; *B* — ширина выработки; *C* — минимальная длина пересечения анкерами удерживаемых породых блоков

в ней не разрушился хотя бы один элемент. Анкеры, кроме предупреждения радиального расширения приконтурного массива, должны выполнять и другую задачу — противодействовать взаимному смещению разделенных трещинами породных блоков, которые уже не могут удерживаться в массиве силами трения [10]. В породных слоях над кровлей штрека такие блоки образуются кососекущими плоскостями разделения, которые расположены по отношению к параллельным напластованию главным напряжениям под углом, превышающим предельный угол равновесия (рис. 7.24). При минимальном коэффициенте трения $\mu=0{,}4$, определенном экспериментально на нормальных к напластованию и кососекущих трещинах, блоки пород, которые не могут удерживаться в массиве силами трения, ограничены поверхностями излома, проходящими под углом не более 70° к направлению слоистости. В расслоенном пологозалегающем породном массиве уже после незначительной деформации главные напряжения в породах над кровлей штрека будут иметь параллельное напластованию направление.

Неблагоприятным породным блоком является тот, у которого кососекущие граничные поверхности соприкасаются по касательной с арочным контуром выработки. При наблюдениях на погашаемых участках выработок и в местах вывалов пород установлено, что высота вывалов над кровлей штреков с арочной формой поперечного сечения, пройденных по пологим пла-

стам, не превышает половины ширины выработки. Знание размеров подобных блоков позволяет получать представление о реальном характере и величине нагрузок, действующих на анкерную крепь.

В боках выработки также могут образовываться отделенные от массива породные блоки, которые требуется предохранять анкерной крепью от сползания в полость штрека. Кососекущие плоскости, отделяющие эти блоки от массива, согласно наблюдениям в шахтах и на моделях, наклонены к плоскостям слоистости под углом не более 70°. В указанном случае величина коэффициента трения μ, определенная экспериментальным путем, равна 0,4.

При расчетах надежности анкерной крепи учитываются только те анкеры, которые закреплены в приконтурном массиве за пределами клиновидного блока на длине не менее 0,5 м и пересекают подобный блок на длине не менее 0,6 м. Указанные минимальные величины закрепления анкеров в ненарушенных породах и пересечения зависающих блоков справедливы для анкерных штанг с разрывной нагрузкой 247 кН. При расчетах надежности анкерной крепи проверяется также возможность при выбранной схеме расположения анкеров предупреждать обрушение также и менее крупных породных блоков, потерявших связь с массивом. Коэффициент запаса для усилий, с которыми должны удерживаться как максимально крупные, так и мелкие породные блоки, должен быть не менее 1,5.

Так как на практике анкеры устанавливаются с небольшим начальным натяжением, при всех расчетах принимается не случай статического нагружения, а так называемая «динамическая нагрузка при падении тела с нулевой высоты». Поэтому нагрузку на анкер определяют исходя из удвоенной статической массы поддерживаемого породного блока. Поскольку неблагоприятные в отношении поддержания штрека породные блоки могут образовываться при любой прочности породного массива, необходима проверка расчетов для конкретных случаев строения пологозалегающих породных массивов. Возможность применения анкерной крепи в качестве самостоятельной в той или иной выработке должна устанавливаться в первую очередь по рассмотренным выше критериям.

Оптимизация паспортов крепления. Расходы на крепление зависят в основном от формы поперечного сечения выработки и его площади, параметров бурового оборудования (например, максимально возможной длины анкерного шпура l), расположения анкеров (например, расстояния между рядами анкеров r и между анкерами в ряду a), нагрузки, выдерживаемой анкерной штангой до достижения предела прочности и текучести материала, а также параметров сетчатой затяжки. Путем варьирования указанных показателей можно разработать большое число отличающихся друг от друга, но одинаково надежных паспортов крепления анкерами.

Таблица 7.8

Расстояние между анкерами в ряду a, м	Длина анкерной скважины l, м	Расстояние между рядами анкеров r, м	Плотность анкерной крепи, анкер/м^2	Число анкеров на 1 м длины штрека	Коэффициент запаса
0,6	2,8	1,05	1,43	16,66	1,53
	2,3	1,05	1,43	16,66	1,53
	2,2	1,05	1,43	16,66	1,53
	2,1	0,7	2,15	25	1,49
	1,8	0,7	2,15	25	1,49
0,8	2,8	1,05	1,11	12,86	1,53
	2,4	1,05	1,11	12,86	1,53
	2,3	0,7	1	19,29	1,47
	1,8	0,7	1,66	12,29	1,47
1	2,8	0,7	1,29	15	1,51
	2,3	0,7	1,29	15	1,51
	2,1	0,7	1,29	15	1,51

Все необходимые расчеты производятся с помощью разработанной лабораторией рудничной крепи и механики горных пород института «Бергбау-форшунг» машинной программы. Примером использования этой программы служат данные табл. 7.8, в которой приведены результаты расчетов параметров паспортов крепления анкерами, обеспечивающих устойчивость выработки с площадью поперечного сечения 20,7 м^2 арочной формы.

При расчетах независимыми переменными служили расстояние между анкерами в ряду a и длина анкерной скважины l (длина закрепления анкера в скважине) при прочности анкерных штанг на разрыв 247 кН. В каждом втором ряду предусмотрено смещение анкеров на расстояние, равное половине a, по отношению к предыдущему и последующему анкерным рядам.

Из данных табл. 7.8 видно, что наименьшее требуемое число анкеров на 1 м длины выработки обеспечивается при расстоянии между анкерами в ряду $a=0{,}8$ м, длине анкерных штанг $l=2{,}4$ м и расстоянии между рядами анкеров $r=1{,}05$ м. Однако эти параметры из-за технологических ограничений в большинстве случаев не могут быть использованы. В данном случае длина анкерной штанги, закрепляемой на всю глубину шпура, не могла быть принятой более 21 мм. Следовательно, по технологическим соображениям предпочтительнее паспорт $a=1$ м, $l=2{,}1$ м и $r=0{,}7$ м, предусматривающий установку 15 анкеров на 1 м длины выработки. Он обеспечивает оптимальный расход материалов на крепление, но не дает гарантии тому, что не будут превышены величины определенных выше допустимых конвергенции и расширения приконтурного породного массива.

Контроль за работой анкерной крепи. Фактическая конвергенция и расширение заанкерованного приконтурного породного массива должны непрерывно контролироваться, чтобы в слу-

чае необходимости можно было принять своевременные меры по усилению крепи. При контроле за состоянием заанкерованного приконтурного массива вполне оправдали себя контрольные анкеры, закрепляемые лишь в глубине шпура при несколько большей длине анкерной штанги, чем у нормальных анкеров. В устье шпура контрольного анкера полимерным составом закрепляется трубчатая гильза. По выходящему из шпура хвостовику контрольного анкера, обклеенному блестящей фольгой с нанесенными на ней сантиметровыми делениями, можно, не производя дополнительных измерений, установить, превышен ли предел растяжения анкерной штанги 4%. Если допустимый предел удлинения анкерной штанги достигнут и можно ожидать, что материал анкерных штанг подвергнется напряжениям, соответствующим пределу текучести, то необходимы дополнительные мероприятия по усилению крепи (установка поддерживающей крепи и дополнительных анкеров). Согласно практическому опыту контрольные анкеры целесообразно устанавливать с интервалом в 20 м.

7.4.2. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АНКЕРНОЙ КРЕПИ В ВЫРАБОТКАХ С АРОЧНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Методика Х. О. Лютгендорфа. При анкерном креплении образуется несущий свод, состоящий из приконтурного породного массива и работающих на растяжение радиально расположенных анкерных штанг.

Эффективная толщина подобного комбинированного несущего свода примерно равна длине анкеров l за вычетом расстояния между анкерами e:

$$d = l - e.$$

В пределах породного слоя толщиной d действующие на анкерные штанги растягивающие усилия A создают примерно равномерно распределенное радиальное давление

$$\sigma_r = A/e^2.$$

Несущая способность массива возрастает на величину $\Delta\sigma_1$ в направлении, перпендикулярном к направлению наименьшего главного сопряжения, вызванного дополнительным напряжением сжатия,

$$\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_r;$$

$$\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3 = a_1\sigma_r.$$

При анкерном креплении массива тангенциальное напряжение возрастает на величину $\Delta\sigma_t$, если радиальное напряжение повышается на $\Delta\sigma_r$, а именно в a_1 раз

$$a_1 = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \rho/2).$$

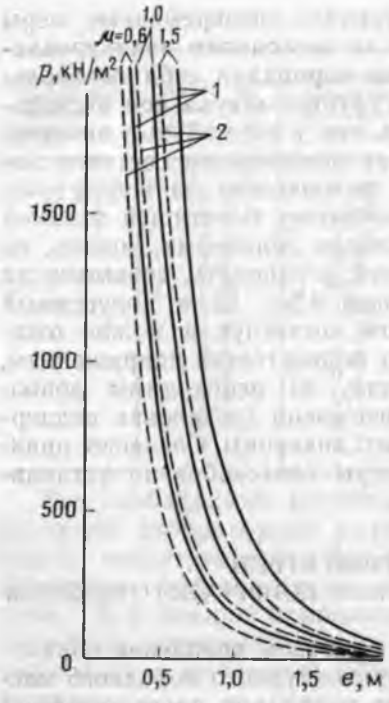
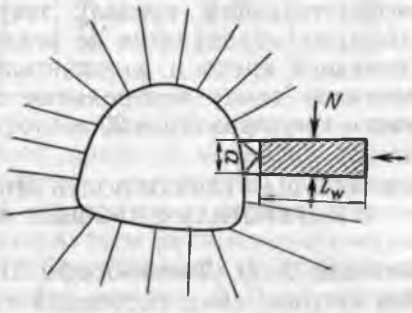


Рис. 7.25. График изменения несущей способности анкерной крепи p в зависимости от расстояния между анкерами e длиной $l=2{,}5$ м при их установке с усилием натяжения A 180 кН (*1*) и 120 кН (*2*)

Рис. 7.26. Схема, поясняющая порядок расчета несущего кольца в приконтурном массиве



В неразрушенном породном массиве ρ является углом внутреннего трения, а в разрушенном — углом трения по плоскостям среза.

Дополнительное поддерживающее усилие, действующее в комбинированном своде благодаря скреплению его анкерами, находится из выражения

$$N=\frac{a_1 A}{e^2}(l-e).$$

Дополнительное сопротивление p на эффективном внешнем радиусе r_a комбинированного несущего свода, равного

$$r_a=r_0+l-e/2,$$

определяется по формуле

$$p=\frac{N}{r_a}=\frac{a_1 A}{e^2}\,\frac{l-e}{r_0+l-e/2}.$$

На графике (рис. 7.25) приведены характеристики несущей способности анкерной крепи p при натяжении анкеров усилием 180 и 120 кН, $r_0=4$ м для четырех различных расстояний между анкерами e и трех значений коэффициента трения μ. Несущая способность анкерной крепи зависит от коэффициента трения μ пород массива, усилия натяжения анкеров A, расстояния

между анкерами e и внутреннего радиуса анкеруемой зоны r_0.

В малопрочном породном массиве при μ, равном 0,6 и 1, сопротивление анкерной крепи может достигать 100—280 кН/м² при расстоянии между анкерами 1 м. С уменьшением этого расстояния до 0,8 м сопротивление анкерной крепи возрастает до 200—500 кН/м².

Дело в том, что в малопрочном породном массиве, несмотря на анкерование, образуются изломы по плоскостям сдвига. Дополнительная несущая способность породного свода, вызванная действием анкеров, определяется поэтому коэффициентом трения по плоскостям сдвига, который остается меньше величины $\mu=1$.

Собственная несущая способность приконтурного массива невелика, поскольку она определяется остаточной прочностью на сжатие, имеющей место при переходе пород во вторую стадию деформирования, т. е. сопротивлением деформациям сдвига. В пределах эффективной толщи заанкерованного приконтурного массива его собственная несущая способность, обусловленная остаточной прочностью пород на сжатие, соответствует примерно 100—200 кН/м².

В неразрушенном массиве, т. е. в массиве, находящемся в первой стадии деформирования, коэффициенты трения могут доходить до $\mu=1{,}5$ и выше. Поэтому анкерная крепь может развивать в неразрушенных породах более высокое дополнительное сопротивление (см. рис. 7.25).

Если несущая способность заанкерованного приконтурного массива недостаточна и в породах образуются изломы по плоскостям сдвига, то с уменьшением коэффициента трения весьма значительно снижается дополнительное сопротивление анкерной крепи. Одновременно уменьшается до остаточной величины агрегатная прочность на сжатие породного массива в приконтурной зоне. Породы переходят во вторую стадию деформирования, площадь поперечного сечения выработки значительно уменьшается, анкеры удлиняются. Способность анкеров к удлинению должна в этом случае быть приспособлена к деформированию приконтурного массива.

Во второй стадии деформирования пород эффективность анкерной крепи уменьшается. Различие в эффективности действия анкерной крепи соответствует различию между коэффициентами трения по плоскостям сдвига в разрушенном массиве и коэффициента внутреннего трения в ненарушенном породном массиве.

В породах средней прочности при правильно выбранных параметрах анкерной крепи можно поддерживать приконтурный массив в состоянии первой стадии деформирования, т. е. предупредить появление изломов по плоскостям сдвига.

В породах с большим внутренним трением и достаточно высокой прочностью на сжатие применение анкерной крепи экономически особенно эффективно. Если существует опасность,

что породы под воздействием влажного шахтного воздуха станут менее прочными, рекомендуется применять анкерную крепь в сочетании с торкретированием.

При совместном использовании нескольких видов крепи их сопротивление может суммироваться при условии согласования деформационных характеристик крепей.

Методика О. Натау и В. Ляйхница. Исходным положением для анализа комбинированной системы «анкерная крепь — приконтурный массив» явились известные наблюдения при исследованиях прочности породных образцов с различным «показателем гибкости» λ, т. е. отношением между их высотой H и диаметром D. Результаты исследований показывают, что прочность образцов на одноосное сжатие возрастает по экспоненциальной зависимости с уменьшением «показателя гибкости» λ, т. е.

$$\sigma_D/\beta_D = 1 + b\lambda^{-n},$$

где σ_D — прочность образца на одноосное сжатие при $\lambda \neq 1$; β_D — то же, при $\lambda = 1$; λ — «показатель гибкости», $\lambda = H/D$; b и n — коэффициенты, $b \ll 1$, $n > 1$.

Авторы провели эксперименты на моделях, результаты которых подтвердили правильность этого уравнения.

Элемент несущего кольца (рис. 7.26) соответствует плоскому образцу, высота которого a ограничивается не плитами пресса, а анкерами, которые наподобие давильных плит препятствуют поперечному расширению торцовых плоскостей сжимаемых образцов. «Показатель гибкости» такого образца $\lambda = a/l_w$.

Если подобный элемент заанкерованного породного массива является достаточно «плоским», т. е. если расстояние между анкерами a намного меньше эффективной длины анкеров l_w, в несущем породном кольце выработки также должен обеспечиваться экспоненциальный рост прочности. Чтобы подтвердить эту гипотезу, в одной из серий экспериментов в испытываемые образцы в качестве армировки вводили и закрепляли полимерным составом отдельные стальные стержни. Прирост прочности с уменьшением показателя λ был весьма заметным (рис. 7.27). Это означает, что путем выбора соответствующего отношения расстояния между анкерами a к эффективной их длине l_w может быть достигнута такая прочность заанкерованного приконтурного массива, которая соответствует требованиям надежной устойчивости данной выработки.

Если принять, что связь между анкерной штангой и породой на сдвиг является достаточно прочной, то можно применить следующую методику расчета (рис. 7.28):

максимальное касательное усилие N, воспринимаемое несущим кольцом, рассчитывают по площади F_N и прочности на одноосное сжатие σ_D;

требуемое усилие, выдерживаемое анкером, определяют по величине N и коэффициенту поперечного распора ω;

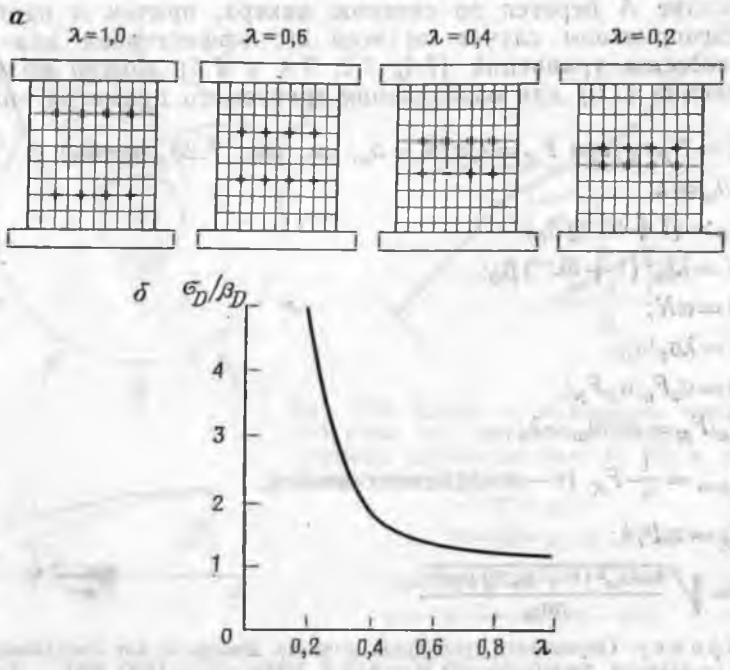
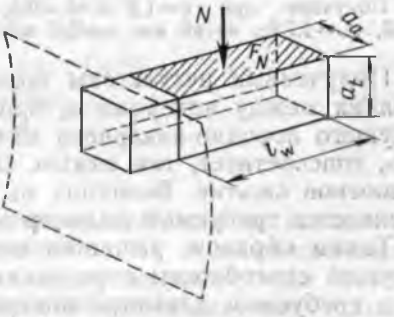


Рис. 7.27. Схемы образцов, армированных стальными металлическими стержнями (*а*), и график зависимости относительной агрегатной прочности материала σ_D/β_D от величины λ (*б*). Образцы расчленены ортогональной системой трещин, $k_1=1{,}0$; $k_2=k_3=0{,}5$. Длина ребра образца $l_1=l_2=20$ см, размеры ограниченных трещинами элементов 4×6×10 см. Предел прочности материала на сжатие $\beta_D=0{,}13$ МПа: диаметр стальных стержней 2 мм



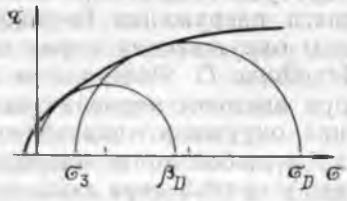


Рис. 7.28. Схема к расчету требуемого усилия закрепления анкера

величину ω находят по результатам экспериментов на одноосное сжатие или непосредственно при опытах на трехосное сжатие породных образцов. При наличии огибающей кругов напряжений величины заданной прочности σ_D и соответствующего ей бокового давления σ_3 могут быть получены непосредственно по диаграмме;

усилие A берется по сечению анкера, причем в наиболее неблагоприятном случае по всей его эффективной длине l_w. Из системы уравнений (7.1, 7.2, 7.4 и 7.5) можно получить уравнение (7.6) для определения требуемого диаметра анкера:

$N = F_N \sigma_D$ при $F_N = l_w a$ ($a_l = a_a$, см. рис. 7.28, вверху);

$a/l_w = \lambda$;

$\sigma_D = (1 + b\lambda^{-n})\,\beta_D$;

$$N = \lambda l_w^2 (1 + b\lambda^{-n})\,\beta_D; \tag{7.1}$$

$$A = \omega N; \tag{7.2}$$

$$\omega = \lambda \sigma_3 / \sigma_D; \tag{7.3}$$

$\omega = \sigma_3 F_c / \sigma_D F_N$;

$F_a / F_N = a^2 / a l_w = \lambda$;

$$A_{\text{доп}} = \frac{1}{\nu} F_K \quad (\nu\text{—коэффициент запаса}); \tag{7.4}$$

$$F_K = \pi d^2 / 4; \tag{7.5}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\omega\lambda l_w^2 (1 + b\lambda^{-n})\,\beta_D \nu}{\pi \sigma_{St}}}. \tag{7.6}$$

Пример. Определить требуемый диаметр анкера d для следующих условий — диаметр выработки 10 м, $\beta_D = 4$ МПа, $\sigma_{St} = 1600$ МПа, $b = 0{,}04$, $n = 2{,}81$, $l_w = 4$ м, $\nu = 1{,}5$.

Получаем при $a = 1{,}2$ м $\rightarrow \lambda = 0{,}3$, $\sigma_D = 2{,}2\,\beta_D$ $d = 39$ мм; $a = 0{,}8$ м $\rightarrow \lambda = 0{,}2$, $\sigma_D = 4{,}7\,\beta_D$ $d = 46$ мм; $a = 0{,}6$ м $\rightarrow \lambda = 0{,}15$, $\sigma_D = 9{,}3\,\beta_D$ $d = 57$ мм.

Полученные результаты показывают, что уменьшение расстояния между анкерами a, приводящее к тому, что элементы несущего породно-анкерного кольца становятся более «плоскими», способствует, тем самым, повышению прочности пород на одноосное сжатие. Величина σ_D повышается быстрее, чем увеличивается требуемый диаметр анкеров.

Таким образом, решается вопрос о численном определении несущей способности породно-анкерного приконтурного массива и требуемом диаметре анкеров. Однако вопрос о характере внешнего нагружения несущего породно-анкерного кольца со стороны окружающих пород остается пока нерешенным.

Методика Г. Федера для прочных пород. Предположение, что при высоком первоначальном давлении полость породного массива окружена «пластической зоной», в пределах которой порода в любой точке находится в состоянии текучести, справедливо в полной мере лишь для рыхлых пород.

В прочных породах значительное различие в прочности на срез у плотного и разрыхленного материала приводит к тому, что в «пластической зоне» образуются лишь отдельные плоскости среза, между которыми порода сохраняет первоначальную прочность. Характер образующихся трещин соответствует определенным закономерностям кинематики и механики разруше-

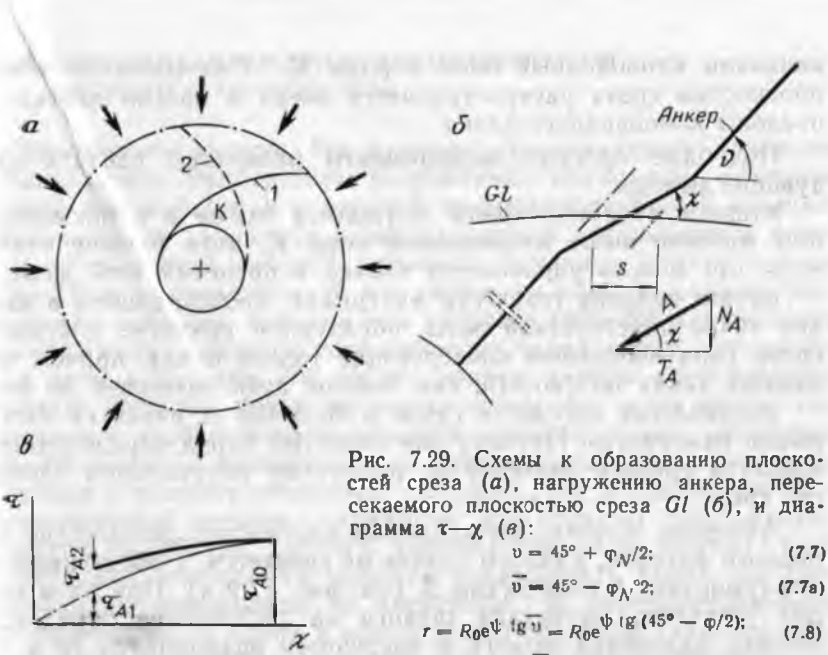


Рис. 7.29. Схемы к образованию плоскостей среза (*а*), нагружению анкера, пересекаемого плоскостью среза *Gl* (*б*), и диаграмма τ—χ (*в*):

$$\upsilon = 45° + \varphi_N/2; \tag{7.7}$$

$$\overline{\upsilon} = 45° - \varphi_N/2; \tag{7.7а}$$

$$r = R_0 e^{\psi \operatorname{tg} \overline{\upsilon}} = R_0 e^{\psi \operatorname{tg} (45° - \varphi/2)}; \tag{7.8}$$

$$u_1 = s \sin \overline{\upsilon} = s \sin (45° - \varphi/2); \tag{7.9}$$

$$a = a_0 \frac{r}{R_0 \cos \overline{\upsilon}} = a_0 \frac{r}{R_0 \cos (45° - \varphi/2)}; \tag{7.10}$$

$$N_A = A \sin \chi; \qquad T_A = A \cos \chi; \tag{7.11}$$

$$\upsilon > \chi > 0; \qquad A = F_A q_{Fl}; \tag{7.12}$$

$$\sigma_{SA} = N_A/ab; \qquad \tau_{A1} = T_A/ab; \tag{7.13}$$

$$\tau_{A2} = \sigma_{SA} \operatorname{tg} \varphi_N; \tag{7.14}$$

$$\tau_{A0} = A/ab. \tag{7.15}$$

ния хрупких тел. Эксперименты показывают, что не все плоскости среза образуются одновременно. В осесимметричных условиях при наличии сцепления или по меньшей мере шероховатого контакта между слоями вначале образуется только одна плоскость среза *1* (рис. 7.29, *а*). Лишь после того, как по этой плоскости произойдет достаточно значительное смещение массива, процесс сдвижения приостановится. Очевидно, это вызывается тем, что смещение по одной плоскости ведет к защемлению опускающегося породного блока, тормозящему процесс опускания по плоскости скольжения и способствующему инициированию развития новой плоскости среза. При экспериментах указанное явление было выражено последующим появлением плоскости среза *2* (см. рис. 7.29, *а*). При осесимметричных условиях положение плоскости среза *1* не определялось какой-либо закономерностью, плоскость же *2* образовалась в том месте, которое было обусловлено явлениями деформации и защемления, вызванными плоскостью *1*. Обе плоскости огра-

ничивали клиновидный блок породы К. Смещения по обеим плоскостям среза распространяется вверх в массив далеко за пределы клиновидного блока.

Подобные простые эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

влияние анкерной крепи ощущается также и в приконтурном массиве выше клиновидной зоны К, хотя раньше считалось, что массив упрочняется только в пределах этой зоны;

вместо явления текучести материала, происходящего в каждой точке пластической зоны, образуются немногие плоскости среза (при небольшой конвергенции только одна), причем чем меньше таких плоскостей, тем больше путь смещения по ним;

направление плоскости среза в процессе ее развития непрерывно изменяется. Поэтому для слоистых пород определяющим является среднее значение из различных направлений плоскости среза.

Анкерная штанга, пересекаемая плоскостью скольжения породного массива, в общем случае не срезается, а растягивается, деформируясь в виде буквы S (см. рис. 7.29, *в*). При этом предел текучести материала штанги на растяжение определяет степень удлинения штанги и частичного вдавливания ее в породу.

Благодаря такому местному натяжению анкера и его перекосу на плоскости скольжения Gl возникают дополнительное поперечное усилие $N_A = A \sin \chi$ и тормозящее процесс скольжения продольное усилие $T_A = A \cos \chi$. Если принять нормальное усилие, действующее на анкерную штангу, равным пределу текучести материала при растяжении, то вызываемое анкером дополнительное сопротивление смещению породного массива по плоскости среза является функцией возрастающего по мере смещения перекоса анкера. По мере смещения пород по плоскости среза это дополнительное сопротивление достигает (при достаточной вязкости материала анкера) величины τ_{A0} (см. рис. 7.29, *в*).

