

МВ и ССО РСФСР

**Новочеркасский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт имени Серго Орджоникидзе**

А. Н. МЕДЯНЦЕВ

**Сдвигение горных пород и
земной поверхности под влиянием
горных выработок**

Одобрено редакционно-издательским советом Новочеркасского политехнического института.

В пособии даны теоретические и экспериментальные основы курса сдвижения горных пород и охраны сооружений, читаемого студентам маркшейдерской специальности. Материал изложен с точки зрения современных требований практики. Приведены обоснования и доказательства основных положений, параметров сдвижения и расчетных методов, принятых в настоящее время в нормативных документах и специальной литературе.

Предназначено для студентов специалистов 0201 и работников производства.

Ответственный редактор доцент, канд. техн. наук
В. С. Баранов.

© Новочеркасский политехнический институт, 1976.

ВВЕДЕНИЕ

Подземные и открытые разработки полезных ископаемых вызывают нарушение равновесия горных пород, в результате чего они деформируются и сдвигаются в сторону выработки. Наука о сдвигении горных пород занимается выяснением закономерностей сдвигения горных пород и земной поверхности и разработкой инженерных методов решения практических задач, связанных со сдвижением горных пород. Сдвигение горных пород и земной поверхности вызывает часто значительные затруднения в разработке месторождений.

Сдвигение горных пород оказывает влияние на горные выработки: стволы шахт, подготовительные выработки. Например, в центральном районе Донбасса большинство действующих вертикальных стволов деформировано и искривлено из-за сдвигения горных пород, что вызывает большие трудности в работе шахт.

Сдвигение горных пород может вызвать увеличение притока воды в горные выработки до катастрофических размеров, когда горные работы производятся под реками, водоемами, плавучими или под затопленными ранее старыми выработками.

Но самым распространенным следствием сдвигения горных пород является нарушение зданий и сооружений на земной поверхности при проведении под ними горных выработок. Здесь приходится решать одновременно две проблемы:

- а) максимальное извлечение запасов полезных ископаемых из недр;
- б) сохранение зданий и сооружений пригодными для эксплуатации.

Обе эти проблемы имеют весьма важное государственное значение и нахождение методов оптимального решения их составляет задачу науки о сдвигении горных пород.

Практика показывает, что сдвигение земной поверхности, являющееся следствием сдвигения горных пород, в одних случаях вызывает нарушения в зданиях и сооружениях, в других — не вызывает.

Последствия влияния выемки полезных ископаемых под зданиями и сооружениями (последствия подрработки) зависят от многих факторов, которые можно разделить на две основные группы.

1. Естественные геологические факторы (состав и физико-механические свойства толщи пород, глубина залегания и мощность залежи полезных ископаемых, угол падения пород и др.).

2. Искусственные горно - технические и строительные факторы (размер выработки, система разработки и способ управления кровлей, конструкция зданий и сооружений, назначение их и т. д.).

Первая группа факторов не зависит от деятельности людей, вторая — зависит и поэтому может быть в той или иной степени изменена.

Чтобы правильно выбрать горно-технические и строительные мероприятия охраны сооружений, необходимо знать величины сдвижений и деформаций земной поверхности и знать, как они воздействуют на то или иное сооружение.

Применяемые в настоящее время методы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности и методы охраны сооружений основываются на данных многолетних наблюдений в натуральных условиях, проводимых во всех основных горно-промышленных районах нашей страны: Донбассе, Кузбассе, Карагандинском, Криворожском бассейнах и др.

При открытых разработках сдвигание горных пород проявляется в форме оползней и обвалов бортов карьеров, которые наносят большой ущерб горной промышленности. Определение условий, при которых могут возникнуть эти явления, и меры борьбы с оползнями входят в задачу науки о сдвигании горных пород на открытых разработках.

Большая заслуга в развитии науки о движении горных пород и методов защиты сооружений в нашей стране принадлежит профессорам П. И. Леонтовскому, И. М. Бахурину, С. Г. Авершину, Д. А. Казаковскому, Г. Л. Фисенко, а также М. В. Короткову, С. П. Колбенкову, Р. А. Муллеру, И. А. Петухову, М. А. Юфис и др.

Пособие составлено в соответствии с учебной программой для маркшейдерской специальности высших учебных заведений.

процесс сдвигения может на этом прекратиться и не достигнуть земной поверхности. Такие явления наблюдаются над небольшими одиночными выработками. Однако при существующих в настоящее время размерах очистных выработок, определяемых многими десятками и сотнями метров, по мере увеличения выработки процесс сдвигения распространяется до земной поверхности.

После окончания процесса сдвигения над выработанным пространством образуются три зоны: зона обрушения 1, зона трещин 2, зона прогибов без разрывов 3 (рис. 1). Высота зоны обрушения обычно не превышает 3—4-кратной мощности пласта, высота зоны трещин — не более 30—35-кратной мощности пласта. При разработке пласта угля с закладкой выработанного пространства зона обрушения отсутствует.

Кроме сдвигения пород над выработкой одновременно происходит сдвигение пород над целиками угля за границами очистной выработки. Происходит это потому, что во время образования выработки часть веса пород, находящихся над выработкой, вследствие зависания передается на целики, в результате чего у границ выработки возникает дополнительное давление на угольный пласт, называемое опорным давлением (зоны 4 на рис. 1). Под влиянием опорного давления происходит сжатие угольного пласта и слоев горных пород, а также выдавливание их из зоны опорного давления в зону пониженного давления, т. е. в сторону зон обрушения и трещин.

В выработанном пространстве происходит поднятие почвы пласта. Вследствие сжатия угольного пласта и слоев горных пород в зоне опорного давления возникает сдвигение земной поверхности за границами очистной выработки. Область сдвигения горных пород в подработанной толще на разрезе вкрест простирания показана на рис. 1.

§ 2. Параметры мульды сдвигения

Сдвигение горных пород заканчивается образованием на земной поверхности впадин — мульды сдвигения. Границы мульды сдвигения огибают границы подземной выработки и площадь мульды сдвигения больше площади выработки (рис. 2а).

Сечения, в которых мульда сдвигения получает максимальное развитие, называются главными сечениями. В мульде сдвигения имеются два главных сечения: по простиранию (рис. 2б) и вкрест простирания (рис. 2в). Для главных сече-

ний характерно то, что сдвигения и деформации земной поверхности происходят в вертикальных плоскостях этих сечений и достигают максимальной для данной мульды величины. Границы мульды сдвигения определяются при помощи граничных углов β_0 , γ_0 и δ_0 .

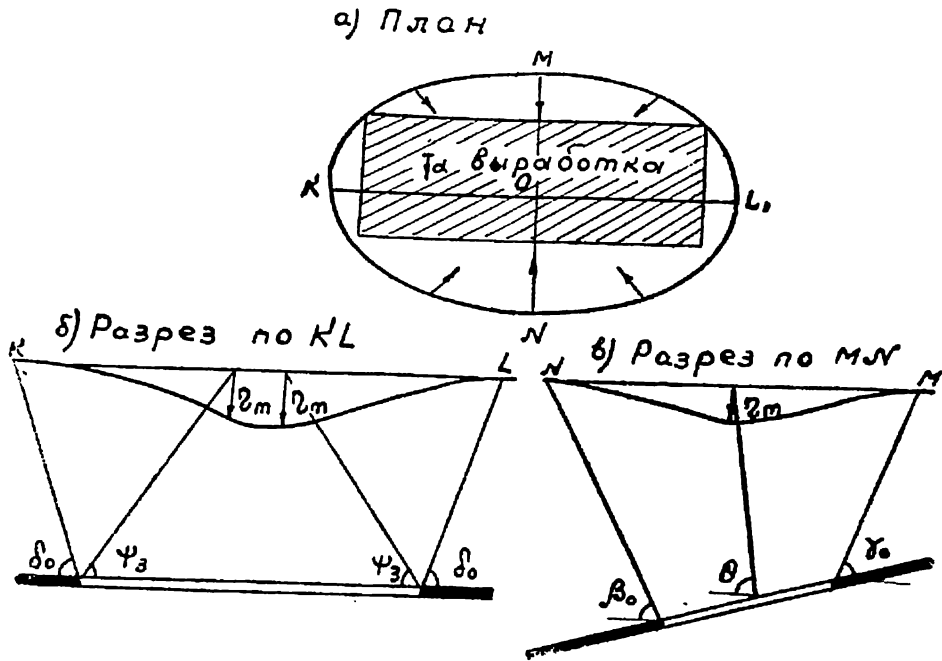


Рис. 2.

Граничные углы — это внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами мульды сдвигения на земной поверхности.

В качестве границ мульды сдвигения принимаются точки с оседанием 15 мм. Различают граничные углы у границ выработки: нижней — β_0 , верхней — γ_0 , по простиранию — δ_0 (рис. 2б, в).

Центром мульды называется точка с наибольшим оседанием. При горизонтальном залегании центр мульды находится над серединой выработки, при наклонном залегании он смещается в сторону падения. Центр мульды определяется при помощи угла максимального оседания θ , под которым понимается угол между горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с центром мульды сдвигения на земной поверхности (рис. 2в).

При больших размерах выработки в мульде возникают целые площадки с максимальным и равным оседанием (плоское дно). При возникновении плоского дна дальнейшее увеличение размера выработки не приводит к увеличению максимального оседания земной поверхности. Условие, при котором в мульде сдвижения возникает плоское дно, называется условием полной подработки земной поверхности. Условие, при котором в мульде не возникает плоского дна, а оседание не достигает максимального возможного значения, называется условием неполной подработки земной поверхности.

Границы плоского дна мульды сдвижения определяются углами полных сдвижений ψ_1, ψ_2, ψ_3 (рис. 2б). Под углами полных сдвижений понимаются внутренние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды плоскостью пласта и линиями, соединяющими границы выработки с границами плоского дна мульды сдвижения. Различают углы полных сдвижений у границ выработки: нижней — ψ_1 , верхней — ψ_2 , по простиранию — ψ_3 .

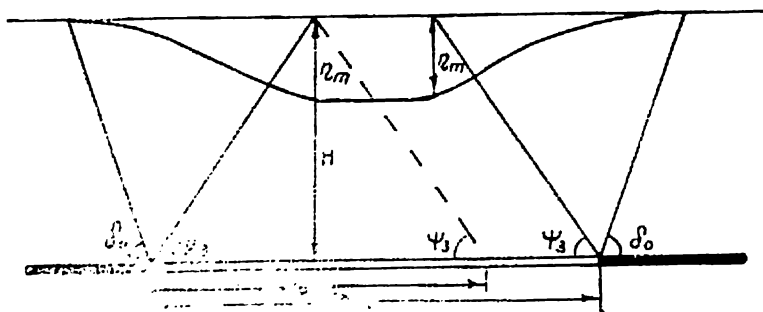


Рис. 3.