Расстояние между анкерами по плоскости скольжения принималось в виде функции от шага установки анкеров по породному контуру выработки. Благодаря этому можно рассчитать взаимосвязь между относительным смещением массива по плоскости среза s и вызываемой указанным смещением конвергенцией контура выработки по каждому радиальному лучу.

Под влиянием анкерной крепи образуется новая характеристика разрушения приконтурного массива по плоскостям хрупкого излома и среза, воспроизводящая прочностные свойства укрепленного анкерами ослабленного приконтурного массива. Сравнение показывает, что последующее упрочнение приконтурного массива анкерами менее эффективно, чем установка анкеров с соответствующей плотностью непосредственно при проведении выработки.

7.4.3. ПОДАТЛИВАЯ АНКЕРНАЯ КРЕПЬ С ВЫСОКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

«Скользящие» анкеры. На руднике «Хаверлахвизе» компании «Зальцгиттер Эрцбергбау» разработана податливая анкерная крепь для выработок с арочной формой поперечного сечения, состоящая из радиально устанавливаемых «скользящих» анкеров со сплошной сетчатой затяжкой. Анкерные штанги длиной 1,8—2,5 м и диаметром 16 мм снабжены пластмассовыми распорными замками, которые при нагрузке 100—200 кН скользят в скважинах. Удельное сопротивление такой крепи составляло при этом в среднем 200 кН/м², причем анкеры воспринимали полную нагрузку сразу же после установки, в то время как начальное сопротивление обычной арочной крепи равнялось 40—80 кН/м² и повышалось со значительным отставанием во времени с момента установки. Несущий свод в заанкерованном приконтурном массиве сохранялся при больших деформациях контура выработки (до 50% первоначальной величины). Следовательно, достигается высокая податливость крепи без разрушающих деформаций ее элементов. В противоположность обычной арочной крепи в конструкцию подобной анкерной крепи могут быть внесены многочисленные усовершенствования. Сетчатая затяжка из проволоки диаметром 3 мм надежно удерживается опорными плитами размером 100×100 мм. При неравномерной деформации контура выработки (например, из-за сильного смятия слоев в кровле) могут быть установлены дополнительные усиливающие арочные рамы. В капитальных горных выработках и особенно на сопряжениях выработок хорошо зарекомендовало себя усиление анкерной крепи набрызгбетоном.

При экспериментах на моделях анкерные штанги жестко закреплялись в шпурах полимерным составом, а на контуре выработки вместо натяжных болтов анкеры затягивались замками трения с сопротивлением скольжению 140 кН. Плотность крепи составляла 1,5 анкера/м².

При небольших деформациях контура выработки «скользящие» анкеры не отличаются по своим характеристикам от обычных жестких анкеров, поскольку относительное удлинение последних может составлять 10%. Необходимо учитывать способность стали к растяжению и режимы тепловой обработки анкерных штанг.

На модели площадь поперечного сечения выработки сократилась в результате деформации до 50% начальной величины. Длина скольжения анкеров составила 98 см. Несмотря на столь значительную деформацию, выработка осталась устойчивой. Почву выработки не анкеровали.

В Рурском бассейне применение «скользящих» анкеров целесообразно в выработках с арочной формой поперечного сечения, которые подвергаются сильному влиянию очистных работ.

Однако вследствие смещений анкерных шпуров имеются сомнения в возможности беспрепятственного скольжения распорных замков. Целесообразнее применять фрикционные соединения анкерных штанг с опорными плитами, подобные тем, которые использовались на модели. Но при этом придется мириться с выступающими из кровли и боков выработки длинными концами анкерных штанг.

Податливые анкеры. Анкерная крепь, применявшаяся до последнего времени в угольных шахтах, обладает ограниченной податливостью, соответствующей 10—15% начальной длины анкеров. Поэтому ее используют только там, где ожидаются относительно небольшие деформации породного массива.

Между тем опыт применения анкерной крепи в других отраслях горной промышленности, а также результаты исследований на моделях показывают, что анкерная крепь может обеспечивать устойчивость выработок при больших деформациях приконтурного массива, если только анкеры будут способны воспринимать столь значительные деформации.

В институте «Бергбау-форшунг» создана конструкция податливого («скользящего») анкера, при разработке которого исходили из следующих требований:

характеристика анкера не должна зависеть от свойств и состояния деформации приконтурного массива. Она должна быть достаточно крутой в зоне восприятия нагрузки (крепь с быстрым восприятием нагрузки) и после достижения номинальной несущей способности обладать большой податливостью при постоянном сопротивлении;

номинальная несущая способность анкера должна составлять около 150 кН (в применяемых в угольной промышленности обычных анкерах, рассчитанных на разрывное усилие 250 кН, возникают напряжения, близкие к пределу текучести материала);

элемент податливости анкера должен обеспечивать возможность выскальзывания анкера из скважины минимум на 50 см;

диаметр замка анкера должен быть таким, чтобы его можно было устанавливать в обычных анкерных шпурах. При этом «скользящие» анкеры должны быть такими же простыми в обращении, как и обычные;

номинальная несущая способность анкера не должна изменяться при транспортировке, под влиянием температурных условий, коррозии и при длительном хранении.

Податливый анкер (рис. 7.30) состоит из штанги, которая закреплена в трубе, заполненной полимерным цементирующим материалом. На головке штанги имеются срезающие кулачки, которые при нагружении анкера по его оси срезают кольцевой слой полимерного материала внутри трубы. Требуемое для этого усилие соответствует номинальной несущей способности анкера. Головка анкера в месте размещения срезающих кулачков имеет меньший диаметр, чем в основной части штанги,

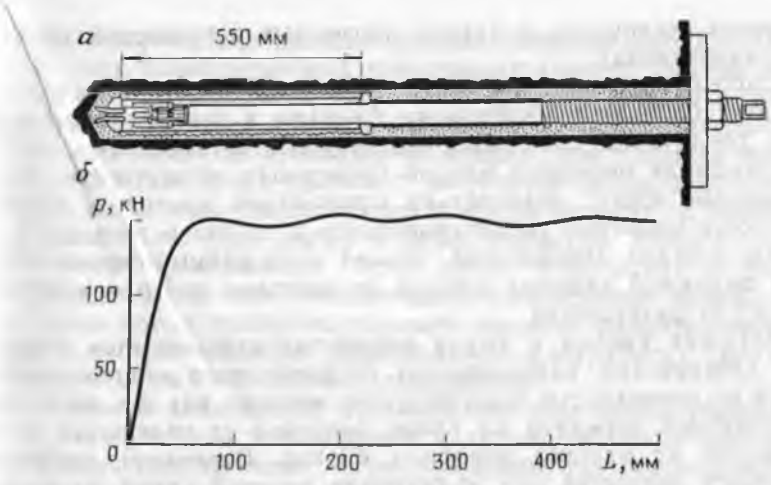


Рис. 7.30. Схема податливого анкера конструкции института «Бергбау-форшунг» (*а*) и его характеристика (*б*):
P — усилие натяжения; *L* — длина смещения

с тем чтобы срезанные полосы полимерного материала проходили между кулачками. В противном случае срезанный материал мог бы скапливаться перед кулачками, что приводило бы к раздутию трубы или же к неконтролируемому уменьшению податливости анкера.

К настоящему времени на испытательном стенде в более чем 250 сериях экспериментов исследованы отдельные элементы подобных анкеров. Кольцевой срезаемый слой состоял из наполнителя и полимерной смолы, соотношение которых варьировали при испытаниях. Исследовалось также влияние срока хранения анкеров на прочность композиции, сохранение которой имеет большое значение для обеспечения постоянства номинальной несущей способности крепи. Кроме того, в разных сериях экспериментов изменяли размеры головки, а также размеры и форму срезающих кулачков.

Для надежной связи трубы с породным массивом ее наружная поверхность выполнялась рифленой. Эксперименты показали, что требуемая величина несущей способности анкера 150 кН может быть достигнута. Дальнейшими экспериментами предусматривается добиться постоянства получаемых результатов.

7.4.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ КРЕПИ

Повышение несущей способности крепи может быть обеспечено путем заполнения закрепного пространства быстротвердеющими смесями и нанесением набрызгбетонного покрытия (с учетом опыта, накопленного в последние годы при строительстве

туннелей, хранилищ и других подземных сооружений различного назначения).

Набрызгбетонное покрытие восстанавливает взаимосвязь между подвижными породными блоками в приконтурном массиве, увеличивая тем самым его несущую способность.

Смещения породных блоков происходят, в частности, из-за попадания влаги, значительно снижающей трение и способствующей развитию увеличивающихся с течением времени квазипластических деформаций. Тонкий слой набрызгбетона является надежной защитой породы от действия влаги и, следовательно, от разрушения.

Затяжка кровли и боков выработки производится обычно для обеспечения равномерного распределения сопротивления крепи по поверхности приконтурного массива или же, наоборот, равномерной передачи на крепь нагрузки от отдельных отделившихся от массива породных блоков. Возведение набрызгбетонного покрытия при применении арочной крепи позволяет весьма удовлетворительно решать такую задачу.

Набрызгбетонное покрытие позволяет получать весьма высокую расчетную несущую способность конструкции крепи. Слой набрызгбетона толщиной 8 см при использовании ангидритовой строительной смеси с пределом прочности на сжатие 20 МПа обеспечивает в выработке диаметром 5 м удельное сопротивление смещению приконтурного массива, равное примерно 600 кН/м^2.

Однако одно лишь высокое сопротивление крепи не может гарантировать удовлетворительного состояния выработок, поддерживаемых в условиях высокого давления. Жесткая крепь с высоким сопротивлением может подвергаться воздействию сосредоточенных нагрузок, величина которых на порядок выше сопротивления крепи. Если же, наоборот, крепь способна проявлять податливые свойства в местах наибольших нагрузок, сохраняя полную несущую способность в остальных местах контура выработки, то ее эффективность реализуется в полной мере. Именно этот случай имеет место при применении полужесткой крепи с набрызгбетонным покрытием небольшой толщины.

Если бы хотели воспрепятствовать любым разгрузочным сдвижениям приконтурного массива, происходящим после проведения выработки, то потребовалось бы устанавливать непосредственно в забое крепь, удельное сопротивление которой соответствовало бы первоначальному давлению в массиве (примерно 20 МН/м^2). Такая крепь, разумеется, нереальна.

В угольных шахтах Рурского бассейна тангенциальные напряжения на контуре выработок всегда выше прочности породы в массиве. Поэтому уже на небольшом расстоянии от забоя в приконтурном массиве происходят процессы разрушения и остаточного деформирования пород. Сопротивление крепи, которое требуется в указанном случае для поддержания равно-

весия массива, значительно меньше необходимого для предупреждения первоначальных деформаций контура выработки. Однако для поддержания равновесия приконтурного массива может потребоваться значительно большее сопротивление крепи, если к моменту ее установки породные слои в кровле выработки уже подверглись смятию с частичным выдавливанием в полость выработки. Как было показано на моделях Н. Бушманом, крепь с достаточно высоким сопротивлением должна устанавливаться своевременно. Если крепь установлена с большим опозданием, то для стабилизации начавшегося процесса расслоения пород требуется намного большее сопротивление крепи, а уже начавшееся выдавливание в выработку смятых породных слоев приостановить невозможно.

Строительные смеси, применяемые при набрызгбетонировании, требуют для схватывания и затвердевания определенного времени. Тем не менее, если набрызгбетонная оболочка нанесена сразу же после обнажения кровли и стенок выработки, ее можно считать крепью быстронарастающего сопротивления.

Достоинства полужесткой крепи могут быть реализованы также при использовании тонкостенной крепи из готовых элементов или повсеместно применяемой арочной крепи с металлической листовой затяжкой, если за счет заполнения закрепного пространства крепь по всему периметру контактирует с приконтурным породным массивом. Применение же набрызгбетонных покрытий обеспечивает, кроме того, прочное сцепление их материала с поверхностью массива. Благодаря этому крепь становится более эффективной при воздействии изгибающих нагрузок. На рис. 7.31 воспроизведен широко известный пример, иллюстрирующий сравнение несущей способности не связанных и связанных друг с другом плит. В рассматриваемом случае можно принять, что верхняя плита представляет собой первый породный слой кровли, а нижняя — покрытие крепи.

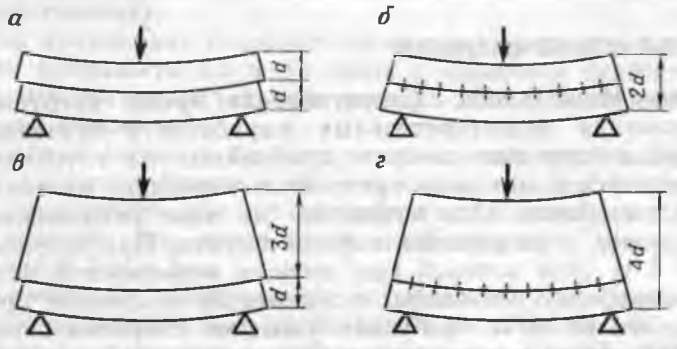


Рис. 7.31. Схемы к сравнению несущей способности не связанных друг с другом (*а* и *в*) и связанных (*б* и *г*) породных плит. Момент инерции $J = b/12A$:

$а - A = d^3 + d^3 = 2d^3$; $б - A = (2d)^3 = 8d^3$; $в - A = (3d)^3 + d^3 = 28d^3$; $г - A = (4d)^3 = 64d^3$

Если обе плиты имеют одинаковую толщину (см. рис. 7.31, *а* и *б*), то общий момент инерции скрепленных плит в четыре раза больше, чем у нескрепленных. При различной толщине плит (см. рис. 7.31, *в* и *г*) общий момент инерции благодаря наличию связи между плитами увеличивается более чем в два раза.

Прочное на сдвиг сцепление между бетонным слоем и приконтурным массивом обеспечивается шероховатой поверхностью породы.

В туннелестроении после нанесения слоя набрызгбетона непрерывно измеряют деформации контура поперечного сечения. Если процесс деформации не затухает, то может понадобиться дополнительное анкерование, которое не только усиливает связь между бетонной оболочкой и поверхностью породы, но и упрочняет породный массив за пределами бетонного слоя.

В туннелестроении для усиления несущей конструкции крепи, кроме анкеров, предусматривают установку металлических колец. В выемочных штреках обычно поступают наоборот: вначале устанавливают арочную крепь, а затем механизированным способом заполняют закрепное пространство. Металлические арки, армирующие толстостенную и, следовательно, жесткую бетонную оболочку, малоэффективны, так как они начинают воспринимать нагрузку лишь после того, как бетон будет разрушен. При неудовлетворительном заполнении закрепного пространства арки деформируются и теряют несущую способность. Экспериментально установлено, что при удовлетворительном заполнении закрепного пространства несущая способность арочной крепи возрастает в 2—3 раза. Равномерное прилегание крепи к приконтурному массиву способствует полному использованию несущей способности арочной крепи.

7.5. ТРАПЕЦИЕВИДНАЯ КРЕПЬ

7.5.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Сопротивление крепи. Сопротивление крепи, требуемое для поддержания подготовительных выработок с трапециевидной формой поперечного сечения, пройденных на глубине 800 м, определяется в основном прочностью породного массива и шириной выработки. Она возрастает по мере уменьшения прочности пород и увеличения ширины штрека. При ширине выработки 5 м (при которой еще имеется возможность поддерживать выработку без особых осложнений) и пределе прочности пород 30—40 МПа требуемое удельное сопротивление крепи 200—600 кН/м² вполне может быть реализовано на практике.

Граничные условия применения выработок с трапециевидной формой поперечного сечения. При современной технике крепления подготовительных выработок, исходя из опыта шахт

«Паттберг» и «Цольферейн», можно сформулировать следующие граничные условия применения выработок с трапециевидной формой поперечного сечения шириной до 5 м на глубине 800 м:

вмещающие породы должны состоять из слоев толщиной не менее 10 см;

на участках, отрабатываемых в обратном порядке, предел прочности боковых пород в 5 м над и под выработкой должен быть не менее 15 МПа;

на участках, отрабатываемых в прямом порядке, где выработки подвергаются более сильному давлению, предел прочности боковых пород должен превышать 20 МПа;

в зонах влияния краевых частей по соседним пластам, где давление еще более велико, предел прочности боковых пород должен быть не менее 35 МПа;

следует предупреждать появление вывалов породы из кровли в призабойном пространстве. Поэтому необходимо обращать особое внимание на зоны тектонических нарушений и зоны влияния краевых частей по соседним пластам, в которых склонность пород к вывалам увеличивается;

породы почвы должны выдерживать нагрузку от стоек крепи;

удельное сопротивление крепи должно составлять не менее 200 кН/м^2, т. е. быть выше, чем у арочной крепи. В зонах влияния краевых частей по соседним пластам необходима не только более высокая прочность боковых пород, но и более высокое удельное сопротивление крепи — не менее 400 кН/м^2, что может потребовать уменьшения расстояния между рамами и установки дополнительных средних стоек;

при применяемых в шахтах Рурского бассейна приводах струговых установок и забойных конвейеров мощность пласта должна быть не менее 1,2 м (при нежелательности подрывки кровли пласта в выемочных штреках с прямоугольной формой поперечного сечения);

в случае применения гидравлических стоек мощность пласта не должна превышать 3,5 м (в связи с наличием гидростоек с требуемым усилием начального распора 250—350 кН только до указанной мощности);

при ведении штреков без подрывки кровли угол падения пласта не должен превышать 18°, так как в противном случае придется увеличивать ширину конвейерного, ходового и рельсовых отделений, что приведет к необходимости проводить штрек шириной более 5 м;

при применении рамной крепи со средними стойками, как и при рамно-анкерной крепи, успех может быть обеспечен только при точном соблюдении паспорта крепления. Поэтому штреки с трапециевидной формой поперечного сечения рекомендуется предусматривать только в тех случаях, когда может быть гарантировано высокое качество возведения крепи.

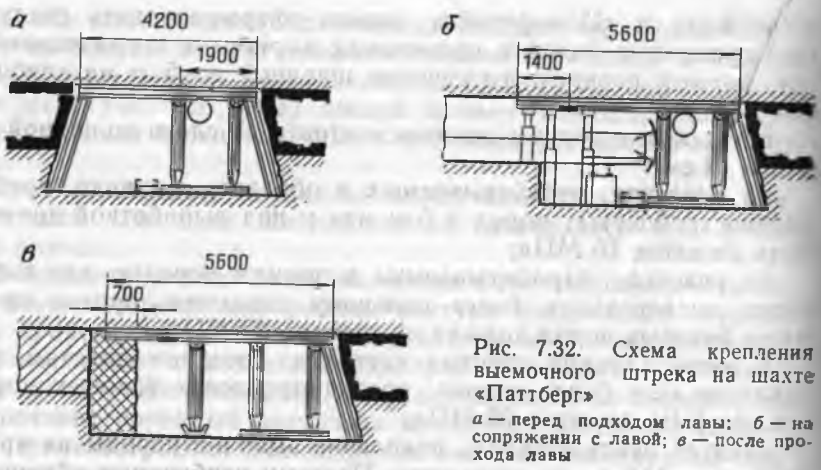


Рис. 7.32. Схема крепления выемочного штрека на шахте «Паттберг»

а — перед подходом лавы; *б* — на сопряжении с лавой; *в* — после прохода лавы

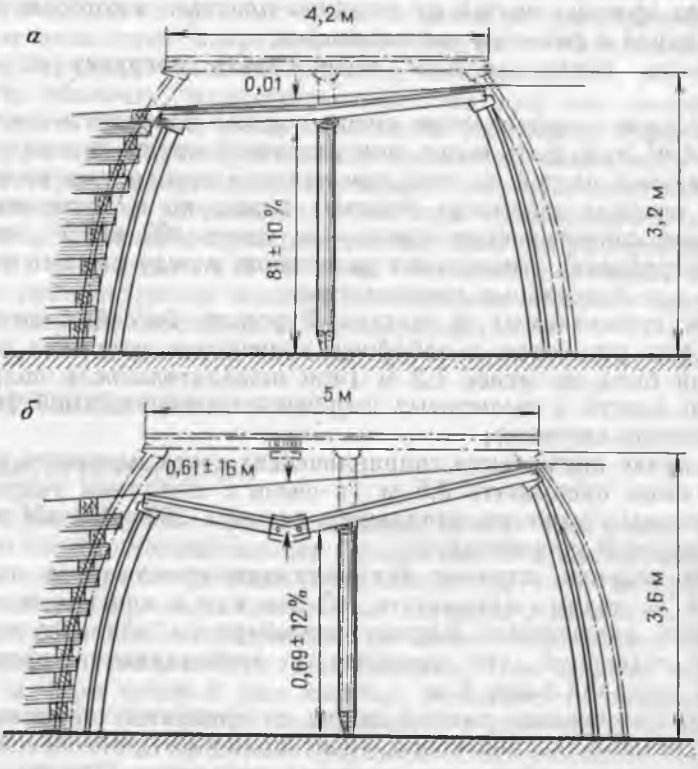


Рис. 7.33. Схемы работы сплошного верхняка в вентиляционном штреке (*а*) и составного верхняка в конвейерном штреке (*б*)

Техника крепления. Современные выемочные штреки с трапециевидной формой сечения на участках, отрабатываемых в обратном порядке, имеют ширину (по верхнякам) от 3,2 до 4,2 м, а на участках, отрабатываемых в прямом порядке, — 4,2—6,2 м. Считается, что особых затруднений при поддержании штреков не возникает в тех случаях, когда их ширина не превышает 5 м. Высота штреков составляет обычно 2—3,5 м.

На примере разработанного на шахте «Паттберг» паспорта крепления выемочного штрека (рис. 7.32) можно видеть, как путем удачного согласования требований к поддержанию штрека и размещению в нем транспортных устройств можно преодолевать затруднения, возникающие обычно на сопряжении штрека с лавой. При проведении штрека стойки крепи устанавливают под цельнометаллический верхняк длиной 4,2 м (см. рис. 7.32, *а*). По сравнению с верхняками длиной 5 м это обеспечивает ряд преимуществ технологического характера. Оба ряда средних стоек устанавливают на небольшом расстоянии от забоя. Стойки опираются на уложенные поперек выработки деревянные или металлические лежни, служащие для предотвращения смятия породных слоев почвы и выдавливания их в штрек. На участке сопряжения штрека с лавой указанные стойки не убирают, так как при безнишевой выемке угля в лаве струговой установкой свободная ширина выработки 2,3 м достаточна для беспрепятственной передвижки вынесенного на штрек привода и размещения дробилки и пункта перегрузки угля на ленточный конвейер. Пространство между средними стойками предназначено для доставки материалов и оборудования. На сопряжении с лавой к основному верхняку с помощью соединительных накладок крепят консольный верхняк длиной 1,4 м (см. рис. 7.32, *б*), который после прохода лавы подхватывают деревянным костром (см. рис. 7.32, *в*). При таком способе наращивания верхняка в противоположность длинному составному верхняку с расположенными посредине его соединительными накладками в нем имеется только одно слабое место, не играющее заметной роли. Соединение верхняка накладками является слабым местом по той причине, что верхняк начинает оказывать полное сопротивление изгибу (такое же, как у цельного верхняка) после его значительного прогиба. Разница в поведении цельного верхняка длиной 4,2 м и составного длиной 5 м видна из схем, приведенных на рис. 7.33. Если в первом случае прогиб верхняка составил 0,01 м, то во втором случае в тех же условиях он был во много раз больше (0,61 м).

7.5.2. ВОСПРИЯТИЕ НАГРУЗКИ УЗЛАМИ ПОДАТЛИВОСТИ

На рис. 7.34 приведено поперечное сечение штрека, пройденного комбайном, с указанием размеров пустот в закрепном пространстве (средние величины по 22 обмеренным рамам крепи). Между верхняком и кровлей над элементом податливости в

стойке рамы был установлен гидропатрон. При нагружении рама сместилась в положение, показанное на рис. 7.34 штриховой линией, поскольку пустоты за крепью не были достаточно хорошо забучены. Для того чтобы определить размеры просадки рамы в податливых соединениях под влиянием нагрузки, потребовалось тщательно расклинить противоположный конец верхняка.

Болты стяжных хомутов податливых соединений после установки рам были подтянуты с помощью динамометрического гаечного ключа. Измерения, проведенные после нагружения рамы с помощью гидропатрона, показали, что у 54% болтов стяжных хомутов в нагруженной части рамы момент затяжки был меньше первоначального, составлявшего 400 Н·м, причем в 18% случаев он находился в пределах 0—100 Н·м. В то же время в податливом соединении с другой стороны рамы, не подвергшемся нагрузке, момент затяжки менее 400 Н·м был зафиксирован только у 32% болтов, а ниже 100 Н·м — у 3% болтов. Из этого можно сделать вывод, что натяжение в болтах заметно ослабевает сразу же после первой просадки крепи и после сотрясения или нагрузки.

Для проверки этого явления в лабораторных условиях гайки элементов податливости были подтянуты до момента затяжки 400 Н·м, для чего с учетом первоначальной затяжки с моментом 150 Н·м требовалось повернуть гайку на полоборота (рис. 7.35). После трех ударов молотком по болтовому соединению момент затяжки болтов снизился до 210 Н·м. Для восстановления первоначального натяжения потребовалось подтянуть болт на 0,1 оборота. После дальнейших ударов молотком момент затяжки уменьшился до 340 Н·м. Для восстановления момента 400 Н·м потребовалось подтянуть болт на 0,05 оборота.

Схема и характеристика элемента податливости рамы штрековой крепи, полученная при испытаниях на стенде, приведены на рис. 7.36. Просадка элемента податливости происходит характерными для фрикционных соединений «скачками». Первый скачок после нагрузки в 350 кН сопровождался настолько мощным сотрясением конструкции, которое невозможно было бы получить при ударах молотком. Податливое соединение восприняло после этого нагрузку в 180 кН. Болты были подтянуты так, что реакция элемента податливости вновь превысила 350 кН. Последующий скачок уменьшил реакцию соединения до 250 кН.

7.5.3. УЗЛЫ ПОДАТЛИВОСТИ И ИХ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

На рис. 7.37 показаны различные типы узлов податливости рам штрековой крепи. В узле «Усшпурвис» используется скошенный деревянный вкладыш, сминаемый верхним сегментом рамы. Принцип действия узла «Флексоматик» основан на ра-

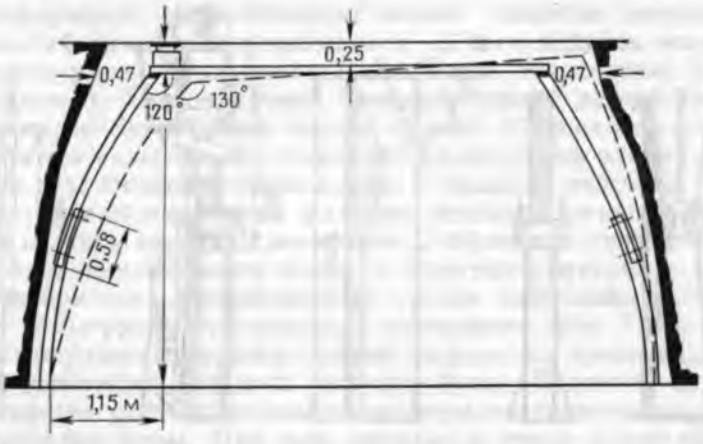


Рис. 7.34. Схема просадки рамы крепи с податливыми соединениями

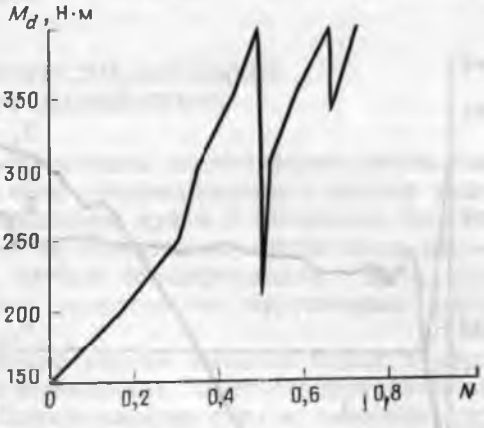
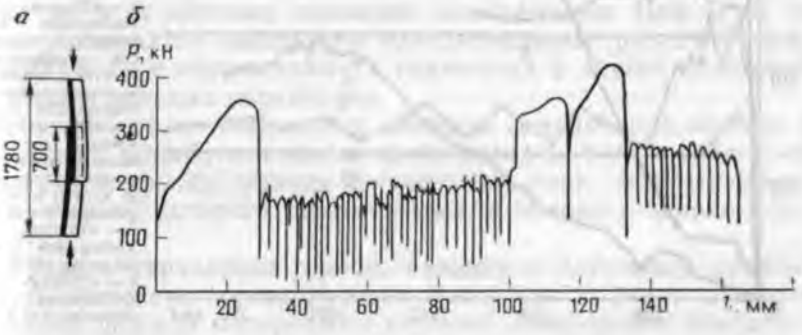


Рис. 7.35. График изменения момента затяжки M_d стяжного болта в зависимости от числа оборотов N при подтягивании гаек

Рис. 7.36. Схема элемента податливости (*а*) и характеристика его просадки l под влиянием нагрузки P (*б*)



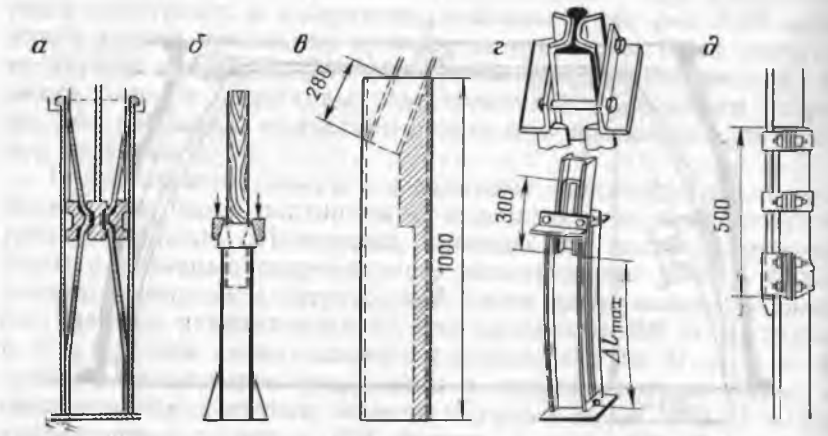


Рис. 7.37. Схемы узлов податливости рам штрековой крепи:
а — «Флексоматик»; *б* — «Версме»; *в* — «Усшпурвнс»; *г* — «Молл» (Δl_{max} — максимальная величина просадки); *д* — «Туссен-Хайнцман»

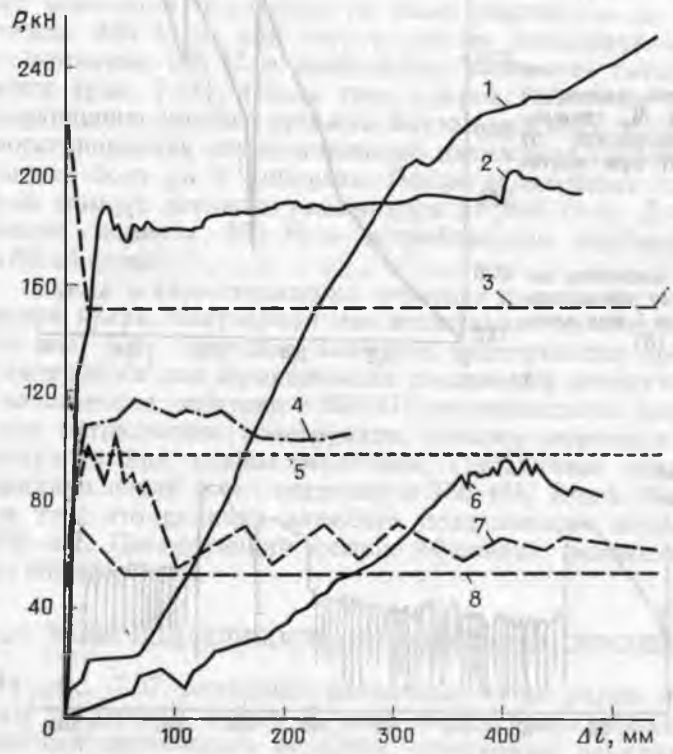


Рис. 7.38. Характеристика узлов податливости различных типов:
1, 6 — «Усшпурвнс», соответственно при буковом и еловом вкладышах; *2* — «Флексоматнк»; *3* — «Туссен-Хайнцман» (при линейной плотности спецпрофиля 29 кг/м и моменте затяжки стяжных болтов 280 Н·м); *4* — «Версме»; *5* — «Молл» (при линейной плотности спецпрофиля 38 кг/м и моменте затяжки 300 Н·м); *7* — «Туссен-Хайнцман» (21 кг/м; 180 Н·м); *8* — «Туссен-Хайнцман» (29 кг/м; 180 Н·м)

боте деформации двух стальных полос, которые соединены специальным замком с опирающимся на него верхним элементом стойки рамы. Стальные полосы жестко закреплены, а замок подвижен. Узел «Версме» предусматривает деформирование и смятие деревянного бруса. В узле «Туссен-Хайнцман» используются силы трения между металлическими элементами, стянутыми зажимными накладками. Принцип действия узла «Молл» основан на трении фланцев верхнего сегмента рамы в замке из двух коротких элементов U-образного профиля, помещенных в верхней части опоры и стянутых хомутами.

Характеристика рассмотренных узлов податливости «просадка Δl — нагрузка P» приведена на графике (рис. 7.38). При узле «Усшпурвис» характер кривой зависит от древесины, из которой изготовлен вкладыш (ели или бука). В данном случае сопротивление узла податливости непрерывно увеличивается по мере просадки рамы. При всех остальных типах узлов проседание происходит при почти постоянном сопротивлении, которое можно в определенных пределах регулировать путем соответствующей затяжки замков.

7.5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЯКОВ И СТОЕК РАМ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ КРЕПИ

Величину нагрузки, которую должна воспринимать штрековая крепь, можно установить, если проанализировать случаи травматизма, вызванные повреждением крепи и вывалами пород в выработках. При этом вовсе не обязательно, чтобы крепь имела прочность, исключающую любые ее деформации. Речь идет лишь о восприятии крепью нагрузки от нарушенных пород кровли.

Проведенное расследование причин вывалов пород и обрушений в подготовительных выработках, зарегистрированных органами горного надзора Дортмундского округа, показало, что формы образовавшихся куполов над выработками и их размеры были во всех случаях примерно одинаковыми. При этом не было установлено каких-либо принципиальных различий между вывалами и обрушениями в выемочных и других пластовых штреках и полевых выработках.

На основании измеренных объемов вывалов над крепью в аварийных выработках можно было принять, что на крепь действовала нагрузка, равная по меньшей мере, весу породного слоя, высота которого соответствовала половине ширины выработки.

Главное управление горного надзора в Дортмунде приняло такую расчетную схему вначале лишь для штреков с прямоугольной формой поперечного сечения, проводимых комбайнами типа «Континиус майнер», и дало указание районным управлениям горного надзора руководствоваться ею при проверке

паспортов крепления. Кроме того, в последующем предписании указывалось следующее:

Средние стойки необходимо устанавливать как можно раньше. Непосредственно в призабойном пространстве в большинстве случаев этого сделать не удается. Кроме того, сразу же после установки рам невозможно осуществить затяжку боков штрека или забутить закрепное пространство, как это делается обычно в выработках с трапециевидной формой поперечного сечения, проводимых буровзрывным способом. В связи с указанным на участках, где не представляется возможным своевременно установить средние стойки, требуется осуществлять следующие дополнительные меры по охране выработки:

1. Верхняки следует подпирать гидравлическими стойками или стойками трения с гидравлическим распором. Каждую такую стойку необходимо устанавливать на достаточно большом расстоянии (но не более 1 м) от конца верхняка. Для этого должно быть предусмотрено применение верхняков с элементами крепления, пригодными для захвата опорных головок гидравлических стоек или стоек трения.

2. Вплоть до момента установки средних стоек каждый верхняк должен дополнительно иметь не менее трех межрамных стяжек (распорок). Если на участке штрека без средних стоек временная усиливающая крепь из гидравлических стоек или стоек трения не применяется, то на каждую стойку и верхняк рамы должно приходиться не менее двух распорок (т. е. не менее шести распорок на раму).

Кроме того, в будущем в таких штреках необходимо обращать внимание на следующее:

1. Концы верхняков, являющиеся шарнирными узлами рам, должны тщательно расклиниваться.

2. Конструкция соединений верхняков со стойками должна обеспечивать передачу поперечных усилий, т. е. изгибающих моментов, действующих в направлении от штрека.

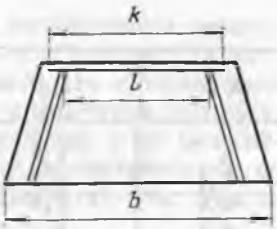
3. Необходимо строго соблюдать требование § 128, пункт 2, «Правил технической эксплуатации каменноугольных шахт»*.

Указанное предписание Главного управления горного надзора было впоследствии дополнено и уточнено новым предписанием, относившимся, правда, только к призабойным зонам подготовительных выработок. В нем указывалось, что, если расчетами, примеры которых приводятся ниже, будет установлено, что ширина пролета между стойками рамы (без средней стойки) превышает максимально допустимую для данных условий, то в представленном на согласование в орган горного над-

---

* Указанное требование гласит: «Металлическая или деревянная крепь в подготовительных и очистных выработках не должна использоваться в качестве опоры для разного рода передвижчиков или посадочных лебедок, для подвески грузоподъемных устройств или транспортного оборудования. Это требование не распространяется на крепи с гидравлическим распором». — *Примеч. пер.*

Рис. 7.39. Схема выработки, закрепленной неполным дверным окладом



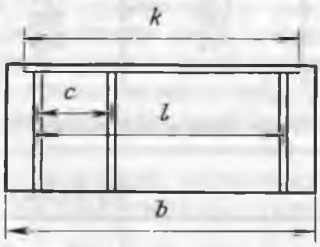


Рис. 7.40. Схема выработки с прямоугольной формой поперечного сечения с установкой одной средней стойки

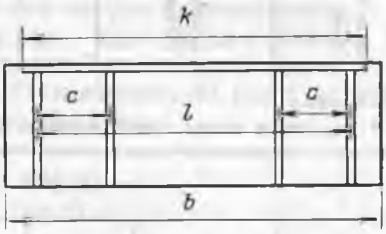


Рис. 7.41. Схема выработки с прямоугольной формой поперечного сечения с установкой двух средних стоек

зора проекте проведения и крепления выработки должны быть дополнительно предусмотрены такие меры по усилению крепи, как уменьшение расстояния между рамами, использование крепежных материалов улучшенного качества или более тяжелых спецпрофилей для верхняков, применение сплошных (несочлененных верхняков) или усиленных соединительных накладок, установка усиливающих гидравлических стоек (при необходимости по две стойки под каждый конец верхняка), усиление крепи анкерами, установка дополнительных стягивающе-распорных межрамных соединений.

Примеры расчетов. Нагрузка, действующая на верхняк, соответствует весу слоя пород толщиной $D=b/2$, где b — ширина штрека по почве. При известной величине b и среднем объемном весе пород 25 кН/м³ давление составит $p=25/(b/2)$ кПа. Рассчитанные значения максимально допустимых изгибающих моментов верхняков sM_{max} (где $s=1{,}5$ — коэффициент запаса) и реакции стоек St на 1 м штрека (т. е. при расстоянии между рамами 1 м) для выработки с трапециевидной формой поперечного сечения, закрепленной неполным дверным окладом (рис. 7.39), приведены в табл. 7.9, для выработки с прямоугольной формой поперечного сечения с установкой одной (рис. 7.40) и двух (рис. 7.41) средних стоек — соответственно в табл. 7.10 и 7.11.

Коэффициенты запаса прочности s:

для верхняков — его величина (по отношению к разрушающему моменту) принимается равной 1,5 и уже учтена в приведенных в табл. 7.9—7.10 значениях sM_{max}/a. Для выбора соответствующего спецпрофиля, из которого должны быть из-

Таблица 7.9

b, м	k, м	l^*, м	St, кН/м	sM_{max}, кН/м
3	1,8	1,6	56	18,1
3,4	2,2	2	72	32
3,8	2,6	2,4	90	51,5
4,2	3	2,8	110	77,4
4,6	3,4	3,2	132	111
5	3,8	3,6	156	152
5,4	4,2	4	182	203
5,8	4,6	4,4	211	264

* Расстояние между концом верхняка и осью стойки принимается равным 10 см.

Таблица 7.10

b, м	k, м	l^*, м	c^{**}, м	St^{***}, кН/м	sM_{max}, кН/м
4	3,5	3,3	1,1	120	34
4,4	3,9	3,7	1,23	148	47
4,8	4,3	4,1	1,37	178	62,9
5,2	4,7	4,5	1,5	210	82,1
5,6	5,1	4,5	1,63	246	105
6	5,5	5,3	1,77	284	131
6,4	5,9	5,7	1,9	325	162
6,8	6,3	6,1	2,03	368	197

* Расстояние между концом верхняка и осью внешней стойки принимается равным 10 см. При большем расстоянии (>0,1 k) изгибающий момент уменьшается примерно на 10%.

** c=(1/3—2/3) l.

*** Реакция средней стойки (реакция внешних стоек имеет меньшую величину).

Таблица 7.11

b, м	k, м	l^*, м	$c_{min}{}^{**}$, м	$c_{max}{}^{**}$, м	St^{***}, кН/м	sM_{max}/a, кН/м
5	4,5	4,3	1,08	1,91	125	31,4
5,4	4,9	4,7	1,18	2,09	147	40,6
5,8	5,3	5,1	1,28	2,27	171	51,3
6,2	5,7	5,5	1,38	2,44	197	63,8
6,6	6,1	5,9	1,48	2,62	224	78,1
7	6,5	6,3	1,58	2,8	253	94,5
7,4	6,9	6,7	1,68	2,98	284	113
7,8	7,3	7,1	1,78	3,16	317	134

* Расстояние между концом верхняка и боком выработки принимается равным 10 см. При большем расстоянии (>0,1 k) изгибающий момент уменьшается примерно на 10%.

** c=(1/4—4/9) l.

*** Реакция средних стоек (реакции внешних стоек имеют меньшую величину).

готовлены верхняки, табличное значение изгибающего момента необходимо умножить на расстояние между рамами (в метрах). По полученной величине можно подобрать спецпрофиль с соответствующими линейной плотностью и моментом инерции;

для деревянных стоек — принимается равным 1 по отношению к допустимой нагрузке, определяемой в соответствии со стандартом ДИН 21315 «Рудничный лес. Несущая способность стоек и верхняков»;

для податливых металлических стоек — принимается равным 1 по отношению к номинальной несущей способности;

для жестких металлических стоек — принимается равным 1,5 по отношению к нагрузке, вызывающей продольный изгиб.

В приведенных в табл. 7.9—7.11 значениях St (на 1 м штрека) коэффициент запаса прочности не учтен.

7.5.5. СНИЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КРЕПИ НА СОПРЯЖЕНИИ ШТРЕКА С ЛАВОЙ

Расслоение и разрушение породных слоев кровли и почвы на участке сопряжения в значительной мере усиливается. Об этом свидетельствуют результаты замеров расслоения пород в кровле и почве выработки, проводившихся на высоту 2 м над штреком и на глубину 2 м под ним (рис. 7.42). Активное расслоение

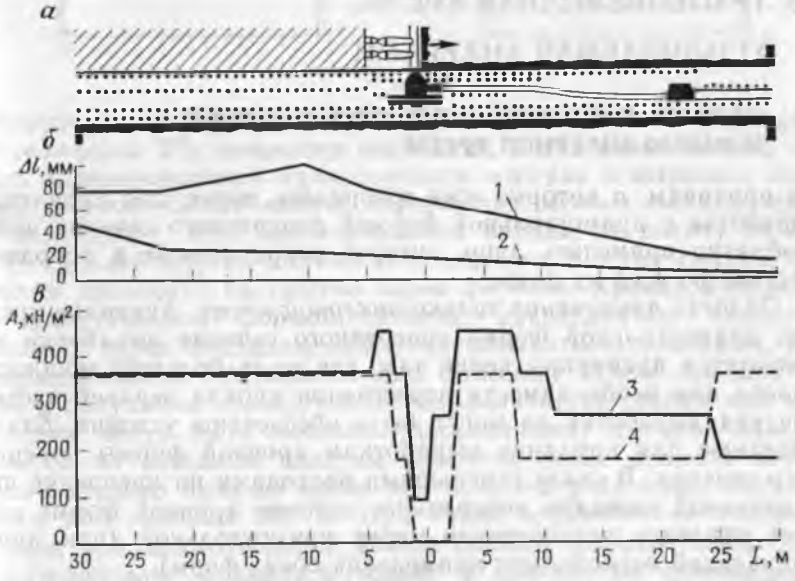


Рис. 7.42. Схема расположения и удаления средних стоек в выемочном штреке (*а*) и графики расслоения боковых пород Δl (*б*) и изменения сопротивления штрековой крепи A (*в*) в зависимости от расстояния L до лавы:

1 и *2* — расслоение соответственно кровли и почвы; *3* и *4* — несущая способность крепи соответственно общая и в средней части штрека

началось уже в 20—25 м перед лавой в связи с удалением одного ряда средних стоек для возможности передвижки погрузочной станции штрекового ленточного конвейера. Из-за этого удельное сопротивление крепи по оси штрека снизилось с 360 до 180 кН/м², в то время как общее расчетное сопротивление крепи благодаря установке прогонов по бокам штрека даже увеличилось со 180 до 270 кН/м². Расслоение боковых пород было приостановлено (а в кровле даже несколько уменьшено) лишь после того, как вслед за проходом лавы вновь установили полный комплект средних гидравлических стоек. Тем не менее вертикальное расслоение кровли на 80—100 мм было уже слишком большим, чтобы можно было приостановить начавшееся смятие и выдавливание в штрек породных слоев. Этот участок штрека оказался непригодным для запланированного повторного использования при отработке соседнего выемочного участка. Следовательно, высокое сопротивление крепи в широкой выработке с прямоугольной формой поперечного сечения должно сохраняться и на сопряжении с лавой. Не следует ослаблять крепь также при передвижке установленных в штреке дробильных установок или перегрузочных станций стационарных конвейеров.

7.6. ТРАПЕЦИЕВИДНАЯ КРЕПЬ, УСИЛИВАЕМАЯ АНКЕРАМИ

7.6.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РАСЧЕТ АНКЕРНОЙ И РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ

По причинам, о которых уже говорилось выше, для крепления выработок с прямоугольной формой поперечного сечения целесообразно применять лишь анкеры, закрепляемые в породном массиве по всей их длине.

Область применения только анкерной крепи. Анкерная крепь при прямоугольной форме поперечного сечения выработки используется преимущественно там, где из-за большой мощности пласта или необходимости пересечения кровли верхней частью контура выработки не могут быть обеспечены условия, благоприятные для придания выработкам арочной формы поперечного сечения. В связи с меньшими расходами на крепление при одинаковой площади поперечного сечения арочной форме следует отдавать предпочтение перед прямоугольной (при принципиальной возможности применения обеих форм).

В выработке с прямоугольной формой поперечного сечения не подрезанные ее контуром заанкерованные породные слои кровли имеют значительно большую ширину подверженного прогибу пролета, чем при арочной форме. Они более чувствительны к продольным и поперечным нагрузкам. Допустимая

7.43

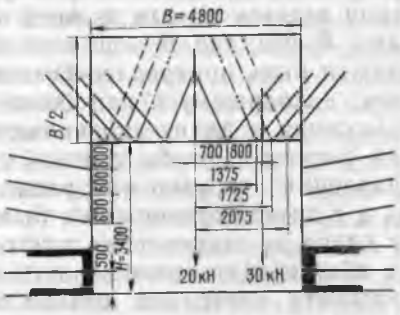
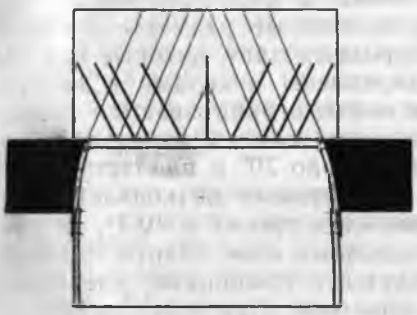


Рис. 7.43. Схема расположения анкеров при креплении штрека с прямоугольной формой поперечного сечения

Рис. 7.44. Схема крепления выработки анкерно-рамной крепью при отсутствии связи между анкерами и верхняками

Рис. 7.45. Схема крепления выработки анкерно-рамной крепью со связью анкеров с верхняками

7.44



7.45



поперечная деформация в пределах заанкерованных слоев, составляющая 2% мощности последних, в два раза меньше, чем для заанкерованного приконтурного массива в штреке с арочной формой. Столь малую деформацию можно ожидать лишь в том случае, если заанкерованные породы на высоту до 5 м над кровлей штрека состоят из достаточно толстых слоев с пределом прочности на сжатие более 30 МПа. Кровля в штреках с прямоугольной формой сечения, закрепленных анкерами, должна перед подходом лавы подхватываться прогонами, поддерживаемыми гидравлическими стойками. После прохода лавы и затухания конвергенции гидравлические стойки под прогонами могут быть заменены деревянными. В зонах краевых частей по соседним пластам давление после прохода первой лавы должно быть не более чем в 1,5—2 раза выше нормального для глубины 900 м. При таких ограничениях анкерную крепь при прямоугольной форме сечения выработок наиболее целесообразно применять только в однократно используемых выемочных штреках (на участке перед лавой) и в разрезных печах.

Оценка устойчивости кровли, закрепленной анкерами. В соответствии с предписаниями органов горного надзора расчет

крепи для выработок с прямоугольной формой поперечного сечения ведется исходя из веса породного блока в кровле размерами $B \cdot B/2$, где B — ширина выработки. Этот породный блок должен быть прикреплен боковыми анкерами к породному массиву, находящемуся над боками выработки (рис. 7.43). Место заложения и длину указанных анкеров следует выбирать с таким расчетом, чтобы с одной стороны из-за вертикального направления нагрузки они располагались как можно более круто, а с другой стороны они были достаточно пологими, поскольку длина их закрепления в массиве над стенками штрека должна обеспечивать возможность их нагрузки вплоть до предела прочности материала штанги на растяжение. Кроме того, они должны пересекать отделившийся от массива блок на достаточно большой длине, обеспечивающей возможность восприятия анкерами нагрузки от веса блока. В ходе дальнейших расчетов определяют максимально возможные размеры образующихся при расчленении блока породных плит, которые при тех же условиях должны быть прикреплены анкерами к ненарушенным породам. Эти породные плиты ограничиваются трещинами, исходящими из места заложения каждой анкерной скважины и идущими вверх под углом около 70° к напластованию. При таком угле наклона трение, действующее на контакте плоскостей отдельности (при коэффициенте трения $\mu = 0{,}4$), не способно предотвратить смещение породных плит. Плиты больших размеров, ограниченные более крутыми трещинами, удерживаются в массиве силами горного давления. При построении конфигурации породных плит идут послойно от боков выработки к середине. Протяженность породных блоков, удерживаемых анкерами, в направлении оси штрека задается заранее, исходя из принятого расстояния между рядами анкеров.

В противоположность рамной крепи, которая при перегрузках, как правило, деформируется, но сохраняет вначале достаточно высокую остаточную несущую способность, перегруженные анкеры сразу же разрушаются. По этой причине при расчете анкерной крепи учитывается не статическая нагрузка, а нагрузка от так называемого падения обрушиваемого блока с нулевой высоты. Поскольку анкеры, закрепляемые по всей длине скважины, устанавливают без предварительного натяжения штанги, указанную динамическую нагрузку не уменьшают на величину «усилия начального распора». В связи с этим нагрузку, которая должна восприниматься анкером, принимают равной удвоенной статической нагрузке от веса соответствующего блока.

В боках штрека также могут образовываться оконтуренные трещинами породные блоки, которые должны удерживаться анкерами от сползания. Кососекущие трещины, ограничивающие такие блоки, как и для случая с арочной крепью, наклонены к горизонтали под углом 70°. Коэффициент трения μ принимают равным 0,4.

Оценка устойчивости кровли при анкерно-рамной крепи. В штреках с прямоугольной формой поперечного сечения шириной до 6 м из-за размещения в призабойной зоне проходческого оборудования средние стойки могут быть установлены лишь на расстоянии 40 м, а иногда и 70 м от забоя. Обычные верхняки при подобной ширине пролета не в состоянии выдерживать без деформаций нагрузки, определяемые по предписанной органами горного надзора методике. В таких условиях вместо средних стоек могут быть установлены анкеры.

Анкерная и рамная крепи обладают весьма различной жесткостью. Их нельзя комбинировать в произвольных сочетаниях, поскольку существует опасность, что вся нагрузка будет вначале восприниматься анкерами, а на рамную крепь нагрузка начнет действовать лишь после разрушения последних.

Один из вариантов разделения функций анкерной и рамной крепей предусматривает, что нагрузка от веса отделившегося от массива блока должна восприниматься рамами штрековой крепи, а нагрузка от веса отдельных породных плит — анкерами. В этом случае анкеры не требуется соединять с верхняками, их можно устанавливать в промежутках между рамами (рис. 7.44).

Вторая разновидность анкерно-рамной крепи предусматривает соединение анкеров с верхняками (рис. 7.45). Анкеры располагают попарно с обеих сторон верхняков (в этом случае используются подхваты) или же вставляют в отверстия в верхняках. Верхняки в этом случае могут рассматриваться как затяжка, препятствующая обрушению крупных породных глыб между анкерами. Второй вариант требует меньшего числа анкеров, чем первый.

Уже отмечалось, что рамная крепь при кратковременных перегрузках деформируется, но все еще сохраняет довольно высокую остаточную несущую способность. Для стоек трапециевидной крепи это положение справедливо особенно в тех случаях, когда они являются податливыми. Для таких случаев вполне достаточно принимать в качестве расчетной статическую нагрузку от веса отделившегося от массива блока.

Анкерование при комбинированной анкерно-рамной крепи увеличивает прочность породных слоев кровли, не подрезанных контуром сечения штрека. В результате обеспечивается возможность применения штреков с прямоугольной формой поперечного сечения, имеющей существенные достоинства по факторам технологии проведения и поддержания выработки на участках сопряжения с лавой, на еще больших глубинах разработки, на которых до сих пор удавалось поддерживать штреки, закрепленные только крепью. Подобное расширение области их использования желательно для условий пластов с прочными породами кровли, на которых пока еще не могут экономично работать проходческие комбайны со стреловидными исполнительными органами.

7.6.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ В ШТРЕКАХ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ ФРАНЦИИ

Анкерная крепь без рамной крепи (чисто анкерная крепь). Применение чисто анкерной крепи заведомо недопустимо в тех выработках, где ожидаются большие деформации (над или под целиками и краевыми частями по соседним пластам, вблизи сбросов и других геологических нарушений, а также в выемочных штреках, поддерживаемых позади лавы). Кроме того, ее использование недопустимо при доле угольных прослойков в породных слоях кровли толщиной до 5 м более 20%.