Условия полной и неполной подработки земной поверхности определяются коэффициентом подработанности n . Коэффициентом подработанности называется отношение фактического размера выработки к минимальному размеру выработки, при которой возникает плоское дно мульды (рис. 3)

$$n = \frac{D_\phi}{D_0}; D_0 = 2H \operatorname{ctg} \psi_3,$$

$$n = \frac{D_\phi}{2H \operatorname{ctg} \psi_3}, \text{ для Донбасса } \psi_3 = 55^\circ,$$

$$n = \frac{D_\phi}{1,4H} = 0,7 \frac{D_\phi}{H}.$$

Для разреза вкрест простирания фактическая длина выработки обозначается D_1 и коэффициент подработанности $n_1 = 0,7 \frac{D_1}{H}$. Для разреза по простиранию фактическая длина выработки обозначается D_2 и коэффициент подработанности $n_2 = 0,7 \frac{D_2}{H}$.

Если n_1 или $n_2 \geq 1$, то земная поверхность в соответствующем главном сечении мульды сдвижения находится в условиях полной подработки, если n_1 или $n_2 < 1$, то земная поверхность находится в условиях неполной подработки.

Граничные углы, углы максимального оседания, углы полных сдвижений и коэффициенты подработанности являются исходными параметрами для расчета сдвижений и деформаций земной поверхности.

Исходные параметры определены во всех основных угольных бассейнах страны на основании данных наблюдений и приведены в действующих нормативных документах: «Руководство по расчету зданий и сооружений, проектируемых на подрабатываемых территориях» и «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных порных разработок в Донецком угольном бассейне» [24, 21].

§ 3. Смещения (сдвижения и деформации) земной поверхности

Полный вектор сдвижения точки земной поверхности AA' (рис. 4) разлагается на три составляющих: по оси z вертикальное сдвижение (оседание) — η , по оси x горизонтальное сдвижение — ξ , по оси y ордината — ζ .

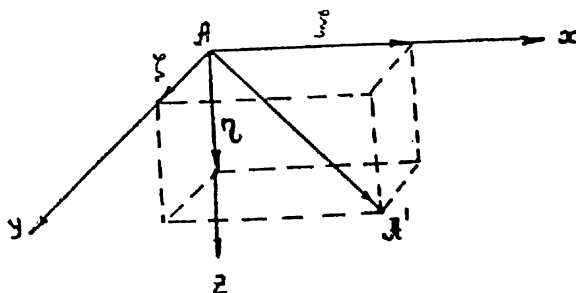


Рис. 4.

Сдвигение в направлении оси y незначительно и обычно во внимание не принимается, поэтому ниже мы будем рассматривать сдвигение только в плоскости xOz . Вертикальные и горизонтальные сдвигения точек происходят неравномерно, вследствие чего возникают вертикальные деформации (наклоны, кривизна) и горизонтальные деформации (растяжения, сжатия) земной поверхности.

Понятие «сдвигение» (вертикальное или горизонтальное) относится к точкам, понятие «деформация» относится к отрезкам (интервалам) земной поверхности.

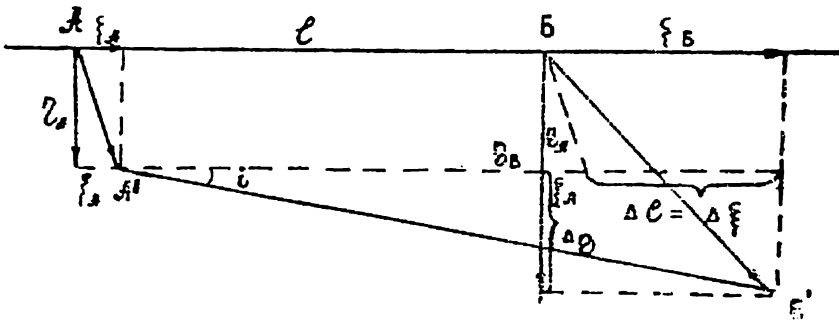


Рис. 5.

Рассмотрим деформации отрезка земной поверхности между точками А и В (рис. 5). Сдвигение этих точек происходит неравномерно в вертикальном и горизонтальном направлениях. Обозначим величины сдвижений точек через η_A , η_B , ξ_A , ξ_B , расстояние между точками через l . После того, как произошло сдвигение точек А и В отрезок АВ занял положение А'В', изменился в длине и наклонился.

На рис. 5 видно, что изменение горизонтальной длины отрезка Δl равно разности горизонтальных сдвижений, т. е. $\Delta l = \xi_B - \xi_A = \Delta \xi$. В общем случае при определении $\Delta \xi$ необходимо руководствоваться следующим правилом: из горизонтального сдвижения последующей точки вычитается горизонтальное сдвигение предыдущей точки.

Относительные горизонтальные сдвигения (горизонтальные деформации) определяются из выражения

$$\epsilon = \frac{\Delta \xi}{l}.$$

Горизонтальные деформации могут быть положительными и отрицательными. Положительные горизонтальные деформации означают растяжение интервалов, отрицательные — сжатие. Горизонтальные деформации являются безразмер-

ными величинами и выражаются обычно в 10^{-3} или в мм/м.

Тангенс угла наклона отрезка $A'B'$ принято называть наклоном. Наклон — i равен отношению разности оседания точек $\Delta\eta = \eta_B - \eta_A$ к длине интервала l .

$$i = \frac{\eta_B - \eta_A}{l} = \frac{\Delta\eta}{l}.$$

При определении $\Delta\eta$ из наблюдений следует руководствоваться тем же правилом, как и при определении $\Delta\xi$. Наклоны могут быть положительными и отрицательными.

Положительные наклоны означают уклон, отрицательные — подъем. Наклоны являются безразмерными величинами и выражаются обычно в 10^{-3} или в мм/м.

Следующим важным показателем неравномерности сдвижения земной поверхности является кривизна K , причем так же, как и наклоны, кривизна характеризует неравномерность только вертикальных сдвижений. Кривизна определяется как относительная разность наклонов соседних интервалов. На рис. 6 показано как возникает и может быть определена кривизна.

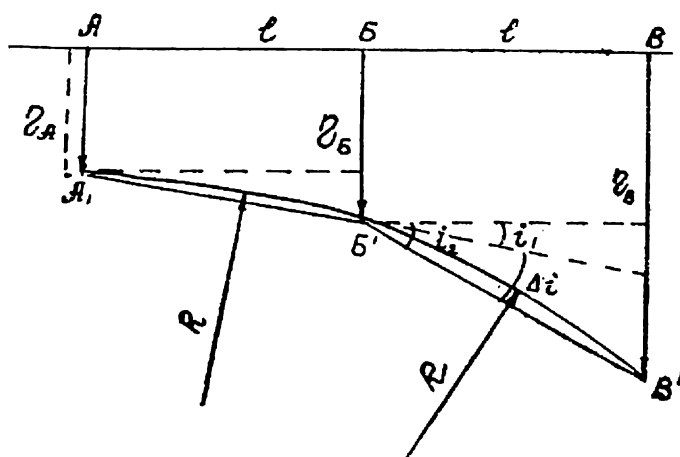


Рис. 6.

Обозначим оседание точек A, B, V через η_A, η_B, η_V . После оседания точек интервал AB получит наклон i_1 , интервал BV — наклон i_2 , отношение разности наклонов $\Delta i = i_2 - i_1$ к длине интервала l является кривизной:

$$k = \frac{i_2 - i_1}{l} = \frac{\Delta i}{l}.$$

Непосредственно из оседаний точек кривизна определяется по формуле:

$$k = \frac{\eta_B - 2\eta_C + \eta_A}{l^2}.$$

Кривизна может быть положительной или отрицательной. Положительная кривизна означает выпуклость, отрицательная — вогнутость. Кривизна является размерной величиной и выражается обычно в единице 10^{-4} 1/м. Величина, обратная кривизне, является радиусом кривизны:

$$R = \frac{1}{k}.$$

Радиус кривизны выражается в километрах или метрах. Под радиусом кривизны понимается радиус окружности, проходящей через три точки A' , B' и B'' .

Деформации имеют вполне определенный математический смысл. Положим, имеем кривую оседания точек, выраженную в виде некоторой функции $f(x)$ (кривая 1 на рис. 7).

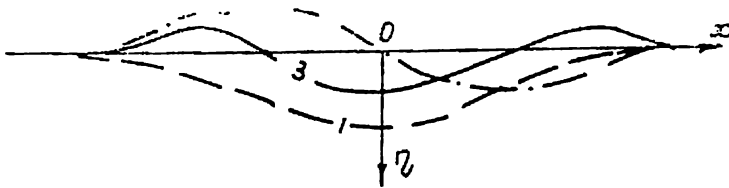


Рис. 7.

Тогда наклоны являются первой производной от этой функции $i = \frac{df(x)}{dx}$ (кривая 2), а кривизна — второй производной $k = \frac{d^2f(x)}{dx^2}$ (кривая 3).

Аналогично, горизонтальные деформации являются первой производной от функции горизонтальных сдвижений. Характер распределения сдвижений и деформаций в главных сечениях мульд сдвижения зависит от многих факторов, но главными из них являются степень подработанности земной поверхности, определяемая коэффициентом подработанности, и угол падения пласта. Приведем графики распределения сдвижений и деформаций для трех характерных и наиболее часто встречающихся случаев.

1. Пологое залегание пластов ($\alpha < 15^\circ$) и неполная подработка ($n < 1$), рис. 8.

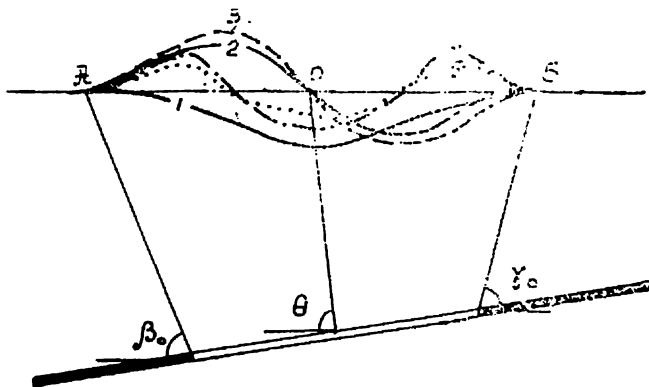


Рис. 8.

2. Пологое или горизонтальное залегание пластов ($\alpha < 15^\circ$) и полная подработка ($n > 1$) рис. 9.

3. Крутое залегание пластов ($\alpha = 45^\circ - 60^\circ$) и неполная подработка ($n < 1$), рис. 10.

На рис. 8, так же как и на рис. 9 и 10, приняты следующие обозначения кривых: 1—график оседаний, 2—график горизонтальных сдвижений, 3 — график наклонов, 4 — график горизонтальных деформаций, 5 — график кривизны.

Отметим следующие характерные особенности в распределении сдвижений и деформаций при $\alpha < 15^\circ$ и $n < 1$, вытекающие из рис. 8.

а) Графики распределения сдвижений и деформаций симметричны относительно центра мульды.

б) График оседаний имеет 2 точки перегиба, с которыми совпадают максимумы горизонтальных сдвижений и наклонов и нулевые значения горизонтальных деформаций и кривизны.