В стандартной анкерной крепи применяются анкерные штанги из рифленой стали диаметром 20 мм со следующими характеристиками: усилие, соответствующее пределу текучести, — 100 кН; разрывное усилие — 200 кН; допустимое удлинение — 10—15%.

Анкерные штанги закрепляются в шпурах патронированным полиуретановым составом и снабжаются опорными плитами размером 18×18 см с прижимными гайками.

Длина анкера должна соответствовать не менее двум третям ширины штрека. Однако, как правило, применяют анкеры длиной 2,2 м, так как эта длина является максимальной для современного оборудования, применяемого при бурении анкерных шпуров и установке анкеров на преимущественно разрабатываемых пластах.

При выборе плотности анкерования руководствуются в большей мере эмпирическими, чем научно обоснованными данными. Плотность анкерования во всех случаях должна быть не меньше 1 анкера на 1 м². Однако в штреках, которые должны поддерживаться после прохода лавы, следует устанавливать не менее 1,3 анкера на 1 м².

В середине поперечного сечения штрека анкеры следует устанавливать перпендикулярно к напластованию породных слоев, у его боков — с наклоном к напластованию.

Рекомендуется не слишком большое предварительное натяжение анкерных штанг (100 кН). Это относится прежде всего к случаям, когда требуется прижать к кровле затяжку и предупредить высыпание породы у хвостовика анкера.

Считается безусловно необходимым применение затяжки кровли решетчатыми металлическими плитами и боков выработки проволочной сеткой (диаметр проволоки 3 мм, размер ячеек 5×5см). В последнем случае устанавливаются два анкера на 1 м².

Анкерование и затяжка кровли и боков выработки должны проводиться непосредственно после их обнажения при буровзрывном способе проведения (в любом случае до взрывания зарядов в очередной заходке).

К обязательным контрольным измерениям во всех выработках с анкерной крепью относятся измерения расслоения пород кровли на высоту до 2 м и конвергенции. Измерительные станции устраиваются через каждые 15 м по длине выработки. Измерения проводят не реже чем один раз в два дня.

При обнаружении аномального поведения кровли или при превышении определенных пределов измеряемых величин должны намечаться и осуществляться соответствующие меры по усилению крепления.

В качестве предельных критериев поведения кровли принимают:

максимально допустимые величины расслоения (50 мм) и конвергенции;

максимально допустимые значения скорости расслоения и конвергенции.

Для проведения контрольных измерений требуется следующий персонал: рабочий, проводящий измерения в двух-трех штреках в среднем на 30 замерных станциях; техник, контролирующий правильность измерений в 10—15 штреках; оператор на поверхности, переносящий результаты измерений на перфокарты и поддерживающий связь с вычислительным центром (примерно на 30 штреков).

Анкерно-рамная крепь, возводимая при проведении выработки. Следует обращать внимание на то, что применение комбинированной анкерно-рамной крепи нецелесообразно при очень неустойчивой (водоносной) или нарушенной кровле, а также в случае наличия в кровле на высоту до 5 м угольных прослойков, суммарная доля которых превышает 10%. В зонах влияния целиков и краевых частей по соседним пластам применение смешанной анкерно-рамной крепи не исключается, однако оно требует дополнительных мер по охране выработок.

В отношении анкерной крепи справедливы все рассмотренные выше требования. Металлические верхняки, закрепляемые анкерами, изготовляют из двойного U-образного спецпрофиля или спецпрофиля типа ТН. В качестве опор для верхняков применяют стойки из легких сплавов, устанавливаемые с помощью гидравлического домкрата с усилием начального распора 100 кН. При нагрузке 150 кН стойки проседают. Во избежание вдавливания в почву опоры стоек имеют площадь 250 см^2.

Кровлю между металлическими верхняками затягивают решетками, бока — такими же плитами, с помощью установленных под углом 27—40° к напластованию анкеров (2 анкера на 1 м^2). На мощных пластах и на пластах с очень мягким углем угольный массив упрочняют деревянными анкерами длиной не менее 2 м.

Анкеры следует устанавливать перед взрыванием шпуров в очередной заходке. Максимальное расстояние между забоем

и незаанкерованным и незатянутым участком выработки не должно превышать 30 м.

В связи с установкой усиливающих рам анкерную крепь можно контролировать менее строго, чем в случае использования чисто анкерной крепи. Тем не менее из-за сложных горно-геологических условий, в которых приходится поддерживать выработки в шахтах бассейна Нор и Па-де-Кале, состояние определенных выработок требует постоянного контроля.

7.6.3. ПАСПОРТА КРЕПЛЕНИЯ И ПОВЕДЕНИЕ ВЫРАБОТОК ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ

На шахте «Цольферейн» в штреках с рамно-анкерной крепью применялись сталеполимерные анкеры с закреплением по всей длине шпуров (рис. 7.46, *а*). Длина анкеров 1,8 м, диаметр 22 мм. При диаметре анкерных шпуров 33 мм в каждую скважину вводили по два патрона длиной по 750 мм с быстротвердеющим полимерным закрепляющим составом. Хвостовики анкеров соединяли плоскими металлическими подхватами с овальными отверстиями.

Первый штрек крепью подобного типа был пройден по пласту «Эрнестина». Непосредственная кровля пласта была представлена глинистыми и песчанистыми сланцами. Следует отметить отсутствие в породах кровли слоя прочного песчаника, к которому можно было бы «прикрепить» непосредственную кровлю. Предел прочности пород кровли 24—48 МПа. Штрек проводили вдоль выработанного пространства ранее отработанного участка. Между штреком и выработанным пространством оставляли угольный целик шириной 2—3 м.

Гидравлические стойки, устанавливавшиеся примерно в 8 м от забоя штрека, удалялись перед погрузочным пунктом на сопряжении штрека с лавой и сразу же устанавливались вновь за лавным конвейером. При этом ряд стоек в средней трети штрека оставался на месте от забоя и до участка, находившегося в 40 м за лавой, причем из него даже временно не удаляли ни одной стойки.

Боковые стойки штрековой крепи были удалены от выработки на довольно значительное расстояние во избежание повреждения при выдавливании пласта в штрек. Удельное сопротивление крепи в зависимости от числа стоек, приходившихся на один ряд анкеров, составляло от 120 до 180 кН/м². В других штреках (рис. 7.46, *б* и *в*) на участках с гидравлическими стойками параллельно оси штрека устанавливали металлические шарнирные верхняки, а на участках с деревянными стойками — деревянные верхняки.

Для предотвращения вывалов угля при подходе очистного забоя пласт со стороны лавы упрочняли деревянными анкерами длиной по 1,4 м. В целях повышения несущей способности боков штрека крайние анкеры в кровле выработки располага-

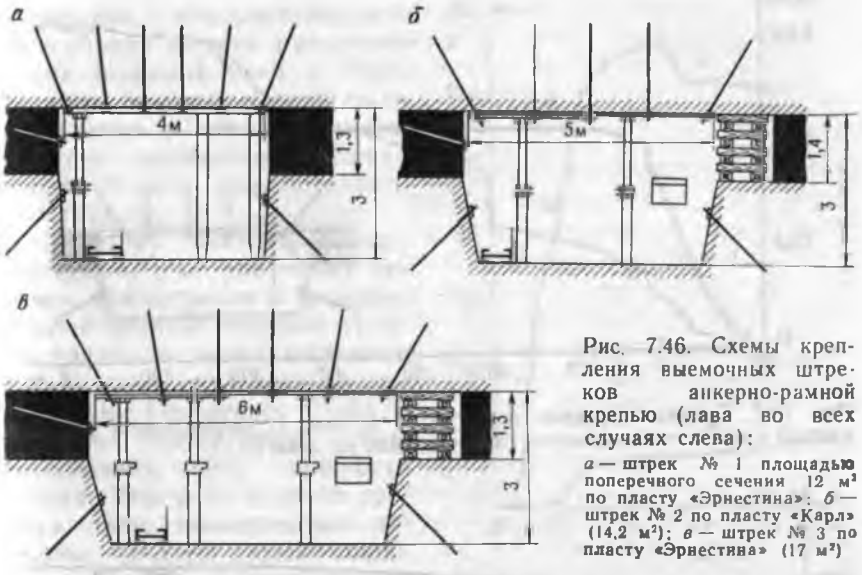


Рис. 7.46. Схемы крепления выемочных штреков анкерно-рамной крепью (лава во всех случаях слева):

а — штрек № 1 площадью поперечного сечения 12 м² по пласту «Эрнестина»; *б* — штрек № 2 по пласту «Карл» (14,2 м²); *в* — штрек № 3 по пласту «Эрнестина» (17 м²)

ли под углом к напластованию. Опыт французских шахт показывает, что подобными наклонными сталеполимерными анкерами выдавливание стенок может быть уменьшено на 30—50 %.

Анкерно-рамная крепь требует более тщательного выполнения работ по проведению и креплению выработки, а также более тщательного контроля за состоянием боковых пород, чем, например, арочная крепь. Этим обусловлена необходимость в более строгом инженерно-техническом надзоре за проведением выемочных штреков, чем обычно принято. После примерно двухлетних испытаний анкерно-рамной крепи были достигнуты ощутимые экономические результаты. Уже сегодня затраты на проведение штреков с анкерно-рамной крепью меньше, чем на проведение штреков с арочной крепью, при одинаковой площади поперечного сечения. Расходы на поддержание штреков, транспорт, а также на извлечение и ремонт крепи значительно ниже, чем в сопоставимых выработках с обычной крепью.

Смещение боков штрека, закрепленного анкерно-рамной крепью и охраняемого со стороны выработанного пространства узким угольным целиком (см. рис. 7.46, *а* и *б*), характеризуется графиком (рис. 7.47). На участке от забоя штрека до лавы его ширина уменьшилась на 0,4 м. Примерно в 120 м за лавой взаимное сближение стенок штрека уже превысило 1 м. Наибольшему смещению подвергся нижний (по падению пласта) бок штрека, который в данном случае примыкал к целику шириной 2—3 м, отделявшему выработку от выработанного пространства. По мере удаления лавы горизонтальные сдвижения боковых пород затухают.

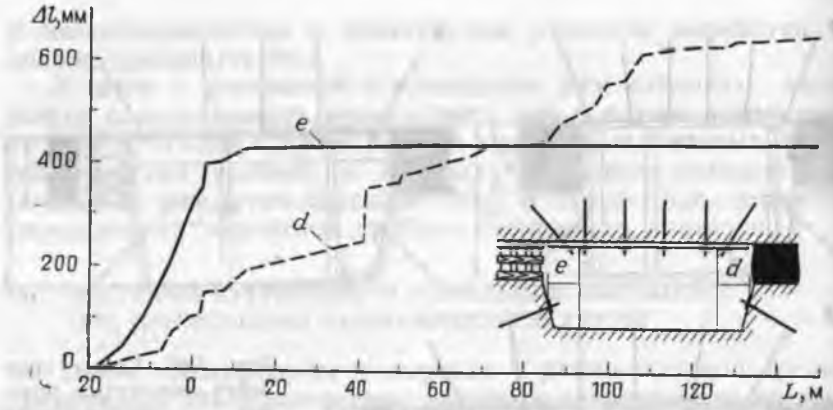


Рис. 7.47. График смещения боков Δl в штреке 1, закрепленном анкерно-рамной крепью, в зависимости от расстояния до лавы L

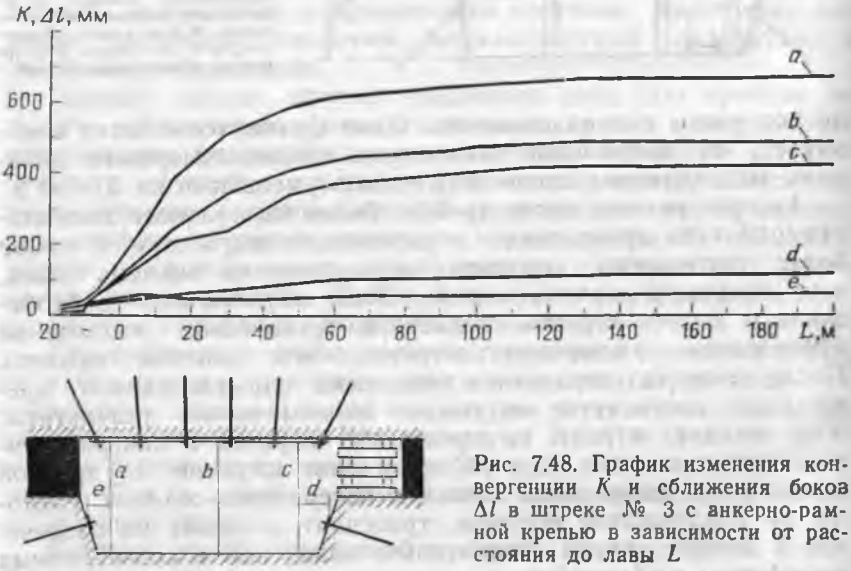


Рис. 7.48. График изменения конвергенции K и сближения боков Δl в штреке № 3 с анкерно-рамной крепью в зависимости от расстояния до лавы L

Вертикальная и горизонтальная конвергенции в штреке (см. рис. 7.46, *в*), с одной стороны которого находился достаточно широкий угольный целик, характеризуются графиком (рис. 7.48). В этом штреке смещение боков было значительно меньше,чем в штреке 1. Вплоть до подхода лавы, т. е. на длине опережающей части штрека 25 м, его ширина уменьшилась всего лишь на 90 мм, а в 120 м за лавой — на 165 мм. Причина меньшего сближения боков заключается, по-видимому, в меньшем давлении, так как опорная нагрузка была распределена на значительно большей площади угольного массива по

сравнению с тем случаем, когда в стенке штрека находился целик шириной 2—3 м. Кроме того, боковые породы были разрушены в меньшей мере, чем при проведении штрека вдоль старого выработанного пространства.

Характер изменения конвергенции (см. рис. 7.48) типичен для штреков с анкерно-рамной крепью. Перекос кровли (разность между кривыми *a* и *c*) был относительно небольшим. Примерно в 150 м за лавой конвергенция соответствовала 60% мощности пласта. Уже в 40 м после прохода лавы конвергенция достигла четырех пятых конечной величины, после чего процесс оседания пород замедлился. В 200—300 м за лавой кривая конвергенции приближается к величине, соответствующей около 70% вынимаемой мощности пласта. При этом конечная величина конвергенции зависит от различных факторов, таких, как способ управления кровлей в лаве, срок поддержания выработки и свойства боковых пород.

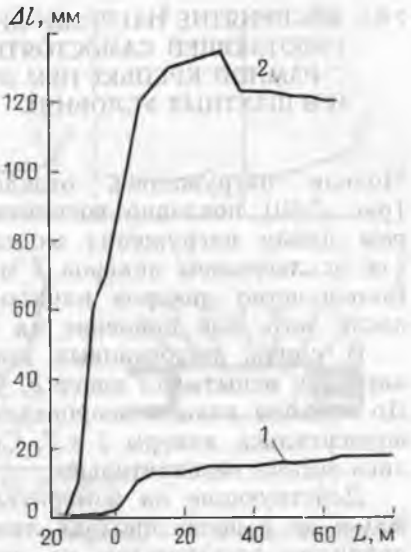


Рис. 7.49. График расслоения пород кровли Δl в зависимости от расстояния до лавы L в штреке № 3 с анкерно-рамной крепью (*1*) и в вентиляционном штреке с шарнирной арочной крепью (*2*)

При измерениях конвергенции учитывалось также расслоение пород кровли. На графике (рис. 7.49) приведены кривые расслоения кровли в штреке № 3 с анкерно-рамной крепью и в вентиляционном штреке того же участка, закрепленном двухзвенными шарнирными арочными рамами с деревянными прогонами в своде арки, дополнительными стойками у верхнего бока и охранявшемся деревянными кострами у нижнего бока. Несмотря на применение в вентиляционном штреке такой крепи, расслоение кровли на расстоянии 60 м от лавы было примерно в семь раз больше, чем в штреке с анкерно-рамной крепью, хотя последний был на 1,5 м шире. В штреке № 3 расслоение породной толщи непосредственной кровли мощностью 3 м составило всего 2 см. Применительно к средним условиям данной шахты его можно считать очень небольшим. В этом, по-видимому, заключается наиболее заметный эффект от применения анкерно-рамной крепи, он лишний раз подтверждает, что мероприятия по повышению устойчивости выемочных штреков должны одновременно предусматривать предотвращение расслоения боковых пород.

7.6.4. ВОСПРИЯТИЕ НАГРУЗКИ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ, РАБОТАЮЩЕЙ САМОСТОЯТЕЛЬНО И В КОМБИНАЦИИ С РАМНОЙ КРЕПЬЮ, ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА МОДЕЛЯХ И В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

Модели нагружались отдельными циклами. На графиках (рис. 7.50) показано восприятие нагрузки анкерами при втором цикле нагружения модели. Предварительное натяжение (за исключением анкеров *7* и *8*) составляло около 100 кН. Большинство анкеров начало воспринимать нагрузку только после того, как давление на модели достигло 15 МПа.

В слоях, подрезанных контуром выработки, наибольшую нагрузку испытывал анкер *8*, установленный в боку выработки. До подхода лавы в непрорезанных слоях наибольшей нагрузке подвергались анкеры *1* и *7*. Соседние с ними анкеры нагружались весьма незначительно.

Действующие на измерительные анкеры на глубине 700 и 800 м до и после прохода лавы нагрузки характеризуются величинами, указанными на рис. 7.51. Нагруженность анкеров на глубине 800 м соответствует их конечному состоянию, показанному на графиках (см. рис. 7.50). Направление и длина стрелок соответствуют расположению и нагруженности (в определенном масштабе) анкеров.

Таким образом, с увеличением давления нагрузка на анкеры распределяется более равномерно. После прохода лавы наблюдается повышение нагрузок на анкеры, особенно на расположенные в породах над боками выработки и по пласту. Кроме того, после прохода лавы ближайшие к оставшемуся с одной стророны штрека угольному массиву анкеры (примерно до середины ширины штрека) нагружаются сильнее, чем остальные, которые разгружаются и могут даже выпасть из шпуров, если только они не закреплены в массиве по всей их длине.

На графиках (рис. 7.52) сравниваются характеристики чисто анкерной крепи (штриховые линии) и анкерно-рамной (сплошные линии) крепи при первом нагружении модели до давления, соответствующего глубине 700 м. Удельное сопротивление рамной крепи в модели составляло 200 кН/м². В обеих моделях штреки имели вполне удовлетворительное состояние, а характер развития конвергенции в них по мере увеличения нагрузки был совершенно идентичен (см. график в нижнем правом углу на рис. 7.52).

Таким образом, благодаря установке рамной крепи начальное натяжение анкеров, расположенных точно посредине между рамами, уменьшилось на 10—40 кН. Разгрузились также анкеры, установленные в боках штрека параллельно напластованию. По сравнению с чисто анкерной крепью обеспечено более равномерное распределение нагрузки между анкерами.

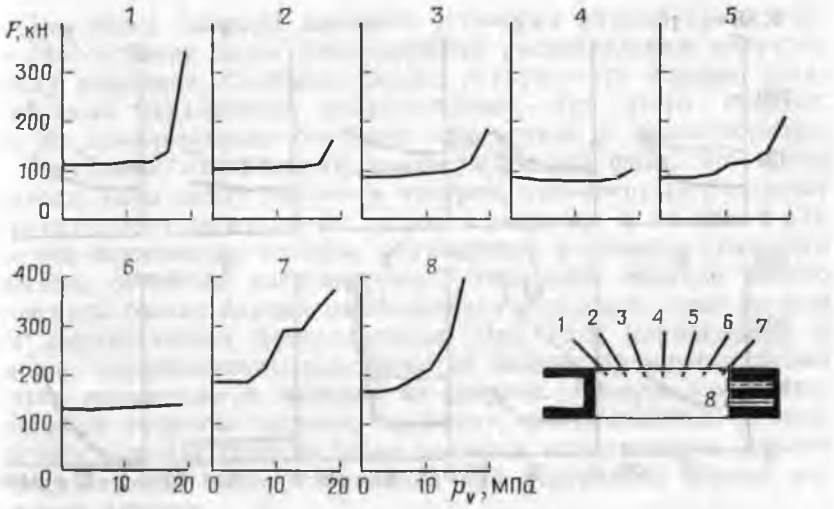


Рис. 7.50. Графики восприятия нагрузки F анкерами *1—8* в зависимости от вертикального давления $p_в$

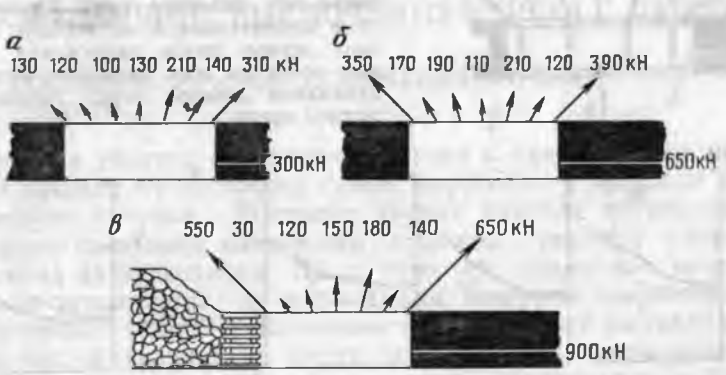
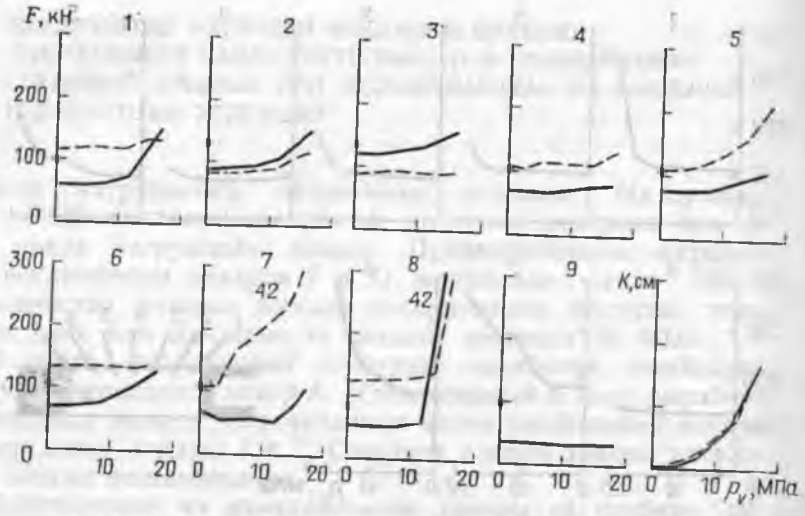


Рис. 7.51. Восприятие нагрузок отдельными анкерами до и после прохода лавы:

а — на глубине 700 м при первом нагружении модели; *б* — на глубине 800 м при втором нагружении модели; *в* — на глубине 1050 м при опускании кровли над выработанным пространством

Второй цикл нагружения модели соответствовал глубине 800 м (рис. 7. 53). При чисто анкерной крепи (штриховые линии) наблюдалось смятие породных слоев почвы и их выдавливание. При анкерно-рамной крепи состояние кровли и почвы было вполне удовлетворительным. Резкое увеличение конвергенции на модели штрека с чисто анкерной крепью (см. график в правом нижнем углу на рис. 7.53) было вызвано поднятием смятой почвы.

Можно сделать вывод, что при чисто анкерной крепи наибольшей нагрузке подвергаются анкеры над боками штрека.



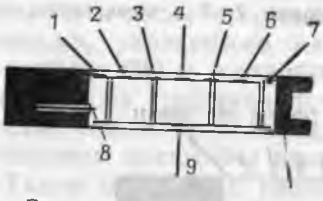
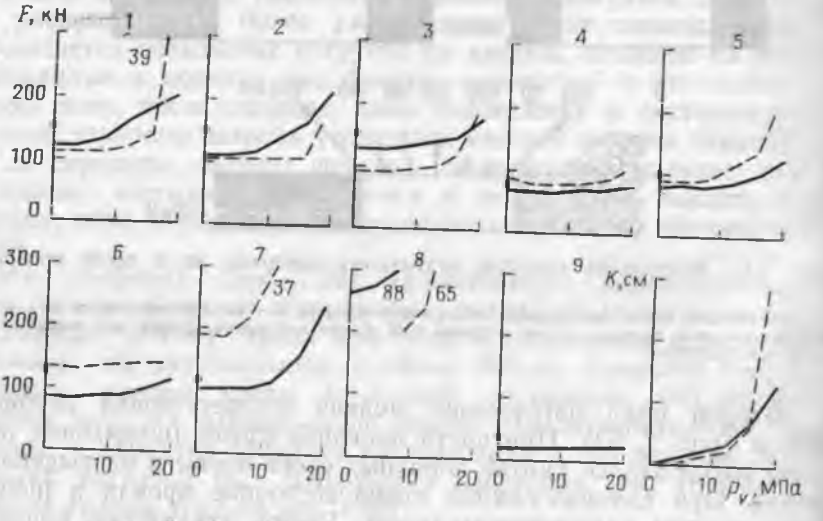


Рис. 7.52. Графики восприятия нагрузки F анкерами *1—9* в зависимости от вертикального давления p_v и характеристика конвергенции K на глубине 700 м (при первом цикле нагружения модели); точки на осях ординат — величина натяжения анкеров перед установкой рамной крепи



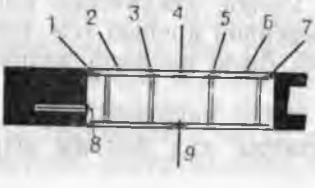


Рис. 7.53. Графики восприятия нагрузки F анкерами *1—9* в зависимости от вертикального давления p_v и характеристика конвергенции K на глубине 800 м (при втором цикле нагружения модели)

При более высоком давлении установка рамной крепи также способствует более равномерному распределению нагрузок между анкерами. Особенно сильно нагружаются анкеры, установленные параллельно напластованию. Из этого следует, что их использование особенно эффективно и целесообразно.

Шахтными измерениями подтвержден тот факт, что после прохода лавы около половины анкеров, наклоненных в сторону выработанного пространства, теряют нагрузку, в то время как все без исключения анкеры, обращенные в сторону угольного массива, остаются нагруженными. Указанное явление можно объяснить только взаимным смещением породных слоев кровли над выработанным пространством. При этом наклоненные в сторону выработанного пространства анкеры принимают более крутое положение и выходят из шпуров. Анкеры с противоположной стороны штрека, наоборот, растягиваются и подвергаются соответственно более высоким напряжениям. Аналогичная картина была установлена при измерениях усилия натяжения анкеров.

7.7. СОПРЯЖЕНИЕ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА С ЛАВОЙ

7.7.1. СОСТОЯНИЕ УЧАСТКА СОПРЯЖЕНИЯ ШТРЕКА С ЛАВОЙ

Состояние участка сопряжения штрека с лавой в значительной мере зависит от состояния самой выработки и площади ее поперечного сечения. Причины частых случаев неудовлетворительного состояния выемочных штреков кроются обычно в условиях их проведения. Из-за того, что закрепное пространство не заполняется, не подрезанные контуром выработки породы кровли получают возможность смещаться и выдавливаться в штрек. В результате отсутствия бокового отпора подрезанные породные слои в боках штрека разупрочняются и раздавливаются, что ведет к разрушению кровли пласта над выработкой еще до подхода лавы.

Изменение конвергенции в штреке в зависимости от расстояния до лавы характеризуется графиком (рис. 7.54). Из него видно, что к моменту подхода лавы конвергенция составляет 18 %, а после отхода лавы на 50 м — около 50 % первоначальной высоты штрека. Отклонения равны ± 20 % средней величины (штриховые линии на рис. 7.54).

Соответствующие изменения площади поперечного сечения и ширины штрека по почве характеризуются кривыми, приведенными на графике (рис. 7.55). Измерения показали, что в данном случае к моменту подхода лавы ширина штрека (параметр, особенно важный для размещения оборудования) уменьшилась на 0,5 м, а в 50 м за лавой — примерно на 1 м по сравнению с начальной. Подобным же образом изменилась площадь

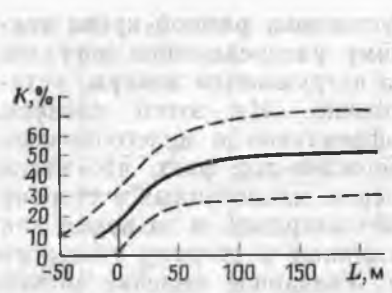


Рис. 7.54. График изменения конвергенции K в штреке, пройденном с опережением лавы, в зависимости от расстояния до лавы L (по В. Каммеру)

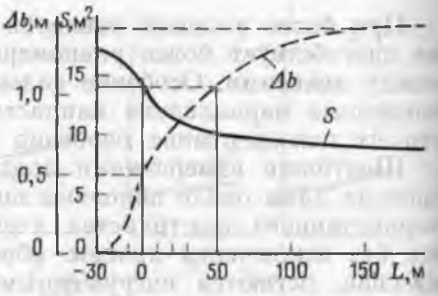


Рис. 7.55. График сближения боков выработки по почве Δb и уменьшения площади поперечного сечения S выемочного штрека в зависимости от расстояния до лавы L (исходная ширина выработки по почве $b=5{,}5$ м, исходная площадь поперечного сечения $S=17$ м²)

поперечного сечения, уменьшившаяся с 17 м² до 14 м² на сопряжении с лавой и до 8,5 м² в 200 м за лавой.

Несмотря на многочисленность факторов, определяющих оформление сопряжения штрека с лавой, можно выделить три основных типа сопряжений, отличающихся друг от друга расположением привода лавного конвейера (в лаве или на штреке) и способом разгрузки угля с забойного конвейера (табл. 7.12).

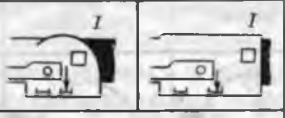
Данные о требуемой ширине штрека на сопряжении с лавой и в 200 м за лавой при различном оформлении перегрузочного пункта под лавой с учетом средней конвергенции приведены в табл. 7.13. В ней указаны также исходные величины площади поперечного сечения и ширины штрека по почве.

Для участков с обратным порядком отработки по технико-экономическим соображениям учитывался лишь наиболее благоприятный тип оформления перегрузочного пункта. Первые три типа (см. табл. 7.13) предусматривают вынос привода лавного конвейера в штрек. Такое оформление сопряжения является преобладающим на пологих пластах. Размещение оборудования по поперечному сечению штрека во всех указанных трех случаях одинаково. Транспортное отделение (с подвесной монорельсовой дорогой), как это делается обычно на практике, расположено у противоположного лаве бока штрека. Подобное его расположение обусловлено следующим:

высота штрека на сопряжении недостаточна, чтобы можно было пропускать транспортные сосуды подвесной монорельсовой дороги над вынесенным на штрек приводом лавного конвейера; требуемое для этого свободное пространство часто бывает загромождено элементами усиливающей крепи;

во всех случаях стремятся к тому, чтобы устраивать в штреке отделения для транспортировки угля, доставки мате-

Таблица 7.12

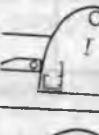
Боковые породы	Мощность пласта, м	Способ разгрузки			
		обычный		боковой	
Устойчивые	<1,5				
	>1,5				
Средней устойчивости	<1,5				
	>1,5				
Неустойчивые	<1,5			—	
	>1,5			—	

Примечание. *I* и *III* — вынесенные на штрек приводы соответственно с обычной и боковой разгрузкой,
II — размещенный в лаве привод с обычной разгрузкой

риалов и прохода людей сквозными, без взаимных пересечений от начала штрека и до забоя, поскольку места пересечения требуют дополнительного пространства и нередко приводят к нарушениям нормального производственного процесса.

При использовании перегрузочного пункта четвертого типа (см. табл. 7.13) привод конвейера находится в лаве. При этом обеспечивается как максимальное использование площади поперечного сечения штрека, так и его устойчивость в связи с отсутствием необходимости в удалении стоек рам штрековой крепи. В то же время такой тип перегрузочного пункта обладает известными недостатками: трудностью передачи потока угля на штрековый конвейер, заштыбовкой нижней ветви скребковой цепи лавного конвейера, дополнительными расходами на устройство машинной ниши. Начальная площадь поперечного сечения штрека при размещении привода конвейера в лаве должна быть лишь ненамного меньше 13,5 м², так как в противном случае на участке в 200 м за лавой при нормальном развитии конвергенции в штреке будет недоставать места для устройства двух отделений.

Таблица 7.13

Порядок отработки	Размещение раз — грузочной головки забойного конвейера	Способ разгрузки	Место разделения штрека на отделения		Ширина штрека по почве, м		Площадь поперечного сечения штрека, м²	
			на сопряжении лавы со штреком	в 200 м от сопряжения лавы со штреком	исходная	в 200 м от лавы (впереди или сзади)	исходная	в 200 м от лавы (впереди или сзади)
Прямой	На штреке	Обычный			5,3	4,1	15,6	9,5
					6,4	5	21,5	14
		Боковой			5,3	4,1	15,6	9,5
	В лаве	Обычный			4,8	3,9	13,5	8,5
Обратный	На штреке	Боковой			4,6	4,4	12,5	11,5
					4,6	4,4	12,5	11,5

Примечание. *I* — возможно устройство отдельного прохода для людей;
II — возможно его устройство условно

Наименьшая площадь поперечного сечения штрека требуется при отработке выемочного участка в обратном порядке. В этом случае для перегрузочных пунктов (см. табл. 7.13) при арочной и прямоугольной крепи требуемая начальная площадь поперечного сечения штрека составляет 12,5 м², а ширина штрека по почве — около 4,6 м. Эти размеры относятся к случаю применения головок конвейера с боковой разгрузкой.

Анализ различных типов оформления участков сопряжения лавы со штреком с учетом требуемой площади поперечного сечения позволяет сделать следующие выводы:

применение приводов лавного конвейера с боковой разгрузкой обеспечивает возможность уменьшения ширины штрека на 1 м. Первоначальная площадь поперечного сечения штрека может быть сокращена с 20 до 16 м²;

при размещении привода забойного конвейера в лаве возможно дальнейшее уменьшение требуемой начальной площади поперечного сечения штрека до 13,5 м² при сохранении достаточного пространства для одновременного выполнения на участке сопряжения нескольких рабочих процессов;

на участках, отрабатываемых в обратном порядке, требуется наименьшая начальная площадь поперечного сечения штрека — 12,5 м²;

на участках с прямым порядком отработки при принятой в настоящее время начальной площади поперечного сечения штрека 17 м² после прохода лавы в конвейерных штреках, как правило, можно устранить только два отделения; оборудовать отдельный ходок для людей в любом случае невозможно.

7.7.2. РАЗРУШЕНИЕ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА НА СОПРЯЖЕНИИ ШТРЕКА С ЛАВОЙ И МЕРЫ ПО УСИЛЕНИЮ КРЕПИ

Последствия недостаточно эффективных мер по охране штрека, реализованных непосредственно при его проведении, сказываются в зоне сопряжения с лавой нередко уже при первом и почти всегда при повторном использовании выработки. Они заключаются в повышенной вертикальной и горизонтальной конвергенции, разрушении крепи под действием сосредоточенных нагрузок и выдавливании ее элементов в закрепное пространство, а также в разрушении непосредственной кровли и почвы пласта на пересечении с контуром штрека. В результате вывала породы из непосредственной кровли пласта подхватить верхние сегменты арочной крепи зачастую удается лишь путем трудоемкой установки боковых консольных подхватов или прогонов со средними стойками (рис. 7.56).

При незаполненном закрепном пространстве большая вертикальная конвергенция приводит к весьма неравномерной просадке арок штрековой крепи в податливых соединениях со стороны лавы с последующим перекосом межрамных соединений.

Неравномерное нагружение арочных рам со стороны выработанного пространства наблюдается прежде всего в выемочных штреках по наклонным пластам (рис. 7.57, *а*). Нависающая кровля пласта, поддерживаемая податливыми деревянными кострами, оседает по нормали к напластованию таким образом, что стойки симметричных арочных рам выгибаются в полость штрека. В дальнейшем под влиянием вертикальной кон-

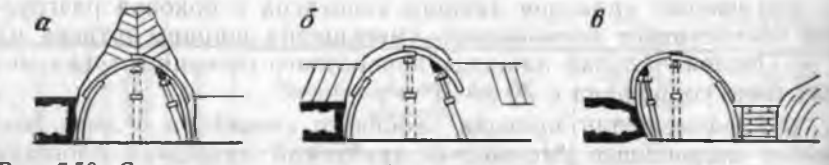


Рис. 7.56. Схемы усиления арочной крепи на сопряжении штрека с лавой при повышенной вертикальной конвергенции (*а*), вывале пород из непосредственной кровли пласта на контуре выработки (*б*) и повышенной горизонтальной конвергенции бока выработки со стороны угольного массива (*в*)

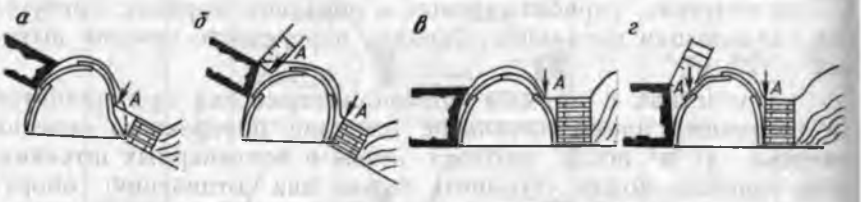


Рис. 7.57. Схемы оседания кровли над выработанным пространством при симметричных (*а*, *в*) и асимметричных (*б*, *г*) арочных рамах:
А — место приложения сосредоточенной нагрузки

вергенции частично изогнутые стойки арочных рам окончательно деформируются. Такого рода деформации крепи можно избежать, если применять асимметричные арочные рамы, в которых находящиеся со стороны лавы стойки настолько смещены в штрек, что кромка кровли пласта при опускании скользит по ним, не деформируя стойки (рис. 7.57, *б*).

На пологих пластах при использовании податливых костров и расположении узла податливости арки на уровне кромки непосредственной кровли пласта могут происходить аналогичные деформации штрековой крепи после прохода лавы (рис. 7.57, *в*). При этом неравномерное точечное нагружение арочных рам может наблюдаться и со стороны, противоположной лаве, в случае отсутствия заполнения закрепного пространства. Применение в таких условиях асимметричных арочных рам не позволяет избежать деформаций (рис. 7.57, *г*) и поэтому является нецелесообразным. В то же время при заполнении закрепного пространства и возведении жестких околоштрековых полос из материалов, быстро воспринимающих нагрузку, можно предупредить появление подобных деформаций крепи и существенно уменьшить конвергенцию в выемочном штреке.

По фактору поддержания кровли на сопряжении штрека с лавой целесообразно выносить приводы забойных конвейеров на штрек, так как это позволяет возводить околоштрековую полосу с минимальным отставанием от лавы. В выемочных штреках, в которых не были предприняты своевременные меры по снижению конвергенции, работы по подрывке почвы и удалению ножек арочных рам на сопряжении штрека с лавой сдерживают подвигание очистного забоя. И, наконец, при слиш-

ком сильной конвергенции привод должен оставаться в лаве, хотя это связано с необходимостью устройства машинной ниши (нередко с подрывкой кровли), увеличивающей ширину зоны сопряжения штрека с лавой, и с отставанием возведения околоштрековой полосы, сказывающемся на конвергенции в штреке.

При повышенной мощности пласта, особенно наклонного, кромка его непосредственной кровли находится в зоне верхних сегментов рам арочной крепи. В этом случае арки необходимо подхватывать на достаточно большой высоте над почвой, что возможно только при применении прогонов, поддерживаемых средними стойками, или подхватов с консольными опорными хомутами. Подобное усиление крепи требует применения стоек большой длины и обусловливает значительную ширину незакрепленного пространства между штрековой крепью и первым рядом стоек в машинной нише. Указанные проблемы с поддержанием штрека на сопряжении с очистным забоем разрешимы при размещении привода конвейера в лаве, которое, в свою очередь, связано с другими, уже упоминавшимися выше недостатками.

7.7.3. УПРОЧНЕНИЕ БОКОВ ШТРЕКА ПОЛИУРЕТАНОМ И МАГНЕЗИАЛЬНЫМИ ВЯЖУЩИМИ

Неполное заполнение закрепного пространства при проведении штрека ведет к недостаточному подпору породных слоев кровли и последующему разупрочнению приконтурного породного массива при приближении лавы. На сопряжении штрека с лавой и в машинной нише нередко происходят вывалы пород из нарушенной кровли. Заблаговременное нагнетание тампонажных растворов в породный массив имеет целью упрочнить нарушенные породы или же по меньшей мере сохранить их устойчивость на период прохода лавы.

Для кратковременного закрепления пород применяется преимущественно полиуретан — двухкомпонентный быстротвердеющий полимерный состав. Наряду с высокой склеивающей способностью он обладает большой эластичностью, которая зависит в основном от коэффициента вспенивания.

Для длительного упрочнения нарушенных пород, подвергающихся значительному горному давлению, необходимы тампонажные растворы, которые наряду с высоким сцеплением с горными породами обладают большой прочностью на сжатие.

Тампонажные растворы обоих типов нагнетаются в скважины с помощью высоконапорных насосов и герметизаторов скважин. Расположение инъекционных скважин и расстояние между ними определяются степенью нарушенности породного массива и свойствами (текучестью) упрочняющего состава.

В связи с тем, что упрочнение пород полиуретаном достаточно подробно освещено выше, основное внимание в настоя-

щем разделе уделено упрочнению пород магнезиальными вяжущими.

Разработанное компанией «Саарбергверке» магнезиальное вяжущее является, подобно цементному вяжущему, неорганическим тампонажным материалом, пригодным для упрочнения как угля, так и боковых пород. Тампонажный раствор, приготовленный на основе магнезиального цемента «Сорель», состоит из концентрированного раствора хлорида магния, жженой магнезии и бентонитовой муки. Характеристики схватывания и механические свойства магнезиального вяжущего определяются, в частности, видом и количеством окиси магния. Магнезиальный тампонажный раствор, состоящий из 53% (по массе) концентрированного раствора $MgCl_2$, 31% жженой магнезии и 16% бентонита при температуре 25 °С схватывается в течение 3 ч. Через 24 ч тампонажный камень достигает предела прочности на сжатие 30 МПа и на растяжение при изгибе 10 МПа. При более высокой температуре процесс схватывания ускоряется, а конечная прочность достигается раньше.

При экспериментах по упрочнению угольного массива и боковых пород удавалось восстанавливать в течение 24 ч первоначальную агрегатную прочность материала независимо от ширины раскрытия трещин. Сцепление вяжущего с поверхностями скольжения пока еще недостаточно велико по сравнению со сцеплением с поверхностями трещин изломов.

Магнезиальные тампонажные растворы применяются в Саарском бассейне для упрочнения угольных массивов, а в Рурском бассейне — для упрочнения боковых пород.

Преимущественной областью применения магнезиального вяжущего является, наряду с упрочнением приконтурного массива в капитальных горных выработках, упрочнение контура выемочных штреков на сопряжении с лавой. Упрочнение контура выемочных штреков особенно необходимо при их повторном использовании.

В одном из случаев до применения упрочнения на каждом метре длины выемочного штрека из его кровли и боков вываливалось не менее 2 м³ породы. Благодаря упрочнению как магнезиальным вяжущим, так и полиуретаном, объем вывалов был уменьшен до 0,3 м³.

Для упрочнения нарушенных породных слоев в боку штрека примерно в 50 см над кровлей пласта бурят восстающие инъекционные скважины. Их длина определяется буримостью пород и глубиной подлежащей упрочнению зоны.

Хотя при применении магнезиальных тампонажных растворов скважины можно бурить с промывкой водой, при сильно нарушенных и размокающих породах следует использовать сухое бурение. Расстояние между инъекционными скважинами выбирается в зависимости от степени нарушенности пород.

До сих пор на практике встречались три типа нарушенных пород. При мелкоблочном разрушении вследствие относительно

высокого сопротивления фильтрации тампонажного раствора вокруг скважины образуется широкий инъекционный конус. Расстояние между скважинами принимается в подобном случае по минимальной глубине упрочняемой зоны. Для такого типа нарушенных пород, наиболее благоприятного для применения магнезиальных тампонажных растворов, расстояние между инъекционными скважинами составляет 3—6 м.

При крупноблочном разрушении с образованием открытых в сторону штрека широких трещин образуются острые инъекционные конусы. Скважины следует бурить с меньшим интервалом (1—4 м). Из-за малого сопротивления фильтрации тампонажный раствор преждевременно начинает вытекать из раскрытых трещин, частичное просачивание раствора наблюдается также из уже затампонированных трещин. В подобных случаях тампонирование может быть успешным, если открытые в сторону штрека трещины будут предварительно закупорены, например, слоем набрызгбетона. В настоящее время утечки тампонажного раствора из трещин компенсируются дополнительным (повторным) тампонированием.

При третьем типе нарушенных пород (который характерен например, для выемочных штреков по пласту «Диккебанк») трещины не раскрываются даже после прохода лавы. Для успешного упрочнения таких пород целесообразно нагнетание под высоким давлением, обеспечивающим раскрытие всей системы трещин и возможность проникновения упрочняющего раствора в массив. Такие породы являются предельным случаем применения любого метода упрочняющего тампонирования.

Инъекционные скважины должны располагаться таким образом, чтобы они пересекали все подлежащие упрочнению слои пород. Практика показывает, что через одну скважину можно упрочнить породные слои толщиной около 1,5 м. Если кровля пласта на контуре выемочного штрека нарушена на бо́льшую высоту или же в лаве образуются вывалы, инъекционные скважины следует бурить так, чтобы каждая вторая скважина достигала пород выше полости вывала.

Подобный случай расположения инъекционных скважин показан на рис. 7.58. На контуре штрека глинистый сланец, находившийся над пластом мощностью 1,2 м, обрушался в лаве на высоту до 2,8 м (вплоть до залегавшей выше него толщи песчаника). Перед подходом лавы из штрека бурили инъекционные скважины на расстоянии 1—1,5 м одна от другой таким образом, что каждая вторая скважина доходила до плоскости ослабления на контакте с песчаником. После тампонирования удалось упрочнить кровлю в лаве по всей длине вывала.

Как показала практика, инъекционные скважины оказалось наиболее целесообразным бурить в упрочняемые породы примерно в 10 м перед лавой перпендикулярно к оси штрека с

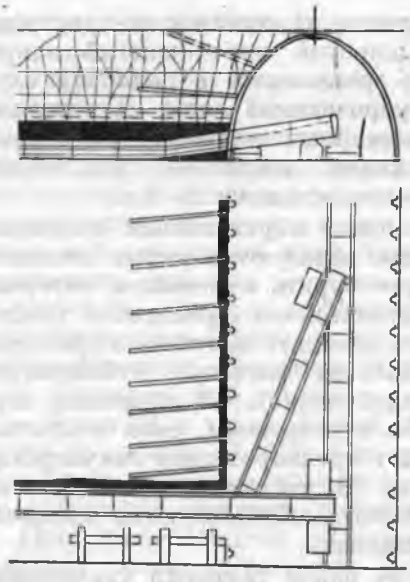


Рис. 7.58. Схема расположения инъекционных скважин

небольшим подъемом. Глубина скважин в 2—3,5 м определялась применявшейся техникой бурения.

Вследствие малой вязкости магнезиального тампонирующего раствора нагнетание рекомендуется осуществлять с подачей в наиболее глубокую часть скважины. Поэтому инъектор вводили в скважину на полную длину и герметизировали.

Закачивание тампонажного раствора в скважину прекращали:

в случае благоприятных условий тампонирования при «запотевании» поверхности породы вокруг скважины на значительной площади;

в случае менее благоприятных условий тампонажа при просачивании раствора в штрек через широкие трещины;

при превышении объема закачиваемого в одну скважину раствора 500 л (в подобных случаях следует предполагать утечку раствора в глубь массива по раскрытым трещинам);

при давлении нагнетания, равном развиваемому насосом давлению.

Разработанный компанией «Саарбергверке» метод упрочнения горных пород магнезиальными вяжущими исследовался в институте «Бергбау-форшунг» в отношении прочности сцепления затвердевшего магнезиального вяжущего с породами. Результаты этих исследований имеют важное значение для практического применения магнезиальных вяжущих при упрочнении нарушенных пород в шахтах.

Мерой прочности скрепления породы магнезиальным вяжущим является прочность на растяжение при изгибе предварительно разломленной при изгибе и затем «склеенной» магнезиальным вяжущим породной призмы. Для магнезиальных вяжущих эта прочность составляет от одной третьей до одной шестой прочности на сжатие, так что последняя может служить мерой прочности скрепления. Как показали лабораторные испытания, скрепляющее действие проявляется тем раньше, а прочность скрепления бывает тем выше, чем теплее магнезиальный раствор после перемешивания и чем выше температура среды, в которой он находится после закачивания в скважину.

В одной из серий экспериментов температура раствора после перемешивания составляла всего лишь 20 °С. При температуре среды во время схватывания, также равной 20 °С, скрепляющее действие магнезиального вяжущего проявлялось лишь через 5—7 ч. При температуре внешней среды 40 °С скрепляющее действие начало сказываться уже через 3 ч, при температуре 60 °С — через 2 ч. Наиболее эффективно упрочнение пород при температуре 60 °С. Однако следует отметить, что уже при 40 °С предел прочности скрепления призмы размером 4×4× ×16 см после 7 ч затвердевания раствора составлял 11,5 МПа.

Если приготовить магнезиальный раствор при температуре 80 °С и оставить его затвердевать при такой же температуре, то уже через 1 ч предел прочности скрепления достигает 4,5 МПа, через 2 ч — 18,3 МПа и через 5 ч — 30 МПа.

По результатам лабораторных экспериментов можно судить о прочности упрочненных методом тампонирования пород. При температуре воздуха на добычном участке 32 °С (такова же температура воды и тампонажного материала) тампонажный раствор нагревается при перемешивании до 36 °С. Закачиваемый в скважину раствор с такой температурой попадает в среду с температурой 50 °С, способствующей ускорению затвердевания. Скрепляющее действие тампонажа начинает проявляться уже через 2 ч. Через 3 ч после нагнетания предел прочности на сжатие достигает 8 МПа, повышаясь в течение смены до 16 МПа.

Эксперименты показывают, что магнезиальные тампонажные растворы, особенно на участках с высокой температурой пород в массиве, в течение короткого времени обеспечивают достаточно высокую прочность скрепления обрабатываемых пород.

7.7.4. ПОДХВАТЫВАНИЕ АРОК ШТРЕКОВОЙ КРЕПИ

К подхватывающим устройствам предъявляются следующие требования:

возможность установки с внешней стороны арочной крепи (в закрепном пространстве) во избежание загромождения поперечного сечения штрека;

возможность установки в забое штрека или, по меньшей мере, перед подходом лавы;

возможность установки как на полной арочной раме, так и на арке без ножки;

возможность снятия после прохода лавы и установки вновь боковой ножки арки;

надежное предотвращение обрушения кромки непосредственной кровли пласта на сопряжении со штреком;

обеспечение распора боковых сегментов арок после прохода лавы;

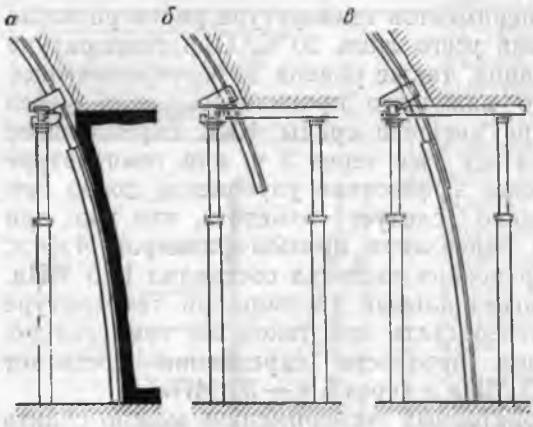


Рис. 7.59. Схемы установки подхватывающего устройства в штреке:

а — перед проходом лавы; *б* — на сопряжении лавы со штреком; *в* — после прохода лавы

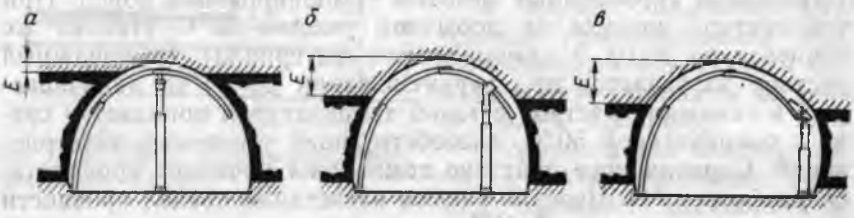


Рис. 7.60. Схемы установки подхватывающих устройств различных видов:

а — с центральным прогоном и средней стойкой; *б* — с боковым прогоном и стойкой, расположенными в сечении штрека; *в* — с боковым прогоном и стойкой, расположенными с внешней стороны арок штрековой крепи; *Е* — высота подрывки кровли пласта

пригодность для применения на пластах различной мощности.

Устройства для подхватывания с боков верхних сегментов арок предлагаются всеми изготовителями крепей в различных вариантах. Они монтируются непосредственно перед подходом лавы и демонтируются после установки ножек рам арочной крепи. Их монтаж нередко затрудняется из-за деформирования затяжки, особенно металлической листовой. Элементы подхватывающих устройств могут быть применены и на деформированных арочных рамах, например при повторном использовании штрека. В указанном случае они не соответствуют изложенным выше требованиям, предъявляемым к подхватывающим устройствам.

За счет применения дополнительных элементов могут быть обеспечены связь штрековой крепи с крепью в машинной нише и надежное поддержание кровли пласта на сопряжении с контуром штрека (рис. 7.59). Однако для этого требуется точная установка подхватывающих прогонов у недеформированных рам штрековой крепи, что возможно на практике лишь в исключительных случаях.

Использование в подхватывающих устройствах прогонов, устанавливаемых с внешней стороны арок штрековой крепи (в закрепном пространстве), является наиболее эффективным и технически правильным решением. Прогоны вставляются в хо-

Таблица 7.14

Вид подхватывающего устройства	Удельный вес в общем объеме применения, %	Трудоемкость установки, чел.-мин
С центральным прогоном и средними стойками	13	111
С боковым прогоном и стойкой, расположенными в сечении штрека	53	170
С боковым прогоном и стойкой, расположенными с внешней стороны арок штрековой крепи	34	108/39*

* В числителе — при удалении ножки арки, в знаменателе — при отсутствии ножки арки.

муты, приваренные к концам верхних арочных сегментов штрековой крепи с их внешней стороны. Расположение хомутов должно обеспечивать возможность монтажа подхватывающих устройств перед удалением ножек арки и их демонтажа после восстановления ножек вслед за проходом лавы.