в) Имеется подобие в распределении горизонтальных сдвижений и наклонов, а так же в распределении горизонтальных деформаций и кривизны. Впервые это свойство подметил и описал проф. С. Г. Авершин. Если коэффициент подобия обозначить через «а», то можно записать:

$$\xi = a \cdot k \quad \text{или} \quad \xi = a \frac{d\eta}{dx},$$

$$\epsilon = a \cdot k \quad \text{или} \quad \frac{\partial \xi}{\partial x} = a \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}.$$

Из рис. 9 следует, что в случае $\alpha < 15^\circ$ и $n > 1$, горизонтальные сдвиги и деформации земной поверхности концентрируются только на краевых участках мульды сдвига. В средней части мульды возникает плоское дно, в пределах которого происходит равномерное оседание без деформаций. Остальные закономерности распределения сдвигов и деформаций, отмеченные в случае $\alpha < 15^\circ$ и $n < 1$, сохраняются.

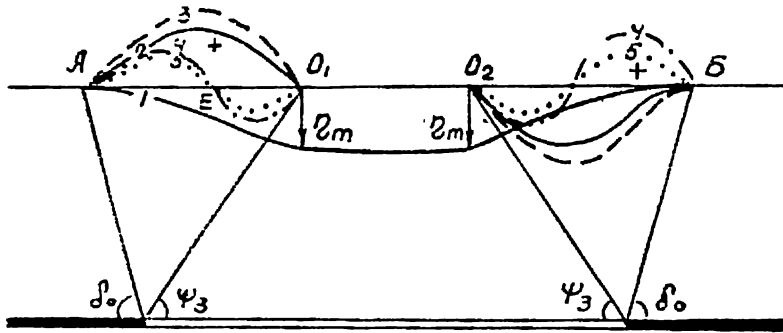


Рис. 9.

Как следует из рис. 10 распределение сдвигов и деформаций при крутом залегании пластов существенно отличается от распределения сдвигов и деформаций при пологом залегании пластов. Эти отличия состоят в следующем.

а) Симметрия графиков распределения сдвигов и деформаций относительно центра мульды отсутствует.

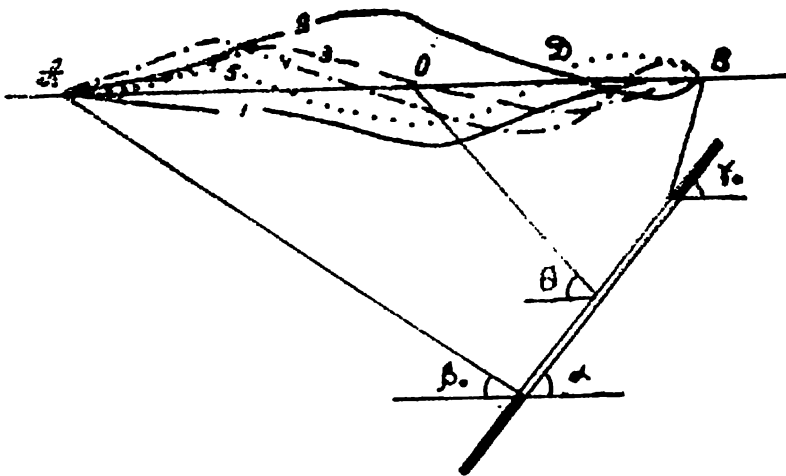


Рис. 10.

Сдвиги и деформации на участке мульды АО, расположенном над нижней границей очистных работ, существенно

отличаются от сдвижений и деформаций на участке мульды ОБ, расположенном над верхней границей очистных работ.

б) Максимальные горизонтальные сдвижения и нулевые горизонтальные деформации не совпадают с точками перегиба кривой оседаний.

в) Подобия графиков горизонтальных сдвижений и наклонов, горизонтальных деформаций и кривизны отсутствуют.

Это отличие распределения сдвижения и деформаций земной поверхности при крутом залегании пластов объясняется особенностями сдвижения горных пород в этих условиях, о чем будет сказано ниже. При построении графиков положительные сдвижения и деформации откладываются вверх от горизонтальной линии, отрицательные — вниз, за исключением оседаний, которые считаются положительными, хотя графики оседаний строятся ниже горизонтальной линии.

§ 4. Продолжительность и скорость сдвижения земной поверхности

Влияние очистной выемки угля на земную поверхность начинается, когда забой лавы отойдет от разрезной печи на расстояние $0,2-0,3 H$ (H —глубина горных работ). В дальнейшем, по мере подвигания забоя лавы волна сдвижения земной поверхности движется впереди забоя лавы.

Общая продолжительность сдвижения земной поверхности делится на 3 стадии: начальную, интенсивного сдвижения и затухания (рис. 11).

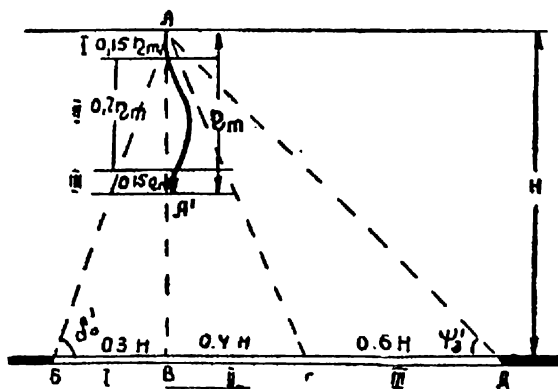


Рис. 11.

Начальная стадия начинается, когда забой лавы находится в положении Б на расстоянии (по горизонтали) $0,3 H$

от рассматриваемой точки А на земной поверхности и заканчивается когда забой лавы находится в положении В непосредственно под точкой А.

В начальной стадии точка А движется в направлении подходящего забоя лавы и опускается по вертикали на величину $0,15 \eta_m$, где η_m — максимальное оседание точки А за все время ее сдвижения. Продолжительность начальной

стадии составляет $T_n = \frac{0,3H}{c}$, где c — скорость подвигания забоя лавы в м/месяц. После начальной стадии наступает стадия интенсивного сдвижения, которая заканчивается, когда забой лавы окажется в положении Г на расстоянии $0,4 H$ от точки А. За время интенсивной стадии точка А опустится на величину $0,7 \eta_m$. Продолжительность интенсивной ста-

дии составляет $T_{ii} = \frac{0,4H}{c}$. За стадией интенсивного сдвижения наступает стадия затухания, продолжительность которой составляет $T_z = \frac{0,6H}{c}$. Оседание точки в стадии затухания составляет, примерно, $0,15 \eta_m$. Общая продолжи-

тельность сдвижения точки А (и любой другой точки на земной поверхности) составит $T_{об} = 1,3 \cdot \frac{H}{c}$.

При определении продолжительности сдвижения земной поверхности, из наблюдений за окончание процесса сдвижения принимается дата, после которой оседание за 6 месяцев не превышает 30 мм. В действующих правилах охраны сооружений общая продолжительность сдвижения задается таблично.

Кроме продолжительности, большое практическое значение имеет скорость процесса сдвижения земной поверхности. В начальной стадии процесса скорость оседания может быть определена из выражения

$$V_H = \frac{0,15 \eta_m c}{0,3H} = 0,5 \frac{\eta_m}{H} c, \quad (1)$$

где η_m — максимальное оседание земной поверхности в м.

Скорость оседания земной поверхности в интенсивной стадии составит

$$V_{ii} = \frac{0,7 \eta_m c}{0,4H} = 1,8 \frac{\eta_m}{H} c. \quad (2)$$

Скорость оседания в стадии затухания:

$$V_3 = \frac{0,15\tau_m c}{0,6H} = 0,25 \frac{\tau_m}{H} c. \quad (3)$$

Значения постоянных коэффициентов в формулах 1, 2, 3 изменяются в различных бассейнах.

Из общей продолжительности процесса сдвигения выделяется период опасных деформаций, под которым понимается период оседания земной поверхности со скоростью не менее 50 мм в месяц при пологом и наклонном залегании пластов и не менее 30 мм в месяц при крутом залегании пластов.

§ 5. Факторы, влияющие на процесс и параметры сдвигения горных пород и земной поверхности

К числу геологических и горных факторов, оказывающих влияние на сдвигение горных пород и земной поверхности, относятся: физико-механические свойства пород, геологическое строение толщи и гидрогеологические условия; тектоническая нарушенность месторождения; вынимаемая мощность, угол падения и глубина залегания пласта; нагоны и их мощность; нарушенность пород ранее проведенными выработками; размеры выработанного пространства; способ управления кровлей и т. д. Разберем характер влияния наиболее важных факторов.

Физико-механические свойства, т. е. прочность пород и сопротивляемость их деформациям и разрушению, оказывают существенное влияние на характер и величину сдвигения горных пород и земной поверхности [6].

В слабых породах типа глин, глинистых сланцев процесс сдвигения при прочих равных условиях протекает более плавно и быстро, чем в крепких породах (песчаниках, известняках и др.). В слабых породах при равных условиях граничные углы и углы сдвигения положе, а оседание земной поверхности больше, чем в прочных породах.

Слои прочных пород, обладая большой «жесткостью», способны к зависанию, следствием которого является задержка сдвигения горных пород и земной поверхности. Однако при больших размерах выработанного пространства сдвигение слоев прочных пород происходит интенсивно в форме обрушения, что неблагоприятно влияет на подрабатываемые сооружения.

Геологическое строение толщи (литологический состав, чередование прочных и слабых слоев горных пород) в значительной мере предопределяет характер ее сдвижения. Если непосредственно над разрабатываемыми пластами залегают прочные породы, а выше слабые, то разломы и резкие сдвиги прочных пород будут смягчены толщей слабых пород и сдвигание земной поверхности будет носить плавный характер и, наоборот, если прочные породы залегают в верхней части толщи, то сдвигание земной поверхности будет менее плавным, возрастает вероятность появления трещин. При наличии слоев прочных пород сдвигающаяся толща более способна к зависанию, чем при отсутствии таких слоев, а при наличии мощных весьма прочных слоев в толще могут возникнуть своеобразные породные мосты, которые задерживают сдвигание вышележащих пород. При крутом залегании неоднородность толщи может явиться причиной сдвижений по контактам слоев с образованием трещин и уступов на земной поверхности.

Гидрогеологические условия (обводненность пород, наличие пльвунов, закарстованность) оказывают существенное влияние на характер сдвижения горных пород, размеры мульды и величины сдвижения земной поверхности.

Тектонические нарушения (как дизъюнктивные, так и пликативные) вызывают существенные изменения в характере сдвижения горных пород. Трещины дизъюнктивных нарушений часто являются направляющими плоскостями сдвижения горных пород. На выходах таких нарушений на земной поверхности могут появиться уступы и трещины.

Вынимаемая мощность и глубина залегания пласта являются наиболее важными факторами. Величины сдвижений и деформаций связаны прямой зависимостью с вынимаемой мощностью пласта и обратной с глубиной залегания. При решении практических вопросов эти два фактора выражают

кратностью $k = \frac{H}{m}$, с которой величины сдвижений и деформаций находятся в обратной зависимости, т. е. при увеличении кратности сдвижения и деформации уменьшаются и наоборот. Вынимаемая мощность пласта оказывает прямое влияние на высоту зон сдвижения пород толщи (рис. 1).

Увеличение глубины разработки пласта увеличивает размеры мульды сдвижения и продолжительности процесса.

Углы падения разрабатываемых пластов и пород оказывают влияние на характер сдвижения горных пород, величину сдвижений и деформаций и распределение их в мульде сдвижения.