Схемы наиболее распространенных устройств для подхватывания штрековой крепи на сопряжении с лавой приведены на рис. 7.60, а данные о частоте их применения и трудоемкости установки — в табл. 7.14.

Область применения устройств определяется высотой подрывки кровли пласта в забое штрека. Если она больше 0,75 м, то центральные прогоны не могут обеспечить достаточное прижатие верхних сегментов арок в месте пересечения кромки кровли пласта с контуром штрека. В таких случаях необходимо боковое расположение подхватывающих прогонов.

Подхватывающие прогоны, размещаемые в закрепном пространстве, используются при высоте подрывки кровли при-

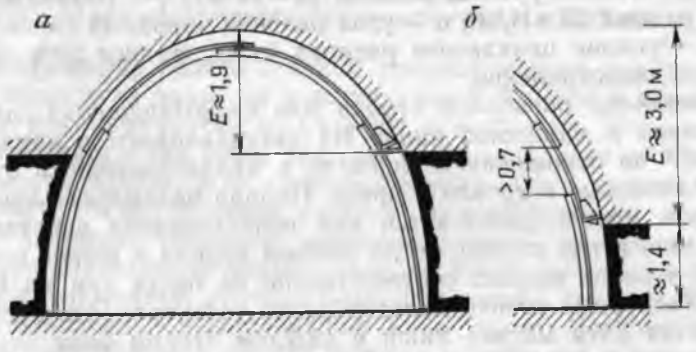


Рис. 7.61. Схемы установки подхватывающих прогонов при высоте подрывки кровли до 1,9 м (*а*) и более (*б*)

мерно до 1,9 м (рис. 7.61, *а*). При большей высоте подрывки кровли на тонких пластах в штреках, проводимых без подрывки почвы, применяются арки с составными ножками (рис. 7.61, *б*). При этом необходимо, чтобы подхватывающий прогон располагался на уровне кромки кровли пласта, а расстояние между узлами податливости разделенной на две части ножки составляло не менее 0,7 м.

Эксплуатационные достоинства подхватывающих прогонов, размещаемых за арками крепи, проявляются в полной мере в тех случаях, когда в штреках, проводимых с небольшим опережением лавы, трехзвенные арки штрековой крепи устанавливают на подхватывающие прогоны непосредственно в проходческом забое. Эти достоинства настолько значительны, что оправдывают дополнительные затраты, связанные с нестандартным исполнением штрековой крепи.

7.7.5. ПОДДЕРЖАНИЕ СОПРЯЖЕНИЯ ЛАВЫ СО ШТРЕКОМ НА НАКЛОННЫХ ПЛАСТАХ

Во всех рассматриваемых ниже случаях статическую устойчивость обеспечивают меры по предупреждению сползания в штрек непосредственной кровли пласта. Отпор штрековой крепи является дополнительной мерой защиты. В тех случаях, когда нужно учитывать силы трения, коэффициент трения μ принимается равным 0,3 (наименьшая величина из измеренных в шахте).

Гидравлические распорные стойки в штреке. Число стоек на 1 м длины штрека, требуемых для предупреждения сползания в выработку пород непосредственной кровли и почвы (Z_H и Z_L), определяется из выражений

$$Z_H = \frac{ah\gamma \sin\alpha}{L}; \qquad Z_L = \frac{ah\,(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{L},$$

где a и h — соответственно толщина и высота породной пачки, пересеченной контуром штрека, м ($h = 10$ м); γ — объемный вес пород, равный 25 кН/м³; α — угол падения породных слоев, градус; L — усилие начального распора стоек, равное 20% номинального сопротивления.

Деревянные распорные стойки для предотвращения сползания кровли в машинной нише. Их устанавливают с наклоном в 20—25° по отношению к нормали к напластованию в лунки, выдалбливаемые в кровле и почве. Полная надежность защиты от сдвига кровли достигается при использовании деревянных стоек лишь в том случае, когда породы кровли и почвы подрываются в забое штрека соответственно не более чем на 0,4 и 0,6 м. Распорные стойки целесообразно устанавливать кустами на нижних пяти метрах ниши в каждом втором ряду крепи. Пространство между ними предназначается для выдачи угля из лавы. Определение несущей способности деревянных распор-

ных стоек определяется по стандарту ДИН 21315 «Рудничный лес. Несущая способность стоек и верхняков».

Число деревянных стоек n, требуемых для предупреждения сдвига в штрек породных слоев кровли, может быть определено графически или же расчетным путем из выражения

$$n = \frac{G(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{ST(\sin\beta + \mu\cos\beta)},$$

где G — вес поддерживаемого породного слоя, кН; α — угол падения пласта, градус; β — угол между стойкой и нормалью к напластованию, градус; ST — допустимая нагрузка на стойку, кН.

Анкерование породных слоев, подрезанных контуром штрека. Анкерные шпуры бурят под углом 45° к нормали к напластованию. Требуемое расстояние l между анкерами по оси штрека определяется из выражения

$$l = A_{zul}/A,$$

где A_{zul} — несущая способность анкера, кН; A — фактическая нагрузка на анкер, кН.

Нагрузки на анкеры, обеспечивающие устойчивость пород кровли (A_H, кН) и почвы (A_L, кН), находятся из выражений

$$A_H = \frac{G\left(\sin\alpha + \frac{\mu}{2}\cos\alpha\right)}{(1+\mu)\sin 45°}; \qquad A_L = \frac{G(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{(1+\mu)\sin 45°},$$

где G — вес породного слоя, кН; α — угол падения пласта, градус.

7.8. ПОДДЕРЖАНИЕ КРОМКИ КРОВЛИ ПЛАСТА ПОСЛЕ ПРОХОДА ЛАВЫ

7.8.1. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОХРАНЫ ШТРЕКА НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА

При отработке пласта с одной стороны штрека породный массив оседает за лавой на участке длиной 60—150 м неравномерно У бока выработки со стороны оставшегося угольного массива конвергенция после прохода лавы составляет от 10 до 50% мощности пласта, а со стороны выработанного пространства — 30—80%.Такая большая разница в конвергенции обусловливает взаимное смещение породных слоев в кровле и почве штрека. При тонкослоистых породах потеря связи между слоями с уменьшением прочности массива ведет к его разрыхлению, смятию слоев и выдавливанию их в штрек. Поэтому задачей различных способов охраны штрека со стороны выработанного пространства является обеспечение минимальной разницы в конвергенции у обоих боков выработки.

Околоштрековые полосы могут быть достаточно эффективными только в том случае, если кромка кровли пласта вдоль штрека не обрушается после прохода лавы и остается опорой для околоштрековой полосы. Если же непосредственная кровля пласта обрушается на большую высоту с образованием мелкокусковой обрушенной массы, то в принципе можно обойтись без какой-либо охраны штрека со стороны выработанного пространства. Непременным условием при этом является плотное прилегание обрушенных пород к штрековой крепи с созданием подпора зависающим породным слоям кровли. Такой безусловно наиболее дешевый способ охраны штрека применим при мощности пласта не более 2 м. Его с успехом используют на некоторых шахтах в штреках с арочной крепью, а также на двух шахтах в штреках с прямоугольной формой поперечного сечения.

Для выравнивания конвергенции у боков штрека при слабых боковых породах (с пределом прочности на сжатие менее 25 МПа) рекомендуется применять деревянные костры с обеих сторон выработки. В результате установки костров со стороны угольного массива зона обреза пород кровли вдоль штрека перемещается к краевой части пласта, что обеспечивает более равномерное опускание кровли, хотя и на большую величину. Подобный способ охраны с успехом используется главным образом в штреках, проводимых с отставанием от лавы. По опыту шахты «Цольферейн» он достаточно эффективен также при охране штреков с прямоугольной формой поперечного сечения, проводимых с опережением лавы и закрепленных анкерами. Штреки с прямоугольной формой поперечного сечения, закрепленные анкерно-рамной крепью, особенно чувствительны к неравномерному опусканию кровли.

При достаточно прочных боковых породах уменьшение конвергенции штрека со стороны выработанного пространства может быть обеспечено возведением односторонних, возможно более жестких полос. При боковых породах с пределом прочности свыше 25 МПа можно рекомендовать применение околоштрековых полос быстронарастающего сопротивления. Под ними понимаются полосы, которые возведены с плотным прилеганием к кровле и крепи штрека, после непродолжительного периода затвердевания материала (5 ч) приобретают достаточную прочность на сжатие 5 МПа (при конечном пределе прочности не менее 20 МПа), возводятся с минимальным отставанием от лавы; имеют достаточно прочные опоры в боковых породах пласта.

Приспособления околоштрековых полос к различным горнотехническим условиям разработки рекомендуется достигать исключительно за счет изменения их ширины, а не путем изменения их качества. В табл. 7.15 приведены данные о рекомендуемой ширине околоштрековых полос для выемочных участков, отрабатываемых с обрушением кровли, при различном угле

Таблица 7.15

Стадия отработки участка и прочность боковых пород	Рекомендуемая ширина околоштрековой полосы, кратная мощности пласта *M*, при обратном (числитель) и прямом (знаменатель) порядке отработки пластов с углом падения, градус		
	0—23	23—36	36—50
При отходе лавы от разрезной печи	1/1	1,5/1,5	2/2
После первой посадки кровли при боковых породах:			
прочных	0 или 0,7/1	0* или 1/1,5	0* или 1/2
средней прочности	0 или 0,5/0,7	0* или 1/1	0* или 1/1,5
слабых	0 или 0,35/0,35**	0* или 0,5/1	0* или 0,7/1

* При погашении штрека вслед за проходом лавы.
** Минимальная ширина 0,6 м.

падения пласта, порядке и стадии отработки и прочности боковых пород.

При выборе общей ширины околоштрековой полосы решающую роль играет прочность пород кровли. Для случая, когда требуется более широкая околоштрековая полоса, а породы почвы обладают средней или малой прочностью, рекомендуется возводить околоштрековую полосу в виде двух разделенных полос. При этом первая (примыкающая к штреку) полоса должна иметь небольшую ширину, соответствующую прочности пород почвы (например, при слабой почве 0,3 *M*, но не более 0,6 м). Расстояние между полосами принимается равным 0,5—1,5 м, а при повышенной мощности пласта — еще большим. Ширина второй полосы принимается такой, чтобы суммарная ширина обеих полос соответствовала приведенным в табл. 7.15 данным. Разделение полосы на две части особенно рекомендуется на пластах средней мощности и мощных, на которых примыкающая к штреку широкая околоштрековая полоса при раздавливании оказывала бы на штрековую крепь такое же неблагоприятное воздействие, как и угольный целик. Рекомендации, разработанные для выемочных штреков, можно использовать также для базисных выработок. При односторонней отработке участков ширину околоштрековой полосы следует принимать по данным табл. 7.15 для случая отхода лавы от разрезной печи.

При повторном использовании штрека незадолго до подхода лавы нередко наблюдается сильный отжим пласта, приводящий к разрушению крепи выработки. Эффективной контрмерой против этого явления может служить выемка примерно в 30 м перед лавой раскоски глубиной около 1 м с возведением в ней из материала с быстрым нарастанием сопротивления полосы шириной около 0,5 м.

Конвергенция в выемочном штреке при двусторонней отработке пласта также является весьма значительной и доходит в 40—80 м после прохода второй лавы до 80% вынимаемой мощности пласта. Жесткие околоштрековые полосы могут при этом разрушаться или вдавливаться в боковые породы. В обоих случаях наряду с большой конвергенцией происходит выдавливание крепи в выработку, интенсивность которого определяется количеством материала в околоштрековой полосе. Особенно неблагоприятное воздействие могут оказывать околоштрековые полосы, выложенные при первом использовании штрека, так как они возводились после незначительной конвергенции. Ко времени работы второй лавы указанные полосы полностью затвердели и стали воспринимать конвергенцию в полной мере. Поэтому нередко можно рекомендовать охранять предназначенные для повторного использования штреки податливыми деревянными кострами, выкладываемыми с обеих сторон выработки. Они могут раздавливаться без большой поперечной деформации и воздействия на боковые породы.

7.8.2. НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕСТКИХ ОКОЛОШТРЕКОВЫХ ПОЛОС

Несущая способность жестких околоштрековых полос составляет от 10 до 20 МН на 1 м длины штрека. Требуемая податливость определяется сжимаемостью расслоившихся ранее пород непосредственной кровли, что представляет особое достоинство околоштрековых полос. На большом расстоянии за лавой вдавливание околоштрековой полосы в слабые боковые породы или ее раздавливание не исключается, однако усиленной конвергенции штрека при этом не наблюдается.

При охране ангидритовой полосой одного из штреков с прямоугольной формой поперечного сечения, пройденного по пласту мощностью 2,4 м, конечная конвергенция составляла 11% начальной высоты выработки. На участке штрека, охранявшемся деревянными кострами, конвергенция возросла до 23%. После перехода вновь на выкладку ангидритовых полос конвергенция снизилась лишь до 17%, а не до первоначальных 11%. Причина этого заключалась в том, что в связи с увеличением скорости подвигания лавы с 4 до 6 м/сут (после перехода на трехсменный добычной режим) максимальное расстояние между торцом околоштрековой полосы, возводившейся в ремонтную смену, увеличилось с 4 до 6 м. В результате усилилось оседание кровли и соответственно возросла конечная конвергенция. Следовательно, отставание околоштрековой полосы от лавы должно быть минимальным.

Выемочные штреки по пласту E—F мощностью 2,2 м на шахте «Вальзум» до применения жестких околоштрековых полос на участках с прямым порядком отработки удавалось поддерживать с большими затруднениями и использовать только

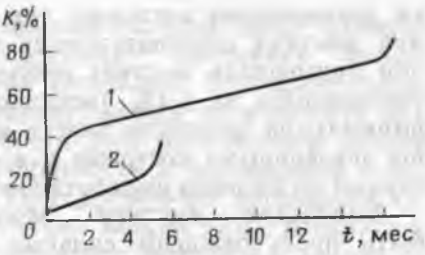


Рис. 7.62. График изменения конвергенции K во времени t на участках штрека с ангидритовыми полосами, возведенными при использовании сопла старой (*1*) и новой (*2*) конструкции (начальная высота штрека 3,85 м, скорость подвигания лавы 69 м/мес)

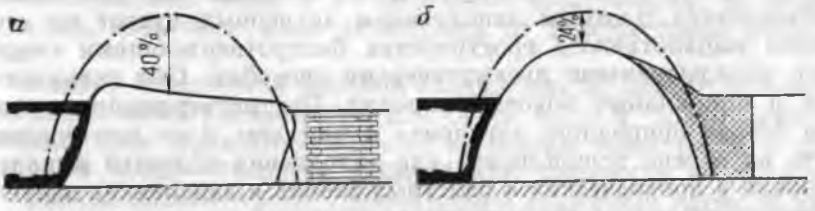


Рис. 7.63. Контуры остаточного поперечного сечения и деформирования арочной крепи при охране деревянными костраии (*а*) и жесткой ангидритовой полосой (*б*)

один раз. После перехода на ангидритовые полосы их стало возможным поддерживать в удовлетворительном состоянии даже при повторном использовании. В ходе работ по освоению технологии возведения околоштрековой полосы была усовершенствована конструкция сопла для подачи ангидритной смеси. Это позволило уменьшить расслоение материала, улучшить смачивание смеси в воздушном потоке и снизить пылеобразование, что обеспечило повышение устойчивости околоштрековой полосы и снижение конвергенции штрека (рис. 7.62). Сопоставление результатов расчета горного давления с фактическими величинами конвергенции позволило получить две характеристики штрека. На участке штрека с излишне податливой околоштрековой полосой в зоне сопряжения с лавой наблюдалось дополнительное оседание пород кровли примерно на 100 см; интенсивность конвергенции составляла 28 см на каждые 10 МПа прироста давления. При жесткой околоштрековой полосе дополнительного опускания пород кровли на сопряжении с лавой не происходило, а интенсивность конвергенции равнялась 24 см на 10 МПа. Благоприятное воздействие жесткой околоштрековой полосы проявлялось, таким образом, в основном в предотвращении дополнительного опускания породного массива на сопряжении с лавой. Правда, пока еще нельзя утверждать, что этот вывод справедлив для всех условий.

Применение жестких околоштрековых полос способствует снижению конечной конвергенции при одностороннем выработанном пространстве в среднем на 16%. Чем больше мощность пласта и чем сильнее деформируется крепь при охране штре-

ка деревянными кострами, тем больше эффект от использования жестких околоштрековых полос. Анализ показывает, что при применении жестких околоштрековых полос конвергенция уменьшается на 6,4% (исходной высоты выработки) на 1 м вынимаемой мощности пласта по сравнению со способом охраны деревянными кострами и примерно на 13% при отсутствии охраны со стороны выработанного пространства.

Благодаря жестким околоштрековым полосам могут быть предупреждены сильные деформации штрековой крепи (рис. 7.63). Такое благоприятное действие жестких полос объясняется плотным заполнением закрепных пустот со стороны выработанного пространства быстротвердеющими смесями, укладываемыми пневматическим способом. Оно сказывается и при слабых боковых породах. Быстротвердеющие смеси на основе природного ангидрита имеют еще и то достоинство, что их можно использовать для заполнения полостей вывалов кровли в проходческих и очистных забоях и заполнения закрепного пространства при установке штрековой крепи.

7.8.3. СВОЙСТВА БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ОКОЛОШТРЕКОВЫХ ПОЛОС И ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

Длительная прочность. В табл. 7.16 и 7.17 приведены данные о технологических свойствах твердеющих смесей, применяемых в шахтах для возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства. Зернистые смеси (см. табл. 7.16) в настоящее время используются только при пневматической технологии укладки. Порошкообразные (с крупностью частиц менее 1 мм) смеси (см. табл. 7.17) могут укладываться как при пневматической, так и при гидромеханической технологии.

Зернистые смеси обладают гранулометрическим составом, характеризующимся наибольшей плотностью упаковки зерен. Они отличаются тем, что быстро набирают прочность при затвердевании. Большинство порошкообразных смесей набирают прочность значительно медленнее.

Одно из требований лаборатории рудничной крепи и механики горных пород к материалам для возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства заключается в том, чтобы материал обладал пределом прочности на сжатие не менее 5 МПа через 5 ч после схватывания, не менее 10 МПа через 12 ч и окончательным не менее 20 МПа. Этому требованию соответствуют почти все зернистые смеси и некоторые порошкообразные.

Повысить скорость затвердевания смесей можно путем введения химических добавок, снижающих потребность в воде для затворения или обеспечивающих мгновенное схватывание. Такими добавками являются, например, углекислый натрий и хлорид кальция.

При гидромеханической технологии укладки смеси улучшения прочностных свойств затвердевшего материала можно обеспечить путем перемешивания суспензии. Благодаря быстрому и энергичному перемешиванию имеется возможность при оптимальной его продолжительности 2—3 мин достичь весьма высокой текучести, наибольшей прочности и наименьшей усадки раствора при схватывании. При достаточно продолжительном и очень быстром перемешивании можно даже превратить раствор в пасту. Образцы затвердевшего материала, взятые из околоштрековых полос и из закрепного пространства, по прочностным свойствам мало отличались от лабораторных образцов.

Наряду с желаемой высокой прочностью на сжатие большое значение имеет удельный расход смеси на 1 м^3 заполняемого объема. Этот показатель зависит от формы зерен смеси и отношения «вода — твердое» и определяет стоимость материала.

Оценка абразивности. Лабораторией рудничной крепи и механики горных пород разработана простая методика определения абразивности твердеющих смесей по отношению к материалу труб и гибких рукавов. Этой методикой предусматривается, что быстровращающийся стержень, изготовленный из определенного материала, в течение 2 ч автоматически медленно погружается в исследуемую смесь и извлекается из нее. Стержень взвешивают до и после испытаний. Уменьшение массы стержня является мерой абразивности смеси. Стержень должен быть изготовлен из того материала, который на практике подвергается истиранию потоком смеси. По истиранию стержня можно судить об абразивности исследуемой смеси; в частности, имеется возможность сравнить абразивность различных смесей. В табл. 7.16 и 7.17 приведены данные о результатах таких испытаний по отношению к стали St 50 и материалу гибких рукавов СК 45. Величину истирания материала различными смесями соотносят с показателем, полученным при испытаниях смеси из природного ангидрита. При транспортировании смесей гидравлическим способом на степень износа трубопроводов можно влиять изменением отношения «жидкое — твердое».

7.8.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МОКРОГО ОБОГАЩЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИНЕРТНОЙ ДОБАВКИ К ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ВЯЖУЩИМ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ОКОЛОШТРЕКОВЫХ ПОЛОС

На шахте «Нордштерн» в одной из базисных выработок была возведена охранная полоса из отходов мокрого обогащения и смеси «Блицдэммер С». Отходы мокрого обогащения влажностью 7—10% подавались к месту возведения охранной полосы пневматическим способом. В 5 м перед соплом в трубопровод вводили раствор «Блицдэммер С» с водоцементным отношением 0,5. Предел конечной прочности материала полосы составлял 14 МПа. В противоположность прежнему практи-

Таблица 7.16

Показатель	Природный ангидрит	Природный ангидрит «Блиц»	D8S	«Бергбаум-ертель Р»	«Берг-баум-ертель Н»	«Берг-баум-ертель F»	D16S	D8
Фирма-изготовитель	«Кнауф»		«Квикс-микс»	«Рейнише калькштайнверке»			«Квикс-микс»	
Состав	$CaSO_4$	$CaSO_4$ и добавки	Цемент, известняковый песок, зола-унос	Цемент, известняковые наполнители			Цемент 450, известняковый песок, зола-унос	Цемент, известняковый песок, зола-унос
Крупность зерен, мм	<10	<10	<8	<4	<2	<2	<16	<8
Расход на 1 м³ заполняемого объема, т	2—2,2	1,987—2,028	1,806	2—2,2	1,7—1,9	1,95	1,5—1,7	1,842
Насыпная плотность, т/м³:								
до слеживания	1,915	1,908	1,363	1,7	1,65	1,663	1,434	1,363
после слеживания	2,215	2,2	1,674	2	1,95	2,032	1,662	1,674
Отношение «вода — твердое»	0,07—0,1	0,09—0,15	0,13—0,15	0,08—0,11	0,14	0,14	0,12—0,14	0,15
Предел прочности на сжатие, МПа:								
через 5 ч	5—7	12,16	12	6	0	0,74	1—1,1	1,04

через 24 ч	20	13,46	19,7	21	11,2	18,2	17	9,33
через 28 сут	45	41,6	58,8	30,6	34	48	34,5	29,55
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа:								
через 5 ч	1,2	2,4	2,5	1,8	0	0,16	0,43	0,48
через 24 ч	3,5	2,85	3,8	3,5	3,2	4,55	3,1	2,3
через 28 сут	8	8,4	6,3	7	7,4	7,5	6,5	5,78
Абразивность*:								
относительно стали	1	1	0,4	0,95	—	—	3,7	0,4
относительно материала СК45	1	1	0,26	1,17	—	—	2,1	0,26
Область применения	Возведение околоштрековых полос и перемычек, набрызгбетонирование, заполнение пустот и закрепного пространства				Устройство перемычек, набрызгбетонирование, заполнение пустот и закрепного пространства		Возведение околоштрековых полос и перемычек, заполнение пустот и закрепного пространства	Возведение околоштрековых полос и перемычек, набрызгбетонирование, заполнение пустот и закрепного пространства

* За единицу принята абразивность ангидрита (0,3 мг/м²).

Показатель	Искусственный ангидрит	«Штеккермертель MS—CS»	«Блицдэммер С»	НТ2
Фирма-изготовитель	«Байер»	«Штеккер»	«Аннелизе цементверке»	
Состав	$CaSO_4$	Цемент и зола-унос	Цемент и мергель	
Расход на 1 м³ заполняемого объема, т	1,35*1	1,4*1	1,19*1	1,46*1
Насыпная плотность, т/м³:				
до слеживания	1,092	0,94	1,133	1,153
после слеживания	1,42	1,209	1,39	1,412
Отношение «вода — твердое»	0,36*4	0,3	0,5	0,3
Предел прочности на сжатие, МПа:				
через 5 ч	3	0	0	0
через 24 ч	11	6,2	6,35	16,4
через 28 сут	32,6	42,3	29,8	46,5
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа:				
через 5 ч	1,4	0	0	0
через 24 ч	5,8	1,49	2,45	4,5
через 28 сут	9,2	4,5	5	8,9
Абразивность*5:				
относительно стали	0,03	0,05	0,01	0,01
относительно материала СК45	0,2	0,05	0,1	0,1
Область применения	Возведение околоштрековых полос и			

*1 Материал взят из шахтного башенного бункера.
*2 Материал предоставлен фирмой-изготовителем.
*3 Материал из бункера шахты «Вальзум».
*4 При гидромеханической технологии укладки материала.
*5 За единицу принята абразивность природного ангидрита.

Таблица 7.17

DM1	SD1	«Бета-Фюлер», тип С	Искусственный ангидриг	«Штеккермертель MS—CS шнель»	DM1S	HT2-Специаль
«Квикмикс»	«Сакрет»	«Бета-Фюлер»	«Байер»	«Штеккер»	«Квикмикс»	«Аннелизе цементверке»
Цемент, зола-унос и биндер			$CaSO_4$	Цемент и зола-унос	Цемент, зола-унос и биндер	Цемент и зола-унос
1,38*1	1,42*1	1,37	1,35	1,448	1,481*3	1,584*2
1,121	1,058	—	1,092	0,995	1,068	1,323
1,314	1,256	1,256	1,42	1,355	1,091	1,643
0,3	0,3	0,3	0,15	0,3	0,25	0,25
0	0	4,18	15,8	13,16	7,29	4,81
8,25	6,48	9,61	35,65	29,3	21,15	8,8
43,9	28,77	42,8	83,5	45,6	54,1	22
0	0	1,31	3,15	2,8	1,98	1,6
2,22	2,1	3,23	5,25	2,18	4,75	2,25
4,74	4,2	4,8	9,8	4,65	5,88	5,1
0,5	0,1	—	0,03	0,05	0,5	0,2
0,5	0,2	—	0,2	0,05	0,5	0,25

перемычек, набрызгбетонирование, заполнение пустот и закрепного пространства

Таблица 7.18

Расход вяжущего, кг	Расход воды, л	Предел прочности материалов на сжатие (МПа) при выдержке, сут		
		1	7	28
	«Байер-ангидрит»			
1300	390	0,2	8,5	—
650	195	0,1	5	5,9
433	162	0,4	3,3	6,1
325	130	0,1	0,9	2,6
260	110	0,06	1	2,1
186	93	0,02	0,3	1,1
130	65	0,01	0,2	1,1
	Портландцемент 55			
1300	468	12,5	18,5	—
650	238	13,2	10,1	14,5
433	202	7,4	7,8	10,4
325	167	5,4	7	12,7
260	117	6,8	6,4	7,7
186	130	2,7	6,2	5,8
130	85	1,7	3,2	5,2
	«Штеккер-мертель»			
2600	780	3,8	13,3	—
1300	390	3,8	10,8	—
650	216	3,5	7,1	—
433	159	2,4	6,8	—
325	130	1,6	6,8	—
260	117	1,3	3,6	—
186	99	0,8	1,3	—
130	49	0,06	0,6	—
	«Блицдэммер»			
1300	442	0,6	15,6	—
695	291	2,5	11,3	14,6
500*	250*	3	7,8	14
390	260	2,8	7,5	7,3
347	208	2,2	6,1	7,8
260	144	1,4	4	4,8
186	93	1,4	2,8	2,8
130	65	0,4	1,2	1,6

* Рецептура шахты «Нордштерн»; во всех случаях использовались отходы обогащения влажностью 5—10% при плотности 1,3 т/м³.

ческому опыту с охранными полосами бо́льшей прочности (свыше 20 МПа) этот материал соответствовал всем требованиям.

Параллельно с экспериментами в шахте в институте «Бергбау-форшунг» проводились исследования пригодности отходов мокрого обогащения для использования в качестве инертной добавки к четырем различным гидравлическим вяжущим. Во

всех случаях использование отходов обогащения оказалось возможным. При примерно одинаковой консистенции приготовляли смеси из отходов обогащения, вяжущего и воды, причем конечная прочность была тем выше, чем больше гидравлического вяжущего добавлялось к смеси. В качестве вяжущих испытывались «Байер-ангидрит», «Штеккер-мертель», «Блицдэммер С» и портландцемент 55. Конечная прочность материала при одинаковом водоцементном отношении повышалась в зависимости от типа вяжущего в приведенной выше последовательности.

В табл. 7.18 приведены некоторые приемлемые для использования на практике рецептуры растворов в расчете на 1 м^3 отходов мокрого обогащения. Эти растворы могут быть приготовлены с помощью соответствующей смесительной установки и уложены в околоштрековую полосу обычным пневматическим способом. Если же, как это делалось на шахте «Нордштерн», пневмоспособом подаются лишь отходы обогащения, а вяжущее и вода в виде пульпы добавляются в пневмотрубопровод непосредственно у сопла, то те рецептуры, в которых содержание воды на 1 м^3 отходов обогащения превышает 250 л, непригодны.

7.8.5. ТРЕБОВАНИЯ К ДАЛЬНЕЙШЕМУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНИКИ ВОЗВЕДЕНИЯ ОКОЛОШТРЕКОВЫХ ПОЛОС И ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

Согласно накопленному к настоящему времени практическому опыту решающие успехи при поддержании подготовительных выработок (уменьшение конвергенции, сохранение несущей способности крепи, предупреждение разрушения кровли пласта на контуре выемочного штрека) могут быть достигнуты только при следующих условиях:

применении в подготовительных выработках при их проведении крепей с быстро нарастающим сопротивлением. При используемой повсеместно податливой арочной крепи этого можно достигнуть путем заполнения закрепного пространства непосредственно в забое выработки;

возведении охранной околоштрековой полосы с минимальным отставанием от лавы;

использовании для возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства быстротвердеющих смесей, предел прочности на сжатие которых через 5 ч после укладки составляет не менее 5 МПа, а через 12 ч — не менее 10 МПа, при пределе конечной прочности свыше 20 МПа.

Последнее условие в настоящее время выполнимо лишь при применении готовых смесей, подаваемых пневматическим способом путем сухого набрызгбетонирования при высокой начальной скорости смесевоздушной струи. Высокая начальная скорость смесевоздушной струи необходима для:

возможности заполнения закрепного пространства на участке длиной от 2 до 5 м (в соответствии с длиной заходки или

суточным подвиганием штрека) в один прием со стороны забоя штрека. Подобным же образом, т. е. участками, длина которых соответствует суточному подвиганию лавы, следует возводить в один прием околоштрековые полосы. Требуемая для этого скорость вылета струи из сопла — 20—60 м/с;

обеспечения высокого трамбующего эффекта смесевоздушной струи;

достижения высокой степени уплотнения материала, определяющей его начальную и конечную прочность, при низком водоцементном отношении (не более 0,1—0,2);

равномерного смачивания материала на выходе из пневмотранспортного трубопровода и эффективного пылеподавления.

Еще одним важным условием равномерного и достаточно эффективного смачивания материала является незначительная концентрация твердого компонента в смесевоздушной струе.

В последнее время наряду с крупнозернистыми смесями при укладке материала в безопалубочное пространство с успехом испытываются также мелкозернистые смеси. Скорость схватывания новых мелкозернистых смесей настолько велика, что подача их гидравлическим способом невозможна. Предел прочности таких смесей на сжатие уже через 1 ч достигает 3 МПа, а через 5 ч — свыше 10 МПа. Применение их позволяет при тех же параметрах пневмотранспортного трубопровода и одинаковом расходе сжатого воздуха увеличить подачу материалов. Количество смеси, требуемое для заполнения 1 м³ закладываемого пространства, у порошкообразных смесей значительно ниже, чем у зернистых (соответственно 1,5—1,6 и 1,8—2,2 т/м³).

Однако при использовании тонкозернистых смесей повышается опасность налипания материала на внутренних стенках трубопровода (особенно при большой его длине). Как установлено, добавление в них 10—20% фракции крупностью свыше 8 мм обеспечивает более равномерное перемещение материала по трубам.

При длине трубопроводов свыше 3000 м возникают трудности и с транспортировкой зернистых смесей: увеличивается продолжительность заполнения трубопровода материалом и продувки его после окончания подачи материала; ухудшаются условия борьбы с пылью, так как соотношение между объемами подаваемого материала и расходом сжатого воздуха становится все более неблагоприятным, особенно при продувке трубопровода; возникает необходимость в ступенчатом изменении диаметра трубопровода. Все это ухудшает условия смачивания смеси на выходе из сопла. Указанные трудности устраняются лишь в случае установки пневмонагнетательной машины непосредственно вблизи забоя штрека или на сопряжении штрека с лавой и снабжении материалом из передвижного бункера.



Список литературы*

1. *Больдт Г., Фриц В.* Опыт крепления анкерами выемочного штрека. — Глюкауф, 1980, № 2, с. 1—9.

2. *Бонк А., Каммер В.* Рамная или арочная крепь для выемочных штреков? — Глюкауф, 1974, № 18, с. 16—20.

3. *Брайт Ф., Краэ Ю., Шрер Д.* Заполнение пустот за рамами штрековой крепи методом Буллфлекс. — Глюкауф, 1980, № 13, с. 12—17.

4. *Бреер В., Гётце В.* Возведение и герметизация околоштрековых полос на каменноугольных шахтах ФРГ. — Глюкауф, 1973, № 26, с. 6—19.

5. *Бреер В., Гётце В.* Проведение выемочных штреков на каменноугольных шахтах Великобритании одновременно с лавой и с отставанием от нее. — Глюкауф, 1976, № 2, с. 13—21.

6. *Бушман Г.* Контроль за состоянием выемочных штреков. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 37—41.

7. *Гёттиг П.* Проблемы горного давления на шахте «Вестфален». — Глюкауф, 1973, № 23, с. 8—11.

8. *Гётце В., Каммер В.* Воздействие технологии проходки и техники крепления на конвергенцию выемочных штреков. — Глюкауф, 1976, № 15, с. 11—19.

9. *Гётце В.* Об использовании штреков прямоугольного сечения. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 10—15.

10. *Гётце В.* Основы применения анкерной крепи в горизонтальных выработках арочного сечения. — Глюкауф, 1977, № 15, с. 25—28.

11. *Гётце В.* Правильная комбинация существующих средств крепления. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 17—23.

12. *Гётце В., Бушман Г.* Рекомендации для эффективного ведения очистных работ с учетом механики горных пород. — Глюкауф, 1973, № 23, с. 35—39.

13. *Гётце В., Шрер Д.* Требования к совершенствованию технологии возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства. — Глюкауф, 1980, № 19, с. 17—22.

14. *Гётце В.* Эксплуатационные качества штрековой крепи. — Глюкауф, 1979, № 3, с. 8—11.

15. *Глезман О.-Е.* Способы применения полиуретана. — Глюкауф, 1972, № 15, с. 16—19.

16. *Гротовски У.* Значение выемочных штреков и их крепления. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 7—10.

17. *Грундман И.* Опыт эксплуатации щитовой крепи. — Глюкауф, 1973, № 3, с. 65—70.

18. *Изучение* проявлений горного давления на моделях/Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, А. А. Филиппова, М. Ф. Шклярский. М., Углетехиздат, 1959.

19. *Ирресбергер Г.* Возможности сокращения отставания крепления от выемки угля. — Глюкауф, 1969, № 15, с. 17—23.

20. *Ирресбергер Г.* Наиболее целесообразная конструкция механизированной крепи для каменноугольных шахт ФРГ. — Глюкауф, 1970, № 12, с. 1—11.

21. *Ирресбергер Г.* Нерешенная проблема крепления лав — консольное поддержание кровли у забоя. — Глюкауф, 1977, № 15, с. 36—40.

22. *Ирресбергер Г.* Развитие механизированных крепей для угольных лав. — Глюкауф, 1978, № 18, с. 18—26.

23. *Ирресбергер Г.* Требования к управлению горным давлением в лавах. — Глюкауф, 1981, № 2, с. 7—10.

24. *Кайзер И.* Укрепление вмещающих пород полиуретаном. — Глюкауф, 1972, № 19, с. 39—40.

---

* Названия статей из журнала «Глюкауф» (начиная с 1962 г.) даются по русскому изданию журнала. — *Примеч. пер.*

25. *Каммер В.* Жесткие околоштрековые полосы увеличивают полезное сечение штреков. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 25—29.
26. *Каммер В.* Нормы расхода стали на податливую арочную крепь штреков. — Глюкауф, 1981, № 15, с. 18—20.
27. *Каммер В., Цашински У.* Опускание кровли в выемочном штреке, закрепленном штангово-рамной крепью. — Глюкауф, 1972, № 4, с. 16—20.
28. *Каммер В.* Планирование крепления на основе предварительного расчета конечной конвергенции штреков. — Глюкауф, 1977, № 15, с. 15—18.
29. *Каммер В.* Предварительный расчет конвергенции на участке сопряжения лава — штрек. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 33—36.
30. *Каммер В.* Расчет конвергенции и проектирование крепления выемочных штреков с помощью программы ЭВМ. — Глюкауф, 1980, № 5, с. 11—17.
31. *Каммер В.* Управление горным давлением в выемочных штреках на большой глубине. — Глюкауф, 1979, № 3, с. 6—8.
32. *Клэс Ф.* Выемочные штреки в каменноугольной промышленности ФРГ по состоянию на 1983 г. — Глюкауф, 1984, № 21, с. 13—17.
33. *Краэ Ю.* Подхватывание арок штрековой крепи на сопряжении с лавой. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 16—20.
34. *Краэ Ю.* Трудозатраты на подхватывание арочной крепи на участке сопряжения лава — штрек. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 4—7.
35. *Кусс Х., Риссель Х.* Опыт применения щитовой крепи на наклонных пластах. — Глюкауф, 1974, № 20, с. 13—19.
36. *Куц В.* Подхватывание анкерами арочной крепи на сопряжении лава — штрек. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 7—8.
37. *Леман Г.* Проходка выемочных штреков и техника на сопряжении лава — штрек при разработке наклонных пластов. — Глюкауф, 1979, № 21, с. 17—22.
38. *Ленц Т.* Укрепление угольного забоя полиуретаном. — Глюкауф, 1972, № 17, с. 21—23.
39. *Майер-Фридрих А.* Улучшение управления кровлей в лаве путем сочетания некоторых мероприятий. — Глюкауф, 1977, № 15, с. 30—33.
40. *Менде Г.* Мероприятия по предупреждению завалов лав с управлением кровлей обрушением в начальный период их работы. — Глюкауф, 1962, № 25, с. 1743—1752.
41. *Менде Г.* Успехи в области проходческой техники. — Глюкауф, 1979, № 9, с. 3—7.
42. *Мерхоф З., Фосс К.* Значение полной закладки выработанного пространства для каменноугольной промышленности ФРГ. — Глюкауф, 1976, № 7, с. 20—26.
43. *Нига И.* Влияние крепи сопряжения лава — штрек на конвергенцию штреков и вывалы из кровли в нишах. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 9—11.
44. *Ноке Г.* Анализ систем сопряжения лава — штрек. — Глюкауф, 1975, № 12, с. 4—11.
45. *Ноке Г.* Опыт применения комбинированной штанговой и рамной крепи. — Глюкауф, 1970, № 20, с. 12—15.
46. *Нольце К.* Действие горного давления на выемочные штреки, пройденные с опережением, одновременно с лавой и с отставанием от нее. — Глюкауф, 1979, № 24, с. 12—14.
47. *Ольденготт М.* Крепление анкерами почвы выемочных штреков. — Глюкауф, 1979, № 14, с. 12—18.
48. *Райсхаген К., Хан Л.* Щитовая крепь для лав с управлением кровлей пневматической закладкой. — Глюкауф, 1979, № 14, с. 1—12.
49. *Рец Б.* Передача усилий распора щитовой крепи в кровлю. — Глюкауф, 1978, № 1, с. 6—10.
50. *Скутта Е.* Влияние угольных целиков, оставляемых вдоль выемочных штреков. — Глюкауф, 1980, № 1, с. 22—24.
51. *Ставрогин А. Н.* Каталог механических свойств горных пород. Л., изд. ВНИМИ, 1972.
52. *Тальман Х., Краэ Ю.* Усиление крепи подработанного квершлага железобетонной оболочкой. — Глюкауф, 1978, № 21, с. 1—6.
53. *Хан Л., Ирресбергер Г.* Новшества и тенденции развития в креплении лав. — Глюкауф, 1976, № 18, с. 16—22.

54. *Хенрих Ф.* Опыт применения щитовой крепи на угольных шахтах концерна «Рурколе АГ». — Глюкауф, 1974, № 9, с. 16—22.

55. *Хервиг Г., Якоби О.* Влияние механизированной крепи на состояние кровли в лаве. — Глюкауф, 1971, № 22, с. 11—25.

56. *Хервиг Г.* Влияние подработки на состояние кровли в лаве. — Глюкауф, 1973, № 23, с. 23—27.

57. *Хервиг Г.* Воздействие горного давления на кровлю лавы. — Глюкауф, 1981, № 21, с. 13—17.

58. *Хервиг Г.* Использование несущей способности механизированной крепи. — Глюкауф, 1979, № 2, с. 63—67.

59. *Цильэссен Х., Каммер В.* Прогнозирование конвергенции и деформации крепи в выемочных штреках на основе производственных наблюдений. — Глюкауф, 1978, № 13, с. 17—23.

60. *Цишински У.* Вывалы при механизированной проходке горизонтальных выработок. — Глюкауф, 1977, № 17, с. 17—24.

61. *Шефер-Рольфс Г., Вильке Х.* Несущая способность и допустимая подвесная нагрузка арочной крепи. — Глюкауф, 1971, № 10, с. 20—25.

62. *Шрер Д.* Методы заполнения пустот за крепью и их эффективность. — Глюкауф, 1977, № 15, с. 21—25.

63. *Эверлинг Г.* Исследование на моделях взаимодействия горных пород и крепи выемочного штрека. — Глюкауф, 1962, № 25, с. 1725—1736.

64. *Эверлинг Г., Бетман Г. Ю.* О преимуществах прямоугольного сечения выемочных штреков. — Глюкауф, 1965, № 26, с. 35—43.

65. *Эверлинг Г.* Повышение эффективности крепления выемочных штреков путем создания систем связи с породой. — Глюкауф, 1972, № 22, с. 32—35.

66. *Эверлинг Г.* Предварительный расчет горного давления для проектирования очистных работ. — Глюкауф, 1973, № 23, с. 12—14.

67. *Эйххольц К.* Замеры с помощью длинных анкеров угольных целиков у базисных штреков. — Глюкауф, 1975, № 20, с. 38—41.

68. *Якоби О.* Благоприятное с точки зрения механики горных пород расположение выемочных штреков. — Глюкауф, 1967, № 26, с. 13—24.

69. *Якоби О.* Волны конвергенции в очистном забое с механизированной крепью. — Глюкауф, 1963, № 12, с. 759—762.

70. *Якоби О.* Вывалы из кровли при подработке линии забоя и влиянии соседней отработанной лавы. — Глюкауф, 1965, № 9, с. 10—16.

71. *Якоби О., Эверлинг Г., Ирресбергер Г.* Вывалы пород из кровли в подземных условиях и на моделях и выводы в отношении механизированных крепей. — Глюкауф, 1964, № 24, с. 1563—1579.

72. *Якоби О., Эверлинг Г.* Давление и конвергенция в выемочных штреках, проводимых с опережением лавы и с отставанием от нее. — Глюкауф, 1975, № 10, с. 11—17.

73. *Якоби О.* Закономерности, характеризующие зависимость между горным давлением и конвергенцией в выемочном штреке. — Глюкауф, 1973, № 23, с. 27—35.

74. *Якоби О.* Защита линии образа кровли в лавах с полным обрушением прочной непосредственной кровли. — Глюкауф, 1964, № 15, с. 1012—1013.

75. *Якоби О.* Значение пустот в лавах за линией обрушения для управления кровлей. — Глюкауф, 1969, № 1, с. 9—22.

76. *Якоби О., Юбт В.* Изменение давления в выемочном штреке под влиянием линии очистного забоя. — Глюкауф, 1974, № 20, с. 37—39.

77. *Якоби О.* Определение сопротивления крепи при проектировании лав с управлением кровлей обрушением. — Глюкауф, 1964, № 6, с. 361—368.

78. *Якоби О.* Причины обрушения кровли в начальный период работы лав, разрабатываемых с обрушением. — Глюкауф, 1962, № 25, с. 1736—1743.

79. *Якоби О.* Система управления горным давлением — итоги и задачи. — Глюкауф, 1980, № 22, с. 5—17.

80. *Янковски А.* Применение полиуретана для укрепления пород. — Глюкауф, 1972, № 14, с. 16—19.

81. *Adam R., Raffoux J.-F.* Geankerte Rechteckstrecken im französischen Steinkohlenbergbau. — Anlage zur Niederschrift über die 6. Sitzung des Fachauschusses Grubenausbau und Gebirgsmechanik vom 20.01.1972.

82. *Betriebsempfehlungen* für den Steinkohlenbergbau Nr. 20/1. Gebirgsmechanische Entscheidungshilfen: Abbauzuschnitt. Essen, Glückauf, 1981.
83. *Bräuner G.* Gebirgsdruck und Gebirgsschläge. Essen, Glückauf, 1981.
84. *Breer W.* Probleme des Abbaustreckenausbau im westdeutschen Steinkohlenbergbau. — In: 5. Int. Kongress für Gebirgsdruckforschung. 1972, London. Beitrag 11.
85. *Breit F.* Das Verformungsverhalten von Flözstrecken bei der Unterbaung mit grossem Teufenabstand. Clausthal, 1978.
86. *Buschmann N.* Beurteilung der Verschleisswirkung von Versatz- und Verfüllstoffen. — Kurznachrichten Bergtechnik, 1974, Nr. 93, S. 6.
87. *Buschmann N.* Bruchverformungen und Ausbauwiderstand in rechteckigen Flözstrecken nach Modellversuchen. — Glöckauf-Forschungsh., Bd. 31, S. 133—147.
88. *Buschmann N., Krahe J.* Die Klebfähigkeit von Magnesiabindern. — Kurznachrichten Bergtechnik, 1975, Nr. 95, S. 6.
89. *Buschmann N.* Modellversuche über den Einfluss von Gleitlösen im Streckenstoss. — Bergbau-Archiv, 1964, Bd. 25, Nr. 5, S. 35—39.
90. *Carr T. L.* Stallose Abbaubetriebstechnik in britischen Steinkohlenbergbau. — Technisch-Wissenschaftliches Vertragswesen, 23.10.1975.
91. *Chambon C.* Mécanique des terrains houillers. Dissertation. Nancy, 1966, p. 160.
92. *Chambon C.* Einfluss der gebauten Mächtigkeit und der Teufe auf die Strebkonvergenz. — Bergbauwissenschaften, 1966, Bd. 13, S. 153—160.
93. *Denkhaus H. G., Bieniawski Z. T.* Gebirgsmechanische Modellversuche und Analytik. Int. Büro für Gebirgsmechanik. Berlin, 1969, S. 458—468.
94. *Duyse H., van.* Versuche an verschiedenen Ausbauarten. — Komission der Europäischen Gemeinschaften. Informationstagung Gebirgsdruck und Grubenausbau am 13. und 14. November 1969 in Luxemburg.
95. *Everling G.* Bemessungstafeln für Stempel und Kappen von Türstockstrecken. Niederschrift zur 14. Sitzung Ausschuss Gebirgsdruckforschung am 24.11.1967.
96. *Everling G., Meyer A. G.* Ein Gebirgsdruck-Rechenmodell als Planungshilfe. — Glückauf-Forschungsh., 1972, Bd. 33, S. 81—88.
97. *Everling G.* Gesteinsmechanische Untersuchungen an Bohrkernen und bearbeiteten Handstücken aus dem Flöz Girondelle und seinem Nebengestein auf der Schachtanlage Neumühl. — Glückauf, 1956, Bd. 92, S. 380—388.
98. *Everling G.* Gesteinsmechanische Untersuchungen und Grundlagen zur Ermittlung des Gebirgsdruckes aus Bohrlochverformungen. — Glückauf, 1960, Bd. 96, S. 390—409.
99. *Feder G.* Zur Wirkungsweise der Systemankerung von Hohlraumbauten in isotropem festem Gebirge. — Berg- und Hüttenm. Monatsh., 1976, Bd. 121, S. 225—229.
100. *Fumagalli E.* Statical and geomechanical models. New York, 1973.
101. *Gimm W.* Angewandte Fels- und Gebirgsmechanik. 1. Lehrbrief. Freiberg, 1974.
102. *Götze W.* Bruchvorgänge und -verformungen um Strecken im geschichteten Gebirge. Ergebnisse aus Modellversuchen und Untertagebeobachtungen. Berlin, 1968.
103. *Götze W., Klinkner G., Krahe J.* Die planmäßige Verfestigung des Streckensaums mit Magnesiabinder; Die Anwendung des Magnesiabinder-Verfahrens im Saarbergbau. Niederschrift über die 22. Sitzung des Fachausschusses Grubenausbau und Gebirsmechanik am 19.12.1974.
104. *Gramberg J.* Bruchbildung, Bewegungen und Spannungen um eine Abbaustrecke bei einseitigem Abbau. — Gebirgsdruck und Grubenausbau. Informationstagung 1969 der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl. S. 85—183.
105. *Gürtler H.* Dimensionsanalyse. Berlin-Heidelberg, 1975.
106. *Heißbauer H.* Verbesserung der Standfähigkeit von Abbaustrecken und Ergebnisauswertung von Ausbauwiderstands- und Bewegurgsmessungen auf dem Kohlenbergwerk Peißenberg. — Bergbau-Wissenschaften, 1962, Bd. 9, S. 352—355.

107. *Jacobi O., Holtz G.* Die Ableitung von Gesetzmässigkeiten aus den Druck- und Konvergenzmessungen im Blasversatz. — Glückauf, 1960, Bd. 96, S. 419—428.

108. *Jacobi O.* Angewandte Gebirgsmechanik im westdeutschen Steinkohlenbergbau. — Berg- und Hüttenm. Monatsh., 1975, Bd. 120, S. 560—568.

109. *Jacobi O.* Die Bewegungen im Gebirgsdruckmodell bei kreisförmigem Streckenquerschnitt ohne Ausbau. — Bergbau-Archiv, 1952, Bd. 13, Nr. 1—2, S. 17—25.

110. *Jacobi O.* Die Bewegungen zerbrochener Gesteinsschichten um bergmännische Hohlräume. — Glückauf, 1957, Bd. 93, S. 1393—1417.

111. *Jacobi O.* Der Druck auf Flöz und Versatz. — Glückauf, 1960, Bd. 96, S. 409—418.

112. *Jacobi O., Everling G.* Die Wirkung unterschidlichen Streckenausbaus in Modellversuchen. Int. Kongress für Gebirgsdruckforschung. Paris, 1960. — Revue d'industrie minerale, 1960, Sonderheft, S. 115—131.

113. *Jacobi O.* Die Zusammendrückung durchörterter und nicht durchörterter Gebirgsschichten über einem Abbauvorfeld und ihre Darstellung mit Hilfe von Kennlinien. — Bergbau-Archiv, 1964, Bd. 24, S. 17—26.

114. *Jahns H.* Die Tragfähigkeit der als Widerlager für den Grubenausbau dienenden Gesteinsschichten. — Glückauf, 1958, Bd. 94, S. 1479—1495.

115. *Jubt W.* Der Einfluss des Ausbauwiderstandes auf Hangendstufen und Ausbrüche in einem Modellversuch. — Glückauf-Forschungsh., 1971, Bd. 32, S. 143—147.

116. *Klockner M., Jacobi H.* Der Zusatzdruck beim Unterbauen von Kohlenfesten und Abbaukanten in spannungsoptischen Modellversuchen. — Glückauf-Forschungsh., 1968, Bd. 29, S. 305—309.

117. *Knissel W., Linzig H. J.* Verlegung der Abbaustrecken in druckentlastete Zonen. Steinkohlenbergwerk der Zukunft. — Essen, Bergbau-Forschung, 1977.

118. *Krahe J.* Die Wirkung der Hinterfüllung von Streckenausbau in einer Richtstrecke beim Unterbauen auf dem Verbundbergwerk Rheinland. Vortrag auf der 15. Sitzung des Fachausschusses Grubenausbau und Gebirgsmechanik am 03.06.1980.

119. *Kuznecov G. N., Menzel W.* Generalreport zum Thema «Gebirgsmechanische Modellversuche und Analitik». Internationales Büro für Gebirgsmechanik. Berlin, 1969, S. 417—434.

120. *Kuznecov G. N.* Grafische Methode zur Ermittlung der Grenzzustände des inhomogenen, klüftigen Gebirgskörpers. — Rock Mech., 1970, vol. 2, p. 75—92.

121. *Kuznecov G. N.* Modellversuche zum Einfluss der Gesteinszerklüftung. — Bericht 5. Ländertreffens des Internationalen Büros für Gebirgsmechanik. 1963 (1964), S. 145.

122. *Leonhardt J.* Vorläufige Richtlinien zur Anwendung des Prallhammers. — Mitt. aus dem Markscheidewesen, 1965, Bd. 72, S. 127—139.

123. *Linde F. C.* Erster Einsatz eines Impact Rippers auf der Zeche Hugo. — Technisch-Wissenschaftliches Vortragswese, 17.01.1974.

124. *Lütgendorf H. O.* Tragfähigkeit bogenförmiger Grubenausbauarten aus Stahl, Beton und Stahlbetonfertigteilen. — Glückauf-Forschungsh., 1975, Bd. 36, S. 7—11.

125. *Lütgendorf H. O.* Die Wirkung des Grubenausbaus auf die Spannungen in einer durch Gleitlösen begrenzten, angeschnittenen Gebirgsschicht. — Glückauf-Forschungsh., 1968, Bd. 29, S. 189—193.

126. *Meß- und Rechenverfahren* zur Gebirgsdruckbeherrschung. — Betriebsempfehlungen für den Steinkohlenbergbau Nr. 20.5. Essen, Glückauf, 1981.

127. *Middendorf H., Jacobi O.* Ankerausbau in Abbaustrecken. — Glückauf, 1952, Bd. 88, S. 636—645.

128. *Müller L.* Der Felsbau. Bd. 1. Stuttgard, 1963.

129. *Müller L., Tess C., Fecker E.* Kriterien zur Erkennung der Bruchgefahr geklüfteter Medien. Ein Versuch. — Rock Mech., Suppl., 1973, vol. 2, p. 71—92.

130. *Müller R. K.* Handbuch der Modellstatik. Berlin-Heidelberg, 1971.

131. *Natau O.* Quantitative Gebirgsdrucktheorie für den oberflächenhahen Strebbetrieb. — Erzmetall, 1975, Bd. 28, S. 225—228.