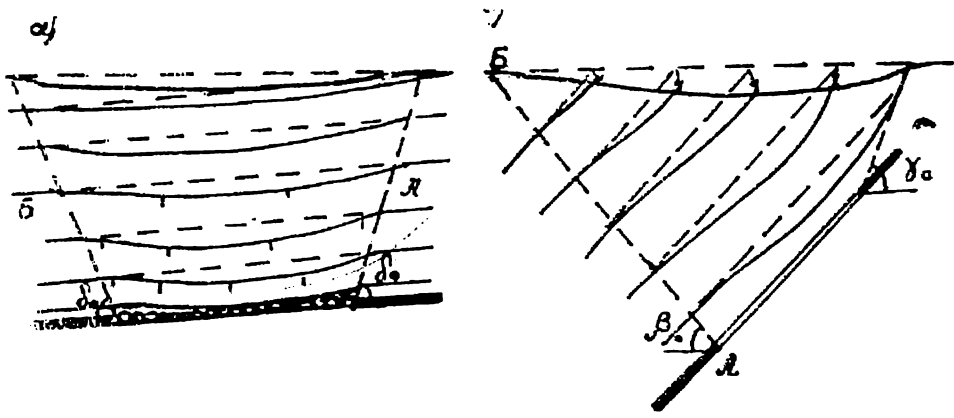


Рис. 12.

При пологом падении ($\alpha < 25^\circ$) сдвижение горных пород происходит в форме прогиба слоев подобно прогибу балок, защемленных по двум концам (рис. 12а). При наклонном и крутом падении ($25^\circ < \alpha < 60-65^\circ$) сдвижение слоев горных пород происходит подобно прогибу наклонных консольных балок, защемленных в основании (рис. 12б). Вследствие этого при крутом залегании пластов горизонтальные сдвижения и деформации земной поверхности резко возрастают и становятся больше вертикальных сдвижений и деформаций в отличие от пологого залегания, где наблюдается обратная картина:

При углах падения $\alpha > 65^\circ$ сдвижение пород качественно изменяется. Вместо прогиба слоев происходит сдвиг пород висячего и лежащего боков в сторону выработки.

Размер выработки (на угольных месторождениях длина лавы) оказывает влияние на форму и размер мульды сдвижения, величины и характер распределения сдвижений и деформаций в мульде. В зависимости от соотношения размеров выработки к глубине горных работ изменяется степень подработанности земной поверхности, определяемая коэффициентом подработки n .

Мощность наносов. Наносы по своим свойствам резко отличаются от коренных пород и залегают несогласно с ними.

По прочности они обычно слабые и часто обводнены. Наносы оказывают особенно существенное влияние на сдвигание земной поверхности при крутом залегании угольных пластов и коренных пород.

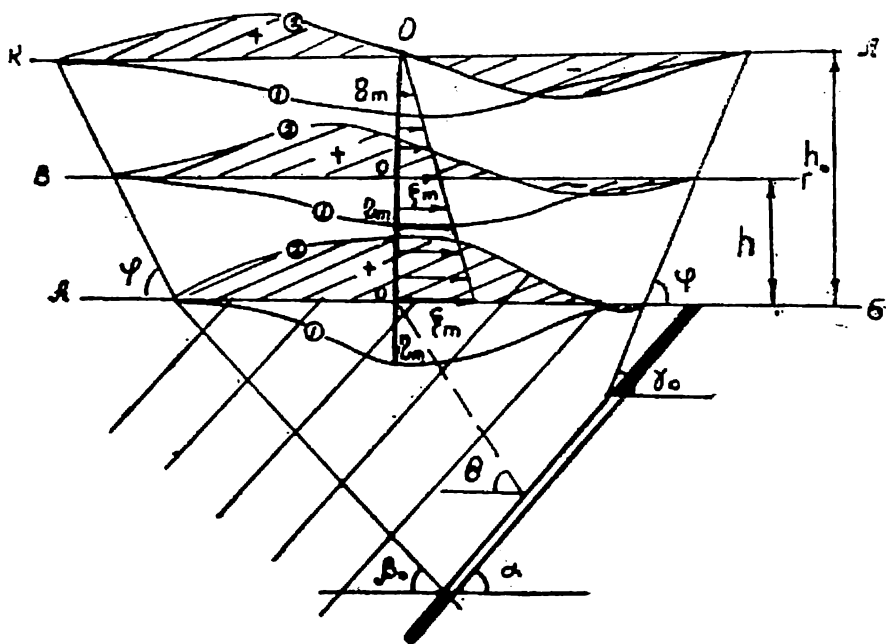


Рис. 13.

На рис. 13 приведены графики горизонтальных и вертикальных сдвижений точек по трем линиям: АБ (контакт наносов с коренными породами), ВГ (на расстояние h от контакта) и КЛ (на расстояние h_0 от контакта), а также изменения горизонтальных сдвижений по вертикальной линии О—О, проходящей через центры мульд. Как видим, горизонтальные сдвигения точек с удалением от контакта с коренными породами уменьшаются, а распределение горизонтальных сдвижений в мульде изменяется от распределения, характерного для крутого падения (по линии контакта), до распределения, характерного при пологом залегании. Такое «сглаживающее» влияние наносов объясняется тем, что силы внутреннего трения и сцепления наносов сопротивляются силам, вызванным горизонтальным движением коренных пород, и чем дальше от контакта с коренными породами, тем больше это сопротивление.

При какой-то предельной мощности наносов h_0 (для данных условий) горизонтальное сдвижение, вызванное крутым залеганием пород, полностью ликвидируется и становится таким же, как и при пологом залегании. Ниже это свойство наносов будет использовано для вывода расчетных формул.

Такое же влияние на сдвижение горных пород и земной поверхности оказывают и другие отложения (меловые и мезозойские породы), несогласно залегающие на коренных породах.

Нарушенность пород ранее производимыми очистными выработками. Толща горных пород может быть нарушена выработками других ранее отработанных пластов или выработками других горизонтов данного пласта. При повторной подработке такой толщи обычно увеличивается оседание земной поверхности и происходит выполаживание пранничных углов. Эти явления принято называть активизацией сдвижения горных пород. Активизация является следствием ликвидации зависаний, возникших в толще при первой ее подработке. Однако она возникает и при отсутствии явных признаков зависания пород. В этом случае она является следствием сложного процесса перераспределения напряжений в толще горных пород и наложения зон опорного давления на зоны разгрузки.

Системы разработки, способ управления кровлей и скорость подвигания очистного забоя. Наибольшее сдвижение горных пород вызывает сплошные системы разработки с длинными очистными забоями. Системы длинных столбов по простиранию и вкрест простирания при одинаковой длине очистного забоя вызывают такие же сдвижения горных пород, как и сплошные.

Наименьшее сдвижение вызывают камерно-столбовые системы и системы, в которых оставляется большое количество целиков в выработанном пространстве. При таких системах возникает зависание горных пород над оставленными целиками. При повторной подработке такой толщи возникает большая активизация.

Способы управления кровлей также влияют на сдвижение горных пород. Наибольшее сдвижение происходит при управлении кровлей полным обрушением. Частичная закладка выработанного пространства породой, доставленной из бутовых штреков, практически оказывает такое же влияние, как и полное обрушение. При полной закладке сдвижение горных

пород существенно уменьшается. Происходит это потому, что сдвигение горных пород вызывает не вынимаемая мощность пласта, а так называемая эффективная мощность.

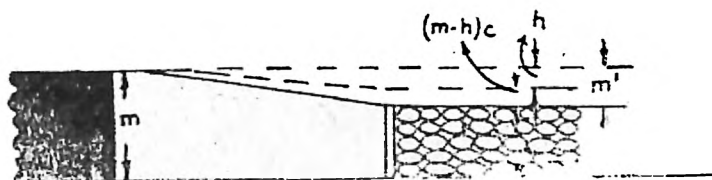


Рис. 14.

Согласно рис. 14 эффективная мощность пласта определяется из выражения

$$m' = h + (m - h)c, \quad (4)$$

где m' — эффективная мощность пласта,
 m — вынимаемая мощность пласта,
 h — опускание кровли в призабойном пространстве,
 c — коэффициент усадки закладки.

Коэффициент усадки зависит от вида применяемой полной закладки. При гидравлической закладке $C=0,05—0,15$, пневматической — $C=0,10—0,20$, самотечной — на крутом падении:

а) дробленной породой $c=0,15—0,25$, б) крупными кусками $c=0,25—0,40$.

Скорость подвигания лавы существенно влияет на продолжительность и скорость процесса сдвигения горных пород и земной поверхности.

§ 6. Изучение процесса сдвигения горных пород

Существует три направления изучения сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности: теоретические исследования, лабораторные исследования, натурные инструментальные наблюдения.

Теоретические исследования имеют целью разработать теорию сдвигения горных пород, основанную на физико-механических свойствах реального массива горных пород и учитывая влияние на процесс сдвигения всех основных горно-геологических факторов. К лабораторным методам исследований относятся: моделирование с эквивалентными материалами, с оптически активными материалами и на сле-

специальных центрифугах. Первый метод является наиболее распространенным. Предложен он впервые Г. Н. Кузнецовым [30]. В основу каждой модели берут определенный геологический разрез. Для основных слоев горных пород этого разреза предварительно определяются физико-механические свойства: сопротивление на сжатие, растяжение, изгиб, объемный вес и др.

Задавшись масштабом модели (1:100—1:200), подбирают материалы, физико-механические свойства которых были бы эквивалентны одноименным свойствам пород природы. При этом используется формула, вытекающая из общего закона подобия Ньютона.

$$N_M = \frac{l}{L} \cdot \frac{\gamma_H}{\gamma_M} \cdot N_H,$$

где N_M — определяемая механическая характеристика эквивалентного материала модели; N_H — соответствующая характеристика пород природы; γ_M , γ_H — объемные веса материала модели и природы; $\frac{l}{L}$ — масштаб модели.

В качестве эквивалентных материалов модели используются гипсопесчаные смеси с добавлением буры и молотой слюды (мишки). Из эквивалентных материалов создают модель на специальном стенде. Толщина такой модели 15 — 20 см, и называется она плоской моделью, имитирующей сдвижение пород в данном геологическом разрезе. Затем в модели вынимают часть «месторождения», образуя «выработанное пространство». В окружающей толще развивается сдвижение, за которым ведут тщательные наблюдения высокоточными приборами и приспособлениями.

Натурные инструментальные наблюдения проводятся на наблюдательных станциях, которые представляют собой систему реперов, закладываемых на земной поверхности (в грунте и сооружениях), в толще пород или в подземных выработках. Реперы, закладываемые на земной поверхности, обычно располагаются по линиям вквост простирания и по простиранию вынимаемого пласта (профильным линиям) в главных сечениях ожидаемой мульды сдвижения [5], [6].

Наблюдательные станции делятся на следующие типы; долговременные станции, имеющие целью изучить сдвижения земной поверхности в течение длительного срока (более 3-х лет);

рядовые станции, рассчитанные на срок менее 3-х лет;

кратковременные станции, рассчитанные на срок 1—5 месяцев;
 специальные станции.