132. *Natau O., Leichnitz W.* Die Verbundwirkung Systemankerung-Gebirge. Grundlegende Anwendungen der Anweisungen für Felsmechanik. — In: Felsmech. Koll. Karlsruhe, 1978. Trans. Techn. Publ., 1978, p. 297—317.
133. *Noltze Ch.* Gebirgsdruck und Druckwirkungen in Flözstrecken des Ruhrreviers. TH Clausthal, 1981.
134. *Oldengott M.* Maßnahmen zur Verringerung der Sohlenhebung. Essen, Glückauf, 1981.
135. *Pitsilis J.* Das Hangendverhalten und die Rolle des mechanisierten Ausbaus mit hohem Ausbauwiderstand. — Informationstagung, Luxemburg, 1969. EGKS, 1970, S. 587—639.
136. *Planungshilfe* für den Zuschnitt im Abbau. Betriebsempfehlungen für den Steinkohlenbergbau Nr. 11. Essen, Glückauf, 1977.
137. *Rabcewitsch L., von, Hackl E.* Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau. Teil I—II (III). — Bauingenieur, 1972, Bd. 47, S. 225—234; 1975, Bd. 50, S. 369—379.
138. *Raffoux J.-F.* Gebirgsmechanik und Strebbau. — In: 3. Kongress Int. Gesellschaft für Felsmechanik, Denver, 1974, Vortrag IV C-1.
139. *Raffoux J.-F.* Renforcement des parements de charbon par grillage et boulons. — CERCHAR, Halbjahrbericht 2, 1973, KEG.
140. *Reuther E. U.* Helfen Modelle dem Bergbau? — Berg- und Hüttenm Monatsh., 1974, Bd. 119, S. 419—424.
141. *Richtlinien* des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen für die Zulassung von Betriebsplänen für das Herstellen von Grubenbauen in Kohle und Nebengestein im Hinblick auf Gebirgsschlaggefahr von 09.04.1976.
142. *Richtlinien* des Oberbergamts in Dortmund für die betriebsplanmäßige Zulassung von Strebbruchbau vom 26. Mai 1955, Dortmund, 1966.
143. *Schaefer W.* Der Drillwiderstand und sein Einfluss auf der Tragfähigkeit der Grubenausbauprofile. — Bergbau-Archiv, 1961, Bd. 22, S. 33—48.
144. *Schaefer W.* Die Tragfähigkeit von Stahlprofilen und ihre wirtschaftliche Verwendung für den Streckenausbau. — Glückauf, 1957, Bd. 93, S. 877—896.
145. *Schwartz B.* Konvergenzvoraussagen in Strebstrecken. — Bergbau-Wissenschaften, 1963, Bd. 10, S. 467—476, 539—548.
146. *Schwartz B., Chambon C.* Une problème de pression de terrains dans les exploitations houilleres. La gestion des voies. — Revue de l'industrie minerale, 1963, vol. 45, p. 706—722.
147. *Schwartz B.* Vorausberechnung der Bewegungen in Abbaustrecken. — In: Int. Kongress für Gebirgsdruckforschung, Paris, 1960, Vortrag E-3.
148. *Sielaff H. D., Buschmann N.* Waschberge als Zuschlagstoff für hydraulisch abbindende Saumversatzstoffe. — Kurznachrichten Bergtechnik, 1974, Nr. 93, S. 2.
149. *Skutta E.* Planmäßige Erfassung des Verhaltens von Gebirge und Ausbau in Strecken und Streben auf dem Steinkohlenbergwerk Emil Mayrisch. — Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 1971, Bd. 78, S. 256—272.
150. *Stassen P.* Streckenführung. — In: Gebirgsdruck und Grubenausbau. Informationstagung der EGKS, Luxemburg, 1969. 1970, S. 383—460.
151. *Stimpson B.* Werkstoffe für gebirgsmechanische Modellversuche. — Int. J. Rock Mech. Mining Sci., 1970, vol. 7, p. 77—121.
152. *Türstockausbau* im Vortriebbereich von Strecken sowie Auf- und Abhauen. Verfügung des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen vom 23.12.1977. 18—24.1—2—2; A2.16.
153. *Verwendung* von Prallhammermessungen in einachsige Druckfestigkeit und Stanzfestigkeit. Rundschreiben Nr. MZ-19 der Steinkohlenbauvorschriften, 1967.
154. *Wilson A. H.* Studie über die Auflockerungszonen um Strecken. Arbeitsbericht (KEG) Nr. 2, Januar-Juni 1975.
155. *Wilson A. H.* Support load requirements on longwall faces. — Mining Engineering, 1975, vol. 134, p. 479—491.

Оглавление

Предисловие 5

1. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ 7

1.1. Причины и проявления горного давления 7
1.1.1. Основные понятия и определения 7
1.1.2. Пониженное горное давление 10
1.1.3. Повышенное горное давление 11
1.1.4. Влияние краевых частей угольного массива и оставленных целиков по соседним пластам 12
1.1.5. Выводы по разд. 1.1.1.—1.1.4 12

1.2. Величина и распределение горного давления 14
1.2.1. Определение распределения горного давления по данным измерений 14
1.2.2. Определение давления на закладочный массив по данным измерений 16
1.2.3. Структура математической модели горного давления, сравнение расчетных данных с результатами измерений 19
1.2.4. Распределение горного давления. Пространственные эпюры для случаев отработки одного и четырех пластов 23

1.3. Результаты расчетов горного давления и измерения конвергенции 25
1.3.1. Расчетное горное давление и измеренные площади вывалов кровли в призабойном пространстве лавы 25
1.3.2. Расчетная величина горного давления и конвергенция в выемочных штреках 28
1.3.3. Пример использования результатов расчетов горного давления при проектировании схемы подготовки выемочного поля . . 30

1.4. Горное давление при очистных работах 32
1.4.1. Распределение давления в призабойной части пласта при отходе лавы от разрезной печи 32
1.4.2. Распределение горного давления по длине выемочных штреков 33
1.4.3. Распределение горного давления по длине выемочного штрека при подработке лавой целика по вышележащему пласту . . 34
1.4.4. Выемочный штрек в зоне экстремально высокого давления при подработке лавой границ выработанного пространства . . 36

1.5. Горное давление при наклонном залегании пластов 39
1.5.1. Воздействие междуэтажного целика на лаву и выемочные штреки 39
1.5.2. Воздействие многократной надработки на состояние квершлага 43
1.5.3. Характер «нагруженности» отдельных участков квершлага 43

1.6. Горное давление на вскрывающие и подготовительные выработки 48
1.6.1. Угольные целики между штреком и очистными выработками 48
1.6.2. Штрек в середине угольного целика 51
1.6.3. Давление на базисные выработки при приближении к ним фронта очистных работ 54
1.6.4. Штрек под краевой частью пласта 58
1.6.5. Выработка под выступающим углом краевой части пласта 60
1.6.6. Выработка под угольным целиком 63

1.7. Лава под краевой частью вышележащего пласта 66
1.7.1. Краевая часть пласта, параллельная выемочным штрекам 66
1.7.2. Краевая часть пласта, параллельная линии очистного забоя 68
1.8. Выемочный штрек под краевой частью вышележащего пласта и под целиком угля 70
1.8.1. Краевая часть пласта, параллельная выемочным штрекам 70
1.8.2. Выступающий угол краевой части пласта 76
1.8.3. Целик, параллельный выемочному штреку 79
1.8.4. Краевая часть вышележащего пласта, параллельная линии очистного забоя 81
1.8.5. Целик, параллельный лаве 85
1.9. Выемочные штреки, проводимые с опережением и отставанием от очистного забоя 89
1.9.1. Воздействие на лаву и ее концевые участки целика по вышележащему пласту 89
1.9.2. Давление на выемочный штрек при отсутствии влияния краевой части вышележащего пласта 91
1.9.3. Давление на выемочный штрек, находящийся под краевой частью вышележащего пласта 94
1.10. Влияние отработки защитных пластов на снижение горного давления 96
1.11. Рекомендации для проектировщиков 97
1.11.1. Порядок проектирования 97
1.11.2. Оптимальное по фактору горного давления расположение подготовительных выработок 99
1.11.3. Основные правила подготовки выемочных полей . . . 107
2. ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ 114
2.1. Типы и формы разрушения горных пород 114
2.1.1. Виды разрушения пород 114
2.1.2. Формы разрушения кровли и забоя лавы 116
2.2. Виды трещин и характер сдвижений кровли 116
2.2.1. Различные виды трещин 116
2.2.2. Классификация трещин и видов смещения 118
2.2.3. Механизм образования клиновидных вывалов из кровли 122
2.2.4. Образование клиновидного вывала 124
2.2.5. Расширение зоны клиновидного вывала 124
2.3. Поведение кровли при отходе лавы от разрезной печи . . . 125
2.3.1. Типичные схемы обрушения кровли при отходе лавы от разрезной печи 125
2.3.2. Формы обрушения кровли в начальный и последующий периоды работы лавы 126
2.3.3. Степень опасности обрушения кровли 126
2.3.4. Обрушение консольных плит кровли 127
2.4. Поведение кровли в лаве, отошедшей на достаточно большое расстояние от разрезной печи 129
2.4.1. Несущая способность кровли при различном рабочем сопротивлении крепи 129
2.4.2. Рабочее сопротивление крепи и трещинообразование в породах кровли 130
2.5. Периодическое давление 131
2.5.1. Распор пород в сводах обрушения и периодическое давление 131

2.5.2. Частота и интенсивность периодических проявлений горного давления 133
2.6. Ступенчатое опускание непосредственной кровли 133
2.6.1. Примеры образования выступов в кровле 133
2.6.2. Причины образования больших выступов в кровле . . . 135
2.7. Крупные вывалы пород из кровли 136
2.7.1. Причины образования вывалов с высыпанием больших объемов раздробленной породы 136
2.7.2. Переход через крупные вывалы из кровли лавой со щитовой крепью 136
2.7.3. Заполнение полостей крупных вывалов пенопластом . . 139
2.8. Отжим угля в забое 140
2.9. Сдвижение вышележащих пород кровли 141
2.9.1. Развитие процесса разрушения породных слоев при отходе лавы от разрезной печи (опыты на моделях) 141
2.9.2. Полости Вебера 142
2.9.3. Периодическая осадка кровли (опыты на моделях) . . . 143
2.10. Влияние геологических условий на характер оседания подработанного породного массива 145
2.10.1. Основные влияющие геологические факторы по В. Гимму 145
2.10.2. Влияние строения пород кровли пласта на характер ее разрушения над призабойным пространством лавы 146
2.10.3. Формы разрушения верхних слоев кровли 146
2.10.4. Влияние тектонических факторов на характер разрушения кровли 146
2.11. Свойства горных пород в образцах и массиве 146
2.11.1. Прочность пород на сжатие и растяжение и коэффициенты трения 146
2.11.2. Взаимосвязь между механическими свойствами и минеральным составом пород карбона 148
2.11.3. Круг напряжений Мора 154
2.11.4. Результаты испытаний пород на трехосное сжатие . . 156
2.11.5. Влияние поверхностей ослабления на прочность горных пород в массиве 156
3. УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ЛАВЕ 165
3.1. Наблюдения за эффективностью управления кровлей в лаве . . 165
3.1.1. Производственные наблюдения за состоянием кровли . . 165
3.1.2. Измерения давления в гидросистеме крепи 168
3.1.3. Усилие начального распора, среднее рабочее сопротивление и пригрузка на гидростойки щитовой крепи 170
3.1.4. Давление в гидросистеме лавной крепи 170
3.1.5. Оптимизация гидросистемы в лаве 172
3.2. Критерии качества управления кровлей 173
3.2.1. Характеристики и предельные значения 173
3.2.2. Средние показатели состояния кровли в лавах 174
3.2.3. Формы вывалов породы из кровли, их размеры и частота 177
3.3. Влияние горного давления и структуры кровли 179
3.3.1. Ступенчатое опускание кровли 179
3.3.2. Вывалы пород из кровли 181
3.3.3. Пример подработки целика 183
3.4. Расстояние между забоем и концами верхняков крепи 184
3.4.1. Удельная площадь вывалов и показатель склонности кровли к вывалам 184

3.4.2. Вывалы большой высоты 186
3.4.3. Вывалы пород кровли перед крепью и над ней 187
3.4.4. Контакт призабойных консолей с кровлей и скопления породной мелочи на несущих элементах крепи 188
3.5. Запаздывание крепления и отжим угля из верхней части забоя 189
3.5.1. Вывалы пород кровли в результате запаздывания крепления 189
3.5.2. Отжим угля в верхней части забоя 191
3.6. Тип и сопротивление крепи 193
3.6.1. Влияние крепи на проявления горного давления . . . 193
3.6.2. Основные факторы, влияющие на частоту вывалов . . . 195
3.6.3. Определение ожидаемой частоты вывалов 196
3.7. Конвергенция пород в лаве 198
3.7.1. Смещение кровли при индивидуальных и механизированных крепях 198
3.7.2. Конвергенция пород в лаве по Ж. Ф. Раффу и Ш. Шамбону 200
3.8. Общие принципы и правила управления кровлей 200
4. КРЕПЬ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ 203
4.1. Необходимое сопротивление крепи 203
4.1.1. Минимальное сопротивление крепи, обусловленное требованиями безопасности ведения работ 203
4.1.2. Предупреждение вывалов и ступенчатого оседания кровли 206
4.1.3. Рекомендации различных авторов 209
4.1.4. Поведение слабой кровли по О. Натау 212
4.2. Технические требования к механизированным крепям 213
4.2.1. Конструктивные схемы механизированных крепей . . . 213
4.2.2. Технические требования к костровым и рамным крепям поддерживающего типа 214
4.2.3. Технические требования к щитовой крепи при управлении кровлей полным обрушением 219
4.2.4. Механизированные крепи для лав с управлением кровлей пневмозакладкой выработанного пространства 223
4.2.5. Технические требования к механизированным крепям для наклонных пластов 229
4.2.6. Контакт перекрытий крепи с кровлей 234
4.2.7. Слабая (неустойчивая) почва 237
4.2.8. Перекрытие межсекционных зазоров 240
4.3. Расчеты и испытания механизированных крепей 241
4.3.1. Расчет сопротивления щитовой крепи 241
4.3.2. Характеристики механизированных крепей 243
4.3.3. Устойчивость секций щитовой крепи в направлении их передвижки 246
4.3.4. Устойчивость щитовой крепи по падению пласта 248
4.3.5. Испытания механизированных крепей 250
4.4. Производственный опыт и выводы 252
4.4.1. Щитовая и костровая крепи 252
4.4.2. Перспективы развития щитовых крепей 254
5. ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ 259
5.1. Вывалы пород в призабойной зоне подготовительных выработок, не подверженных влиянию очистных работ 259
5.2. Подготовительные выработки за пределами призабойной зоны . . 261
5.2.1. Формы разрушения пород в кровле и почве подготовительных выработок 261

5.2.2. Формы разрушения пород по результатам исследований на моделях 264
5.2.3. Деформирование полевых штреков при наклонном залегании пластов 266
5.3. Деформирование выемочных штреков 267
5.3.1. Срок службы выемочного штрека 267
5.3.2. Расслоение и взаимное смещение породных слоев . . . 268
5.3.3. Смещение породных слоев кровли при наклонном залегании пласта 270
5.3.4. Характер трещиноватости пород вокруг выемочного штрека 274
5.3.5. Деформации штрека перед второй лавой 274
5.3.6. Выбор ширины околоштрекового целика 276
5.3.7. Трещинообразование в верхних слоях кровли 277
5.4. Влияние формы поперечного сечения и крепи штрека на характер разрушения пород 278
5.4.1. Крепь с замедленным и быстрым восприятием нагрузки 278
5.4.2. Сравнение штреков с прямоугольной и арочной формой поперечного сечения 280
5.4.3. Сравнение крепей без обратного свода и с ним 280
5.4.4. Штреки с прямоугольной формой поперечного сечения: структура породных слоев кровли, ширина выработки и сопротивление крепи 282
5.4.5. Зона разрыхления пород в зависимости от их предела прочности и сопротивления крепи по А. Х. Вильсону 283
5.4.6. Зона разрыхления пород в зависимости от трения в боках выработки и сопротивления крепи по Х. О. Лютгендорфу . . 284
5.5. Медленная деформация контура выработки 286
5.5.1. Пучение почвы 286
5.5.2. Меры предотвращения пучения пород почвы 286
5.5.3. Усиленное складкообразование в кровле штрека . . . 288
5.5.4. Смещение боков выработки 289
5.6. Деформирование подготовительных выработок 290
5.6.1. Полевой штрек, закрепленный арочной крепью 290
5.6.2. Штрек, закрепленный металлической рамной крепью . . 290
5.6.3. Выемочные штреки на крутых пластах 293
5.7. Влияние геологических условий на деформирование штреков . . 294
5.7.1. Мощность пачек породных слоев, разделенных поверхностями скольжения, и глубина складкообразования 294
5.7.2. Критическая мощность породного слоя, ограниченного поверхностями скольжения 294
5.7.3. Прочность массива в направлении слоистости пород при отсутствии сопротивления крепи 296
5.7.4. Прочность массива в направлении слоистости пород при анкерной крепи 298
5.7.5. Плоскости скольжения в породах боков штрека . . . 298
5.7.6. Трение по межслоевым контактам и смещение боков выработки 299
5.7.7. Прочность массива по нормали к напластованию породной пачки, состоящей из двух слоев различной прочности . . . 300
5.8. Вопросы, решаемые на физических моделях 301
5.8.1. Постановка задачи и область применения 301
5.8.2. Способы и средства моделирования 305
6. КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ 311
6.1. Контроль за состоянием подготовительных выработок 311

6.1.1. Рациональное планирование горных работ на основе наблюдений за состоянием подготовительных выработок и проектных расчетов 311
6.1.2. Производственные наблюдения за состоянием подготовительных выработок 315
6.1.3. Оперативная обработка результатов наблюдений и их анализ на ЭВМ 326
6.1.4. Методы измерений и расчетов, используемые при выборе способов управления горным давлением 327
6.2. Выемочные штреки на шахтах Рурского бассейна 334
6.2.1. Схемы проведения выемочных штреков и область их применения 334
6.2.2. Условия проведения и поддержания выемочных штреков 336
6.2.3. Состояние выемочных штреков 336
6.3. Факторы, влияющие на конвергенцию в выемочных штреках с арочной крепью 342
6.3.1. Влияние глубины разработки, мощности пласта, свойств пород почвы, способа охраны со стороны выработанного пространства и краевых частей по соседним пластам 342
6.3.2. Разброс фактических значений конвергенции по длине выемочных штреков с арочной крепью 348
6.3.3. Повышенное горное давление и поведение породного массива 349
6.3.4. Деформация штрека на сопряжении с лавой 354
6.3.5. Влияние притока воды 356
6.4. Влияние схемы проведения штрека на конвергенцию 358
6.4.1. Сравнение величин конвергенции 358
6.4.2. Штрек, проводимый с отставанием от лавы и поддерживаемый в выработанном пространстве 363
6.4.3. Характеристики штреков, проводимых с опережением лавы, общим забоем с ней и с отставанием от лавы 364
6.5. Расчет ожидаемой конвергенции 366
6.5.1. Расчет конвергенции и проектирование крепи выемочных штреков 366
6.5.2. Использование результатов сравнительного анализа . . 372
6.5.3. Использование расчетов конвергенции при планировании развития горных работ 376
6.5.4. Расчет конвергенции выемочных штреков по Ж. Ф. Раффу 380
6.5.5. Расчет ожидаемого объема подрывки почвы в штреках с односторонним выработанным пространством 381
6.6. Смещение пород кровли, почвы и боков выемочных штреков . . 382
6.6.1. Составляющие деформации поперечного сечения штреков, закрепленных арочной крепью 382
6.6.2. Влияние ширины околоштрекового целика на сближение боков и остаточную площадь поперечного сечения штрека . . . 386
6.6.3. Сближение боков штрека с затяжкой из металлической сетки, закрепленной и не закрепленной анкерами 389
6.6.4. Расслоение пород кровли, упрочненных и не упрочненных анкерами, в штреках с прямоугольной формой поперечного сечения 390
6.6.5. Пучение почвы, закрепленной и не закрепленной анкерами, в штреках 392
6.7. Влияние сопротивления крепи на конвергенцию 394
6.7.1. Сопоставление участков одного и того же штрека, закрепленных прямоугольными и арочными рамами 394
6.7.2. Результаты исследований с применением динамометрических гидравлических стоек (по Г. Янсу) 398
6.8. Конвергенция в базисных выработках 401

6.8.1. Определение размеров целиков, оставляемых для охраны базисных выработок 401
6.8.2. Конвергенция до и после остановки лавы 403
6.8.3. Определение ожидаемой конвергенции по результатам измерений в начальной стадии ее развития (по К. Эйххольцу) . . 407
6.8.4. Определение ожидаемой конвергенции в базисной выработке по результатам расчетов горного давления и измерений конвергенции в выемочном штреке 409
6.8.5. Влияние времени при возрастающем давлении 411

6.9. Вскрывающие и подготовительные выработки 412
6.9.1. Упругая разгрузка приконтурного породного массива в призабойном пространстве и прирост давления 412
6.9.2. Конвергенция и расчет ее ожидаемой величины по данным измерений в начальной стадии (по Б. Шварцу) 416
6.9.3. Расслоение пород и конвергенция 417
6.9.4. Конвергенция при проведении квершлага в условиях высокого давления 419
6.9.5. Конвергенция и сближение боков в подработанных выработках, пройденных вкрест простирания 421

6.10. Влияние подработки на состояние основных подготовительных выработок 424
6.10.1. Примеры 424
6.10.2. Влияние горизонтальной составляющей горного давления на конвергенцию 425
6.10.3. Конвергенция при подработке 427
6.10.4. Конвергенция и горное давление при подработке — сравнение различных типов крепи 429

7. КРЕПЛЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК 432

7.1. Новые разработки в области крепления подготовительных выработок 432
7.1.1. Значение крепи выемочных штреков 432
7.1.2. Основные задачи — совершенствование и механизация . . 434
7.1.3. Новое в креплении штреков 436
7.1.4. Значение надежного прогнозирования ожидаемых проявлений горного давления для опытно-конструкторских работ в области крепления подготовительных выработок 440
7.1.5. Применяемые паспорта крепления подготовительных выработок 443

7.2. Арочная крепь 443
7.2.1. Определение параметров арочной крепи 443
7.2.2. Податливые крепи с медленным нарастанием сопротивления 448
7.2.3. Несущая способность крепи и сопротивление просадке . . 449
7.2.4. Незаанкерованные и заанкерованные межрамные соединения 452
7.2.5. Несущая способность крепи при заполнении закрепного пространства вручную 453
7.2.6. Влияние заполнения закрепного пространства 455
7.2.7. Арочная крепь с железобетоном 459

7.3. Мероприятия по борьбе с пучением почвы 461
7.3.1. Анкерование почвы 461
7.3.2. Тампонаж пород почвы 468
7.3.3. Бетонные своды в почве выработки с податливой металлической крепью и без нее 471
7.3.4. Разгрузка от напряжений и упрочнение пород почвы выработок 473
7.3.5. Устройство разгрузочных щелей 475

7.3.6. Анкерование почвы в сочетании с образованием разгрузочных щелей 477
7.4. Анкерная крепь в выработках с арочной формой поперечного сечения 478
7.4.1. Область применения и расчеты параметров анкерной крепи 478
7.4.2. Несущая способность анкерной крепи в выработках с арочной формой поперечного сечения 487
7.4.3. Податливая анкерная крепь с высокой несущей способностью 495
7.4.4. Комбинированные крепи 497
7.5. Трапециевидная крепь 500
7.5.1. Область применения 500
7.5.2. Восприятие нагрузки узлами податливости 503
7.5.3. Узлы податливости и их несущая способность 504
7.5.4. Определение характеристик верхняков и стоек рам трапециевидной крепи 507
7.5.5. Снижение сопротивления крепи на сопряжении штрека с лавой 511
7.6. Трапециевидная крепь, усиливаемая анкерами 512
7.6.1. Область применения и расчет анкерной и рамно-анкерной крепи 512
7.6.2. Использование и опыт применения анкерной крепи в штреках с прямоугольной формой поперечного сечения в угольных шахтах Франции 516
7.6.3. Паспорта крепления и поведение выработок при применении рамно-анкерной крепи 518
7.6.4. Восприятие нагрузки анкерной крепью, работающей самостоятельно и в комбинации с рамной крепью, при экспериментах на моделях и в шахтных условиях 522
7.7. Сопряжение выемочного штрека с лавой 525
7.7.1. Состояние участка сопряжения штрека с лавой 525
7.7.2. Разрушение приконтурного массива на сопряжении штрека с лавой и меры по усилению крепи 529
7.7.3. Упрочнение боков штрека полиуретаном и магнезиальными вяжущими 531
7.7.4. Подхватывание арок штрековой крепи 535
7.7.5. Поддержание сопряжения лавы со штреком на наклонных пластах 538
7.8. Поддержание кромки кровли пласта после прохода лавы 539
7.8.1. Влияние способа охраны штрека на деформирование приконтурного массива 539
7.8.2. Несущая способность жестких околоштрековых полос . . 542
7.8.3. Свойства быстротвердеющих смесей, используемых для возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства 544
7.8.4. Использование отходов мокрого обогащения в качестве инертной добавки к гидравлическим вяжущим при возведении околоштрековых полос 545
7.8.5. Требования к дальнейшему совершенствованию техники возведения околоштрековых полос и заполнения закрепного пространства 551

Список литературы 553

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Оскар Якоби

ПРАКТИКА УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Редактор издательства *Г. Ф. Григорьев*
Оформление художника *Ю. Г. Черепанова*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Технический редактор *Л. Я. Голова*
Корректор *Р. Т. Баканова*

ИБ № 6374

Сдано в набор 03.07.87. Подписано в печать 21.09.87. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 35,5. Усл. кр.-отт. 35,75. Уч.-изд. л. 37,8. Тираж 2770 экз. Заказ 1134/559—7. Цена 2 р. 90 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.

Вниманию специалистов!

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» ГОТОВИТ
К ВЫПУСКУ В 1988 ГОДУ НОВЫЕ КНИГИ

Першин В. В.
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ШАХТ
12 л. (Курсом ускорения научно-технического прогресса). — 60 к.

Дана оценка организационно-технического уровня горнопроходческих работ при реконструкции угольных шахт и намечены пути их интенсификации. Показано влияние надежности технологических систем на эффективность горнопроходческих работ. Изложены основные положения методики расчета параметров проведения горных выработок. Впервые проблема интенсификации горнопроходческих работ рассмотрена с учетом социально-психологических факторов. Отмечено возрастание роли бригады как первичного трудового коллектива, даны конкретные рекомендации по повышению темпов проходки и производительности труда.
Для инженерно-технических работников угольной промышленности.
План 1988 г., № 232

Петров А. И., Штумпф Г. Г., Егоров П. В., Архипов Г. Н.
МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
15 л. 75 к.

Описана технология проведения подготовительных горных выработок комбайновым и буровзрывным способами. Изложена методика определения основных технологических параметров проходческого цикла, описаны проходческие комбайны и комплексы, конструкции применяемых крепей и средства механизации их возведения. Рассмотрены условия эффективного применения комбайнов на пластах, опасных по внезапным выбросам, примеры скоростного проведения подготовительных выработок, приемы и методы организации труда при этих проходках.
Для инженерно-технических работников угольной промышленности.
План 1988 г., № 231

Интересующие Вас книги можно приобрести или заказать в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства «Недра», адреса которых приведены в аннотированном плане, а также через отдел «Книга — почтой» (г. Ленинград, магазин № 17).

Адреса центральных магазинов:

№ 115 — 117334, Москва, Ленинский проспект, 40. Дом научно-технической книги;

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61

Издательство «Недра»