Специальные станции закладываются для изучения влияния горных выработок на сооружения: здания, железные дороги, трубопроводы, водоемы и т. д. К этой группе могут быть отнесены станции для изучения сдвижения толщи пород, изучения влияния очистных выработок на подготовительные выработки и т. д.

Целями долговременных и рядовых наблюдательных станций являются.

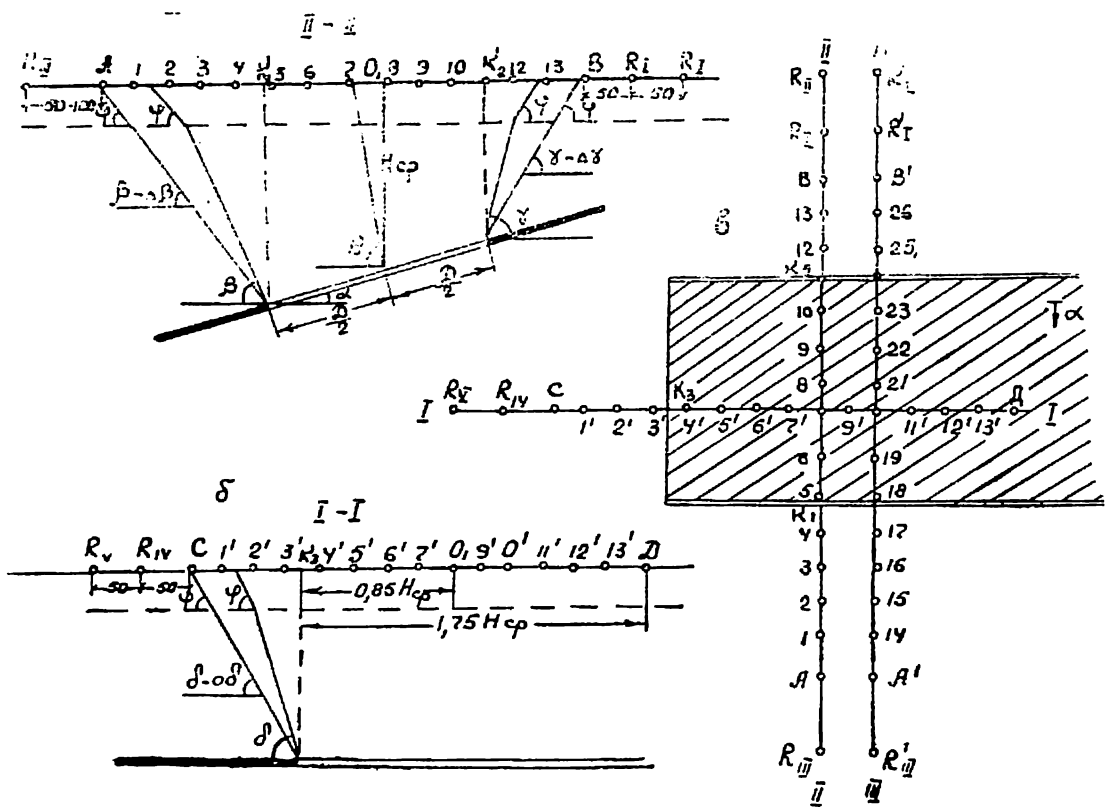


Рис. 15.

1. Определение исходных параметров процесса сдвижения (граничных углов и углов полных сдвижений и максимальных оседаний) и углов сдвижения β , γ и δ . Углами сдвижений называются внешние относительно выработанного пространства углы между горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработки с точками критических деформаций на земной поверхности (рис. 15а). Раз-

личают углы сдвижения у нижней границы выработки — β и верхней границы выработки — γ и границы выработки по простиранию — δ . В качестве критических деформаций принимаются: наклон $i_k = 4 \cdot 10^{-3}$, горизонтальная деформация $\epsilon_k = 2 \cdot 10^{-3}$, кривизна $k = 2 \cdot 10^{-4}$ 1 М.

2. Определение величин сдвижений и деформаций земной поверхности и характера распределения их в мульде сдвижения.

3. Определение продолжительности и скорости сдвижения земной поверхности.

4. Определение видимых проявлений сдвижения земной поверхности: трещин, уступов, павалов и др.

5. Определение характера повреждения сооружений при наличии таковых на наблюдательной станции.

Для расчета длины профильных линий и их местоположения на разрезе вкрест простирания по линии II—II (рис. 15а) от границ предполагаемой очистной выработки проводятся линии под углами наклона $\beta - \Delta\beta$ (нижняя граница) и $\gamma - \Delta\gamma$ (верхняя граница) до контакта коренных пород с наносами и далее под углом φ до пересечения с поверхностью. Точки А и В пересечения этих линий с земной поверхностью определяют границы ожидаемой зоны сдвижения поверхности. Отрезок АВ называется рабочей частью профильной линии вкрест простирания.

Углы сдвижения β и γ уменьшаются на $\Delta\beta$ и $\Delta\gamma$ с тем, чтобы обеспечить захват границ мульды и компенсировать отклонения фактических углов сдвижения от принятых к расчету.

На этом же разрезе через середину выработки проводят линию под углом θ (угол максимального оседания) и получают точку О (центр мульды), через которую проходит линия главного сечения мульды по простиранию 1—1. Точка О и линия 1—1 наносятся на план наблюдательной станции (рис. 15в). В пределах рабочей части АВ профильной линии намечают места закладки реперов 1, 2, 3... Отложив от крайней точки рабочей части В последовательно по 50 м, а от точки А — 50—100 м, получают место закладки опорных реперов R_I, R_{II}, R_{III} .

Рабочие реперы предназначаются для определения сдвижения земной поверхности путем периодического определения их положения относительно неподвижных опорных реперов, расположенных за пределами влияния очистной выработки. Длина профильной линии по простиранию (рис. 15б) рассчитывается путем построения вертикального разреза по линии

I—I. На разрезе от точки предполагаемой остановки забоя (предохранительный целик значительных размеров, граница шахтного поля и др.) или от разрезной печи проводят линию под углом наклона $\delta - \Delta\delta$ в коренных породах и под углом φ в наносах. Точка С пересечения этой линии с земной поверхностью будет являться границей ожидаемой мульды сдвижения в главном сечении по простиранию. При достаточно большом развитии очистных работ по простиранию правую границу профильной линии *I—I* точку Д получают отложением от К, являющейся проекцией точки предполагаемой остановки забоя, отрезка КД, равного $1,75H_{cp}$ (где H_{cp} — средняя глубина залегания пласта). Отрезок СД будет являться рабочей частью профильной линии по простиранию пласта. В пределах этого отрезка намечают положение рабочих реперов *1', 2', 3'...* Отложив влево от точки С два раза по 50 м., получают положения опорных реперов *R_{IV}, R_V*. Численные значения поправок $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ и $\Delta\delta$ принимаются согласно инструкции по производству наблюдений за сдвижением горных пород [5].

Помимо рабочих и опорных реперов наблюдательная станция должна иметь исходные реперы, от которых передаются на опорные реперы координаты и абсолютные высотные отметки. Исходные реперы должны быть расположены в таких местах, где толща еще не подрабатывалась и возможность подработки на срок существования наблюдательной станции исключена.

Профильные линии разбиваются на местности инструментально. Сначала производится привязка (определение координат *x, y, z*) опорных реперов. Плановая привязка к исходным реперам производится прокладкой полигонометрического хода. Допустимая линейная относительная ошибка полигонометрического хода не должна превышать 1:2000.

Передача отметок от исходных реперов на опорные производится геометрическим нивелированием третьего класса в прямом и обратном направлениях с допустимой невязкой $\pm 15\sqrt{L}$, мм (*L* — длина хода в км). После привязки опорных реперов производится начальная полная серия измерений, включающая нивелирование всех реперов наблюдательной станции и определение расстояний между реперами. Нивелирование реперов профильных линий производится замкнутыми ходами в одном направлении или висячими в прямом и обратном направлениях с применением двухсторонних реек.

Расстояния между реперами измеряются компарированными стальными рулетками при постоянном натяжении 10 кг, с учетом температуры в прямом и обратном направлениях. Расхождения расстояний между отдельными реперами не должны превышать ± 2 мм, а расхождения горизонтальных расстояний между крайними реперами прямого и обратного ходов — 1:10000 длины профильной линии.

В условиях горной местности применяется тригонометрическое нивелирование с точностью отсчета по вертикальному кругу не менее $30''$. Помимо нивелировки и измерения длин производится фиксация трещин на земной поверхности. Начальные наблюдения производятся до начала подработки станций, сроки последующих наблюдений выбираются в зависимости от целей наблюдений, общей продолжительности сдвижения земной поверхности. Обработка результатов наблюдений на станции складывается из вычислений, построения графиков и определения основных параметров сдвижения земной поверхности. Результаты геометрического нивелирования обрабатываются обычным способом. Для каждого опорного и рабочего репера определяют отметку z , отнесенную к определенному моменту времени.

Обработка результатов измерений расстояний заключается, прежде всего, в вычислении необходимых поправок для определения горизонтальных проекций интервалов. Поправки в длину вычисляются по общепринятым формулам, применяемым в маркшейдерских съемках.

Вычисление вертикальных и горизонтальных деформаций по данным измерений производится в соответствии с § 3.

Графическое изображение результатов наблюдений сводится к составлению следующих чертежей.

1. Плана наблюдательной станции в масштабе 1:2000 или 1:1000 с изображением над ней рельефа земной поверхности и сооружений, профильных линий реперов, видимых трещин и провалов, контуров горных выработок.

2. Вертикальных разрезов по каждой профильной линии в масштабе 1:2000 или 1:1000 с изображением на них реперов, геологического строения толщи, мощности пластов, линии контакта наносов с коренными породами, геологических нарушений, горных выработок с датами выемки, а также кривых оседаний и горизонтальных перемещений реперов.

3. Кривых деформаций (наклонов, кривизны, горизонтальных деформаций), при построении которых значения наклонов, горизонтальных деформаций откладываются в середине интервалов в удобном для наглядности масштабе, а зна-

чения оседаний, горизонтальных сдвижений и кривизны — у соответствующих реперов.

4. Кривых скоростей оседания отдельных реперов.

По результатам наблюдений на станции определяются углы сдвижения, граничные углы, углы полной подработки, углы максимального оседания, величины сдвижений и деформаций, продолжительность и скорость процесса сдвижения в данных горно-геологических условиях.

Кратковременные наблюдательные станции

Долговременные станции позволяют получить оседания реперов за все время процесса сдвижения земной поверхности. Однако для этого требуется много времени. Для более быстрого определения параметров сдвижения применяются кратковременные наблюдательные станции.

Метод кратковременных наблюдений основан на определении скоростей оседания реперов. Оседания определяются путем интегрирования графика средних скоростей оседания.

Необходимые условия применения кратковременных наблюдательных станций следующие:

1. Процесс сдвижения земной поверхности должен находиться в установившемся режиме, т. е. забой лавы должен находиться от разрезной печи на достаточно большом расстоянии (не менее 0,7 Н).

2. Скорость подвигания лавы должна быть примерно постоянной.

3. Глубина горных работ должна быть менее 250 м.

При таких условиях будет иметь место повторяемость процесса сдвижения точек земной поверхности, и траектории сдвижения последующих точек будут аналогичны траекториям предыдущих точек.

Кратковременная наблюдательная станция закладывается в виде одной профильной линии, расположенной в главном сечении ожидаемой мульды сдвижения по простиранию пласта, над движущимся забоем.

Пусть даны на поверхности точки $0, 1, 2, \dots, 10$ (рис. 16), под которыми проходит забой лавы с постоянной скоростью C , м/сутки. В результате наблюдений получена усредненная скорость оседания точек (кривая 2). Допустив повторяемость процесса, приходим к выводу, что кривая оседаний (кривая 1

на рис. 16) в функции расстояний $f(x)$ может быть выражена кривой оседаний в функции времени $f(t)$, где

$$t = \frac{x}{c}, \text{ т. е. } \eta = f(x) = f(t) = \int_0^t f'(t) dt.$$

Практически вычисление η сводится к составлению суммы

$$\eta = \Sigma V_0 \Delta t,$$

где V_0 — средняя скорость в отдельном интервале,

$\Delta t = \frac{l}{c}$ — промежуток времени, в течение которого забой

лавы пройдет расстояние l между точками наблюдений (рабочими реперами). Отсюда вытекает ли способ вычислений. Оседание любой точки равно площади между кривой скорости и осью абсцисс (выраженной в единицах времени) на участке от начала сдвижений до данной точки. Например, оседание т. 4 в данный момент времени равно площади, заштрихованной на рис. 16.

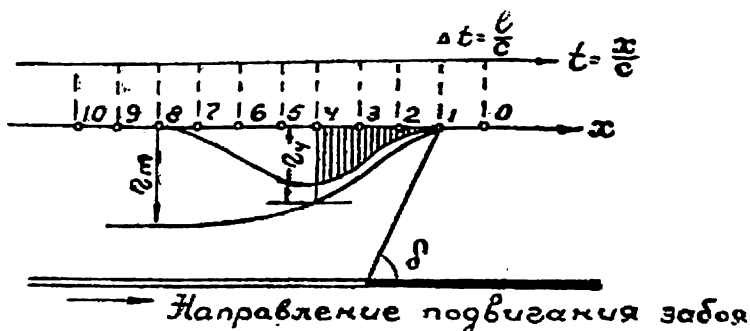


Рис. 16.

Проделав такие подсчеты для каждой точки, получим кривую I оседаний и η_0 максимальное оседание.

Специальные наблюдательные станции

Специальные наблюдательные станции закладываются с целью изучить специальные вопросы, связанные с процессом сдвижения порных пород и подрабатываемыми сооружениями. Для наблюдения за сдвижением горных пород внутри подрабатываемой толщи производится закладка реперов в подземных горных выработках и скважинах, пробуренных с поверхности и из подземных горных выработок. Для закладки реперов подземной станции используются подготовитель-

ные и очистные выработки. Если при закладке профильных линий в подземных выработках одновременно закладываются профильные линии на земной поверхности, то последние следует располагать в одной вертикальной плоскости с первыми.

Каждая профильная линия должна состоять из опорных и рабочих реперов. Величины смещений рабочих реперов определяются относительно опорных реперов. Опорные реперы закладываются за пределами области движения пород и привязываются к существующей подземной маркшейдерской опорной сети. Опорные реперы закладываются обычно как постоянные маркшейдерские знаки. Рабочие реперы могут закладываться в почве, кровле и стенках выработки.

Сдвигение отдельных слоев толщи пород определяется при помощи рабочих реперов, закладываемых в скважинах и называемых глубинными реперами. Глубинные реперы могут быть заложены в скважинах, пройденных с поверхности и из подземных горных выработок (рис. 17). В настоящее время применяются различные типы глубинных реперов, описанные в специальной литературе. Кроме абсолютных смещений, часто измеряют относительные смещения «пары реперов», т. е. смещение репера в кровле относительно репера в почве. Измерения смещений в вертикальной или нормальной плоскости производятся при помощи специальных измерительных стоек или при помощи датчиков (реостатных, импульсных, тензومترических и др.).

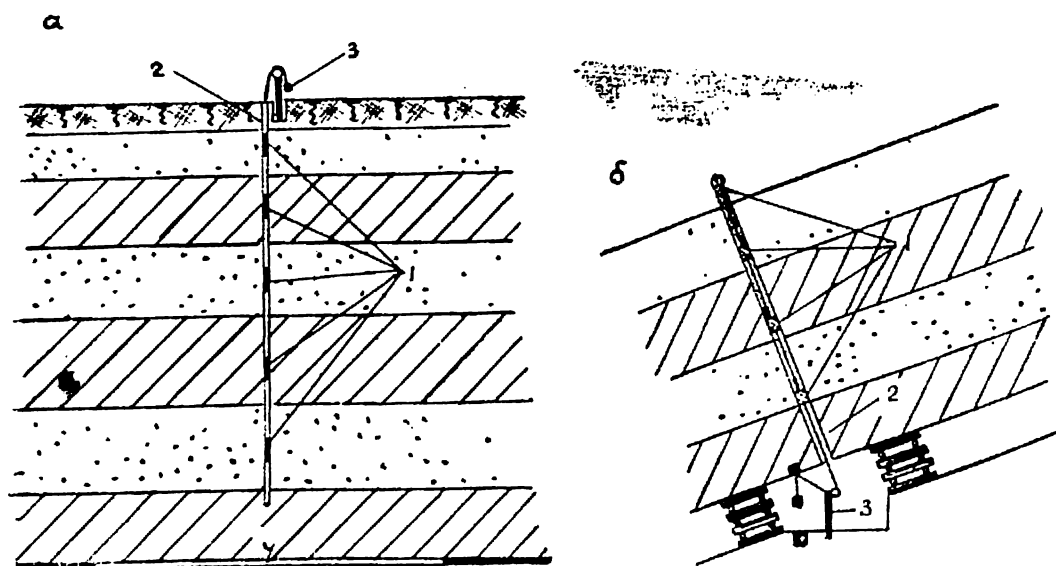


Рис. 17.

Специальные наблюдательные станции на поверхности закладываются в жилых и общественных зданиях, промышленных сооружениях, на железных дорогах, трубопроводах (водопроводы, газопроводы, канализационные сети), водных объектах, склонах гор и т. д. При подработке жилых и общественных зданий и промышленных сооружений наблюдательные станции должны состоять из грунтовых и стенных реперов. Стенные реперы закладываются в фундаментах или цоколях по всему периметру здания через равные интервалы 3—10 м, но не менее трех реперов на каждой стороне здания.

Грунтовые реперы закладываются против стенных реперов на расстоянии от них 1,5—2,0 м.

При появлении в стенах и других частях зданий и промышленных сооружений трещин устанавливаются маяки (алебастровые, гипсовые и пр.) для наблюдения за изменением ширины трещин. Кроме того, производится фотографирование и зарисовка трещин и других видимых деформаций. При подработке зданий, имеющих конструктивные мероприятия, производят замеры раскрытия осадочных швов. При подработке заводских цехов, имеющих мостовые краны, необходимо наблюдать за положением подкрановых путей в плане и по высоте. При подработке промышленных сооружений, имеющих ответственные агрегаты, например, подъемные машины, сложные станки и другие механизмы, необходимо дополнительно наблюдать за изменением их положения в плане и по высоте.

При подработке подземных трубопроводов, состоящих из стальных сварных труб, необходимы наблюдения для получения данных о взаимном перемещении грунта и труб в горизонтальной плоскости. При подработке трубопроводов, состоящих из чугунных раструбных труб, необходимо наблюдать за состоянием и работой стыков труб. Для этого трубопровод должен быть вскрыт на стыках не менее, чем в трех местах на участке с ожидаемыми максимальными горизонтальными деформациями. По обе стороны раструбов на трубах должны быть намечены точки для систематического измерения расстояния между ними. При подработке самотечных трубопроводов следят за изменением уклонов труб. Для этого могут быть использованы смотровые колодцы, в которых устанавливаются измерительные рейки. При подработке водных объектов в непосредственной близости от них закладываются наблюдательные станции для определения параметров сдвижения земной поверхности, а в выработках оборудуются гидро-

метрические посты, в которых определяется приток воды до и во время подработки объекта. При подработке больших водохранилищ производятся наблюдения за состоянием плотин и водопропускных устройств. Особое внимание обращается на появление и развитие трещин на земной поверхности.

При подработке железных дорог производится закладка профильных линий грунтовых реперов у основания насыпи на самой насыпи вдоль железнодорожных путей. Одновременно с наблюдениями за сдвижением реперов собираются сведения об изменении зазоров в стыках рельс, о случаях разрывов стыковых накладок, о повреждениях стрелочных переводов, о проведении ремонта верхнего строения пути (подсыпка балласта, разгонка стыковых зазоров, стоимость ремонта и т. д.), о случаях снижения скоростей движения поездов. По данным наблюдений строятся графики одвижений и деформаций земной поверхности, насыпи и рельсовых ниток. Материалы наблюдений передаются службе пути для принятия мер по устранению возникших деформаций и нарушений.

§ 7. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности

Ниже излагается метод расчета сдвижений и деформаций земной поверхности, принятой в «Руководстве по расчету зданий и сооружений, проектируемых на подрабатываемых территориях». Отметим особенности этого метода.

1. Сдвижения и деформации земной поверхности определяются по линиям глазных сечений мульды сдвижения.

2. Сдвижения и деформации определяются на конечную стадию сдвижения земной поверхности, т. е. когда процесс сдвижения земной поверхности закончился.

3. Метод расчета основывается на закономерностях сдвижения земной поверхности, установленных путем обобщения данных многолетних натуральных инструментальных наблюдений.

4. Метод расчета может применяться, когда углы падения пластов менее 70° и в подрабатываемой толще горных пород отсутствуют дизъюнктивные геологические нарушения, выходящие на земную поверхность.

Расчет оседаний точек мульды сдвижения

Расчет оседаний точек мульды сдвижения является основным для всех дальнейших расчетов, так как наклонь,

кривизна, горизонтальные сдвигения и деформации находятся в зависимости от вертикальных сдвижений (оседаний).

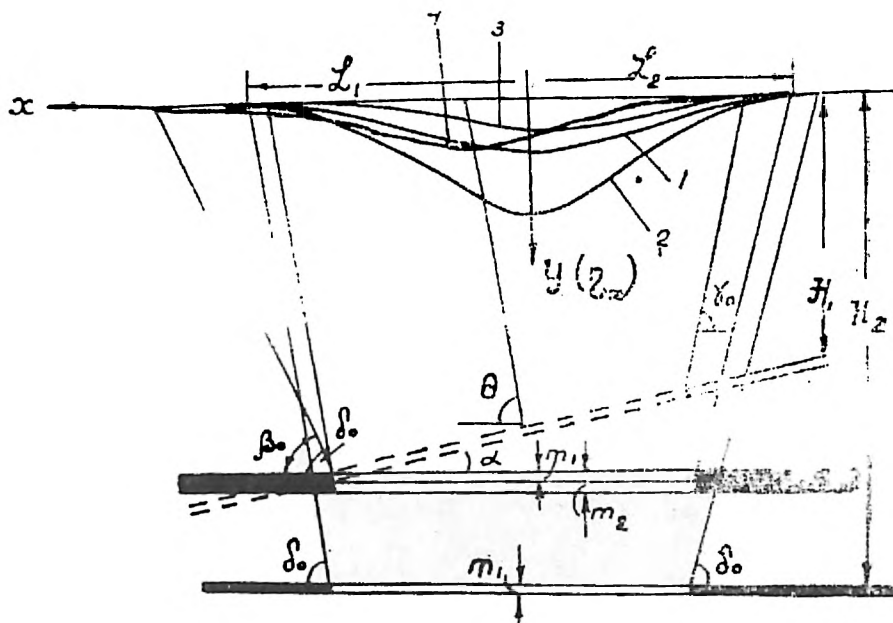


Рис. 18.

Примем на рис. 18 точку максимального оседания O за начало координат и направим ось X по земной поверхности, а ось Y — по вертикали вниз. Будем откладывать по оси X расстояния точек от начала координат, а по оси Y — величины оседаний точек η_x . Разделим кривую оседания мульды на две части: от точки максимального оседания в сторону падения пласта — полумульду по падению L_1 и от точки максимального оседания в сторону восстания пласта — полумульду по восстанию L_2 . Кривые оседаний точек полумульд могут быть выражены функциями общего вида $\eta_x = f(x)$. Из наблюдений известно, что эти функции обладают следующими общими свойствами.

1. Они зависят от многих горно-геологических факторов, главными из которых являются: мощность пласта m , угол падения α , глубина горных работ H и длина выработки D (рис. 18).

2. В т. $x=0$ оседание становится равным максимальной величине.

3. В точке $x=L_1(L_2)$, т. е. на границах мульды, оседания равны нулю.

4. Кривая имеет точки перегиба, в которых оседания равны примерно половине максимального оседания $\frac{\eta_m}{2}$; абсцисса точки перегиба кривой оседания равна примерно $d = \frac{L}{2}$.

Последние три свойства позволяют заменить функции общего вида на более удобные трансформированные функции, выявляющие и подчеркивающие те свойства, которые присущи всем кривым и на которые оказывают влияние меньшее количество факторов. Будем откладывать по оси x не сами расстояния, а отношения расстояний точек от начала координат к длине полумульды, т. е. $\frac{x}{L} = z$, а по оси y — не оседания η_x точек, а отношения оседаний точек к максимальному оседанию $\frac{\eta_x}{\eta_m} = S_z$.

Тогда, очевидно, абсцисса z будет изменяться в пределах от 0 до 1 ($0 \leq z \leq 1$), ординаты так же будут изменяться в пределах от 0 до 1 ($0 \leq S_z \leq 1$).

Таким образом, вместо функции в общем виде можем записать

$$\eta_x = \eta_m \cdot S_z. \quad (6)$$

Правая часть этого выражения состоит из двух сомножителей: η_m — максимального оседания и S_z — функции распределения оседаний. Разберем эти сомножители отдельно.

В отличие от функции оседаний в общем виде функция распределения не зависит от мощности пласта и угла падения, а зависит только от степени подработанности земной поверхности, отражающей совместное влияние глубины горных работ и размеров выработки и определяемой коэффициентами подработки n_1 и n_2 , т. е. $S_z = f(n_{1,2}, z)$.

Функция распределения может быть задана аналитически и таблично непосредственно по данным наблюдений.

Существует несколько видов аналитического задания функции распределения.

1. В виде степеней функции:

$$S_z = (1 - z)^{4.54} \cdot e^{-4.34z}, \quad (7)$$

где e — основание натуральных логарифмов.

2. В виде тригонометрической функции

$$S_z = n^2 \left(1 - z + \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi z \right) + \frac{1-n^2}{4} (1 + \cos \pi z)^2. \quad (8)$$

3. В виде функции Гаусса

$$S_z = b[\Phi(t) + \Phi(u)], \quad (9)$$

где $\Phi(t)$, $\Phi(u)$ — интегралы Гаусса

$$t = \frac{1}{c} \left(\frac{D}{2H} - \frac{d}{H} + \frac{x}{H} \right),$$

$$u = \frac{1}{c} \left(\frac{D}{2H} - \frac{d}{H} - \frac{x}{H} \right),$$

$$t_0 = \frac{D - 2d}{2cH},$$

x — абсцисса точки с началом координат в точке максимального оседания;

D — размер выработки;

d — расстояние на плане от границы выработки до точки перегиба кривой оседания при полной подработке;

c — постоянный коэффициент, определяемый по данным наблюдений (для Донбасса $c=0,2$).

Значения функции Гаусса определяются по специальным таблицам. Формула (7) была предложена С. Г. Авершиным, формулы (8), (9) — С. П. Колбенковым [21, 23]. Предлагались и другие аналитические выражения для функции распределения. Однако наиболее удобным для практического использования оказалось табличное задание функции распределения. Табличное задание типовой кривой может быть получено непосредственно из данных наблюдений на станциях. Положим, имеем измеренную кривую оседаний на участке полумульды. Разобьем полумульду на 10 равных частей (рис. 19).

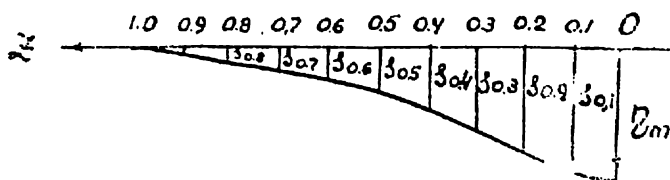


Рис. 19.

Очевидно абсциссы z точек будут равны $0, 0,1, 0,2 \dots 0,9, 1,0$. В каждой точке измерим по графикам оседание и отнесем его к максимальному оседанию, т. е. определим $S_{z=0,1}, S_{z=0,2}, \dots, S_{z=1,0}$. Такие единичные кривые можно получить по многим наблюдательным станциям и вывести средние единичные, которые являются типовыми кривыми оседаний.

Ниже в табл. 1 приведены типовые кривые для четырех коэффициентов подработки в условиях Донбасса, заданные таблично.

Таблица 1

$z = \frac{x}{L}$	Величины S_z			
	$n \geq 1,0$	$n = 0,8$	$n = 0,6$	$n \leq 0,4$
0	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,99	0,98	0,96	0,95
0,2	0,95	0,90	0,84	0,82
0,3	0,86	0,77	0,66	0,64
0,4	0,71	0,58	0,47	0,45
0,5	0,50	0,39	0,30	0,28
0,6	0,29	0,22	0,16	0,16
0,7	0,14	0,10	0,08	0,08
0,8	0,05	0,04	0,04	0,03
0,9	0,01	0,01	0,01	0,01
1,0	0	0	0	0

Табличные задания типовых кривых оседаний в различных бассейнах приводятся в действующих нормативных документах.

Второй сомножитель в формуле (6) — максимальное оседание мульды сдвижения η_m . На максимальное оседание оказывает влияние, прежде всего, угол падения пласта, так как сдвижение земной поверхности в центре мульды происходит по нормали к пласту, а максимальное оседание является вертикальной составляющей полного вектора сдвижения точки.

Согласно рис. 20 имеем, $\eta_m = P_m \cos \alpha$, где P_m — полный вектор сдвижения точки, в которой возникает максимальное оседание. Величина полного вектора сдвижения прямо пропорциональна вынимаемой нормальной мощности пласта $P_m = q \cdot m$. Таким образом, можем записать $\eta_m = q m \cos \alpha$, где q — некоторый коэффициент, который подлежит определению. Различают коэффициент q при полной подработке q_0 и при неполной подработке q . q_0 для условий данного бассейна является величиной постоянной, для Донбасса на-

пример, $q_0 = 0,8$. Коэффициент q при неполной подработке всегда меньше q_0 и зависит от размеров выработанного пространства.

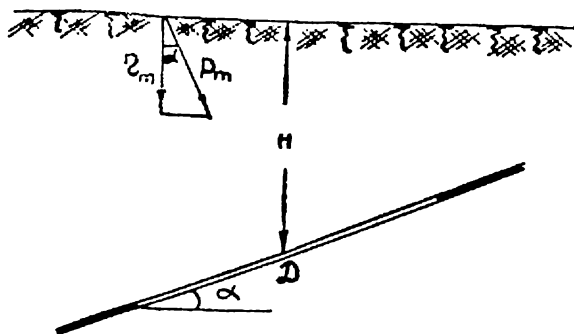


Рис. 20.

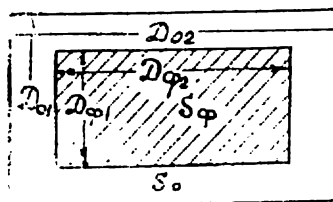


Рис. 21.

Из анализа данных наблюдений следует, что отношение максимального оседания при неполной подработке η_m к максимальному оседанию при полной подработке η_0 можно приравнять квадратному корню из отношения фактической площади выемки S_ϕ к минимальной необходимой для полной подработки площади выемки S_0 (рис. 21).

$$\frac{\eta_m}{\eta_0} = \frac{q m \cos \alpha}{q_0 m \cos \alpha} = \sqrt{\frac{S_\phi}{S_0}}$$

$$\frac{S_\phi}{S_0} = \frac{D_{\phi 1} \cdot D_{\phi 2}}{D_{01} \cdot D_{02}}$$

Помножим и разделим правую часть равенства на $\frac{0,7}{H}$, получим

$$\frac{S_\phi}{S_0} = \frac{\frac{0,7}{H} D_{\phi 1} \cdot \frac{0,7}{H} D_{\phi 2}}{\frac{0,7}{H} D_{0,1} \cdot \frac{0,7}{H} D_{0,2}}$$

Но выражения, стоящие в числителе правой части, являются коэффициентами подработки: $n_1 = \frac{0,7}{H} D_1$ и $n_2 = \frac{0,7}{H} D_2$. Выражения, стоящие в знаменателе, являются так же коэффициентами подработки, но при полной подработке, поэтому

они равны единице, т. е. $n_1 = 0,7 \frac{D_{0,1}}{H} = 1$ и $n_2 = 0,7 \frac{D_{0,2}}{H} = 1$.

Таким образом, имеем $\frac{S_{\phi}}{S_0} = n_1 \cdot n_2$,

$$\frac{\eta_m}{\eta_0} = \frac{q}{q_0} = \sqrt{n_1 \cdot n_2} \text{ и } q = q_0 \sqrt{n_1 \cdot n_2}$$

и, наконец,

$$\eta_m = q \cdot m \cdot \cos \alpha = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \sqrt{n_1 \cdot n_2}.$$

Учитывая, что в Донбассе $q_0 = 0,8$, можем записать:

$$\eta_m = 0,8 \cdot m \cdot \cos \alpha \sqrt{n_1 \cdot n_2}. \quad (10)$$

Дальнейшие исследования показали, что в формуле (10) необходимо учесть зависание пород кровли над краями выработанного пространства и заменить коэффициенты подработки n_1 и n_2 коэффициентами t_1 и t_2 , которые в Донбассе вычисляются по формулам:

а) для районов залегания каменных углей

$$t_1 = 0,9 \left(\frac{D_1}{H} - 0,25 \right) \text{ и } t_2 = 0,9 \left(\frac{D_2}{H} - 0,25 \right);$$

б) для антрацитовых районов

$$t_1 = 0,9 \left(\frac{D_1}{H} - 0,4 \right) \text{ и } t_2 = 0,9 \left(\frac{D_2}{H} - 0,4 \right).$$

Тогда формула для расчета максимального оседания будет иметь вид

$$\eta_m = 0,8 m \cdot \cos \alpha \sqrt{t_1 \cdot t_2}. \quad (11)$$

Если t_1 и $t_2 > 1$, то принимается t_1 и $t_2 = 1$, если t_1 или t_2 меньше 0,04, то они принимаются равными 0,04. Формула (11) применяется, когда толща горных пород подрабатывается впервые, т. е. толща не была ранее нарушена горными выработками. Если толща была ранее подработана, то в формулу (11) вводится поправка за активизацию в виде сомножителя $\left(1 + 0,3 \frac{H_1}{H} \right)$, где H_1 — мощность ранее нару-

шейной толщи, H — средняя глубина горных работ.

$$\eta_m = 0,8m \cdot \cos \alpha \sqrt{t_1 \cdot t_2} \left(1 + 0,3 \frac{H_1}{H} \right). \quad (12)$$

Если $H_1 > H$, то отношение $\frac{H_1}{H}$ принимается равным единице, т. е. $0 < \frac{H_1}{H} \leq 1$. Сравнение результатов расчета с данными измерений показывает, что по формулам (11) и (12) определение максимальных оседаний производится с погрешностью $\pm 15\%$.

Расчет наклонов

Наклоны являются первой производной от функции оседаний

$$i_x = \frac{d\eta_x}{dx}, \text{ где } \eta_x = \eta_m \cdot S_z, \quad z = \frac{x}{L},$$

поэтому

$$\frac{d\eta_x}{dx} = \eta_m \frac{dS_z}{dz} \cdot \frac{dz}{dx} = \eta_m \cdot S'_z \cdot \frac{1}{L}.$$

Таким образом, расчетной формулой наклонов является

$$i_x = \frac{\eta_x}{L} \cdot S'_z, \quad (13)$$

где η_m — максимальное оседание,

L — длина полумульды,

S'_z — первая производная от функции распределения оседания, которая задается также в виде таблицы (табл. 2).

Таблица 2

$z = \frac{x}{L}$	Величины S'_z			
	$n > 1$	$n = 0,8$	$n = 0,6$	$n < 0,4$
0	0	0	0	0
0,1	-0,19	-0,48	-0,83	-0,97
0,2	-0,56	-1,04	-1,52	-1,64
0,3	-1,20	-1,63	-1,89	-1,92
0,4	-1,89	-1,98	-1,89	-1,81
0,5	-2,20	-1,91	-1,57	-1,44
0,6	-1,89	-1,44	-1,09	-0,99
0,7	-1,20	-0,85	-0,64	-0,60
0,8	-0,56	-0,41	-0,31	-0,32
0,9	-0,19	-0,15	-0,11	-0,12
1,0	0	0	0	0

Табл. 2 получена из табл. 1.

Расчет кривизны

Кривизна является второй производной от функции оседания или первой производной от функции наклонов.

$$k_x = \frac{di_x}{dx}, \text{ где } i = \frac{\eta_m}{L} S'_z, \text{ а } z = \frac{x}{L},$$

поэтому

$$\frac{di_x}{dx} = \frac{\eta_m}{L} \cdot \frac{dS}{dz} \cdot \frac{dz}{dx} = \frac{\eta_m}{L} S''_z \frac{1}{L}.$$

Расчетная формула наклонов будет иметь следующий вид:

$$k_x = \frac{\eta_m}{L^2} S''_z, \quad (14)$$

где S''_z — вторая производная от функции распределения оседания, которая также задается таблично (табл. 3).

Таблица 3

$z = \frac{x}{L}$	Величины S''_z			
	$n \geq 1$	$n = 0,8$	$n = 0,6$	$n < 0,4$
0	0	-4,51	-8,60	-10,03
0,1	-2,10	-5,17	-7,83	-8,59
0,2	-5,11	-6,07	-5,50	-4,95
0,3	-7,25	-5,17	-1,91	-0,67
0,4	-5,70	-1,55	+1,79	+2,72
0,5	0	+3,01	+4,33	+4,35
0,6	+5,70	+5,68	+4,91	+4,36
0,7	+7,25	+5,45	+3,97	+3,40
0,8	+5,11	+3,56	+2,49	+2,20
0,9	+2,10	+1,50	+1,10	+1,05
1,0	0	0	0	0

Табл. 3 получена из табл. 2.

Расчет горизонтальных сдвижений при горизонтальном залегании пласта

При горизонтальном залегании слоев горных пород, в том числе верхний слой, включающий земную поверхность, прогибаются подобно балкам на двух опорах. Поэтому слои горных пород имеют в вертикальном сечении нейтральные линии, а плоские поперечные сечения слоев остаются плоскими и после изгиба.

При горизонтальном залегании горизонтальные сдвигения точек возникают только в результате прогиба пород.

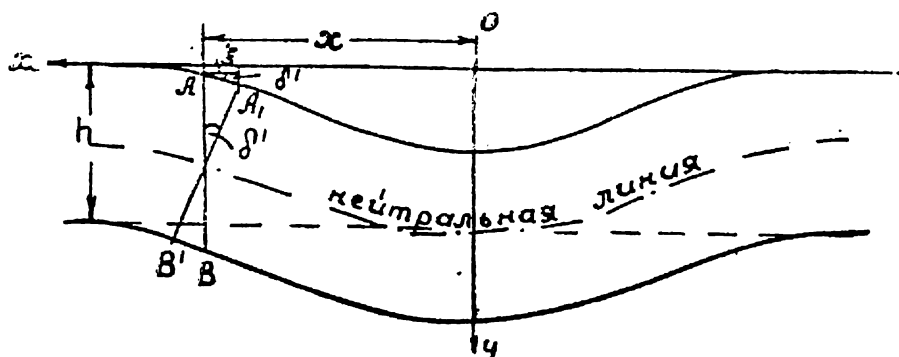


Рис. 22.

Как видно на рис. 22 произвольная т. А переместилась вследствие прогиба по поверхности земли в положение А'. Вектор \vec{AA}' перпендикулярен нормальному сечению А' В' и вычисляется из выражения $\vec{AA}' = \frac{h}{2} \text{tg } \delta$, где h — мощность прогибающегося слоя пород, δ — угол поворота нормального сечения, равный углу наклона вектора \vec{AA}' . $\text{tg } \delta$ представляет собой наклон поверхности в точке А' или $\text{tg } \delta = i_x$.

Горизонтальное сдвигение т. А равно произведению вектора \vec{AA}' на $\cos \delta$, но угол δ очень мал и $\cos \delta = 1$. Учитывая все сказанное, можем записать

$$\xi_x = \vec{AA}' \cos \delta = \frac{h}{2} \text{tg } \delta \cos \delta = \frac{h}{2} i_x, \text{ но } i_x = \frac{\eta_m}{L} S'_z,$$

поэтому

$$\xi_x = \frac{h}{2} \cdot \frac{\eta_m}{L} S'_z = 0,5a S'_z, \quad (15)$$

где $a = \frac{h}{L}$, для условий Донбасса $a = 0,30$

и

$$\xi_x = 0,15 \eta_m \cdot S'_z. \quad (16)$$

По этой формуле вычисляются горизонтальные сдвигения при горизонтальном залегании пласта и в направлении главного сечения мульды по простиранию пласта.

Формула (16) подтверждает и объясняет подобие в распределении горизонтальных сдвигений и наклонов, которое

отмечалось в § 3 как характерное свойство кривых распределения сдвижений и деформаций.

Расчет горизонтальных сдвижений при крутом и наклонном залегании пласта

Рассмотрим общий случай, когда пласт угля и слон горных пород толщи имеют крутое падение и перекрыты сверху наносами, несогласно залегающими на коренных породах.

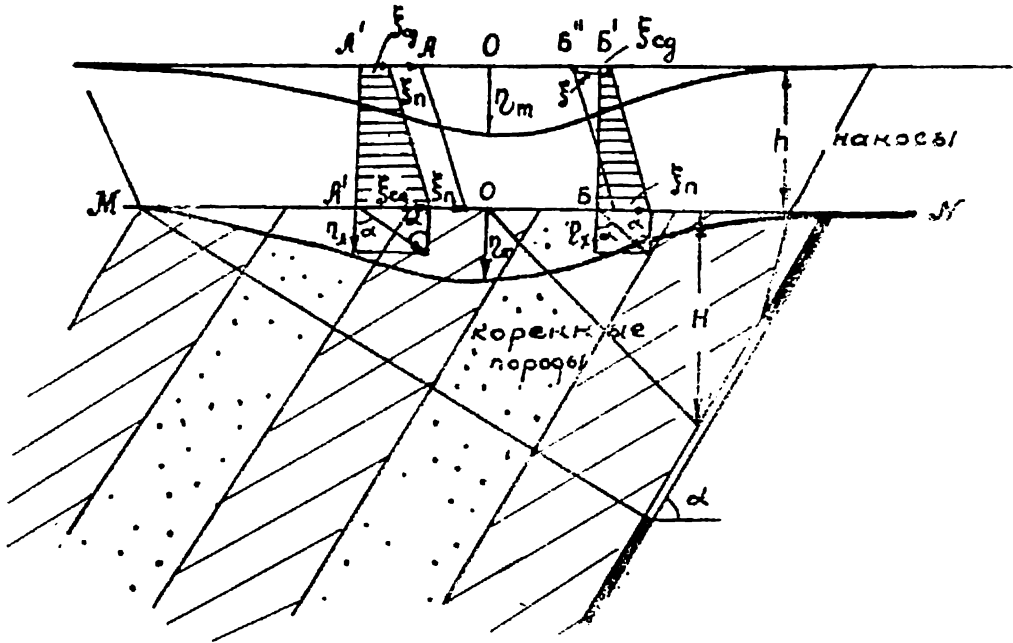


Рис. 23.

Методика расчета горизонтальных сдвижений точек земной поверхности исходит из следующих закономерностей, установленных путем обобщения наблюдений на моделях.

1. Горизонтальные сдвижения точек на контакте коренных пород с наносами (линия MN на рис. 23) и на земной поверхности складывается из горизонтального сдвижения, вызванного сдвигом пород в сторону восстания $\xi_{ср}$, и горизонтального сдвижения, вызванного прогибом пород $\xi_{пр}$.

2. Векторы сдвижения точек на контакте коренных пород с наносами, обусловленные сдвигом пород в сторону восстания, направлены по нормали к напластованию коренных пород.

3. Наносы существенно уменьшают составляющую горизонтального сдвижения, вызванную сдвигом пород, и чем

больше мощность наносов, тем больше это уменьшение. При какой-то предельной мощности наносов горизонтальные сдвиги, вызванные сдвигом, полностью ликвидируются, и горизонтальное сдвижение земной поверхности происходит как при горизонтальном залегании пласта. На основании этих закономерностей можем записать

$$\xi_x = \xi_{cd} + \xi_{np}. \quad (17)$$

На рис. 23 видно, что в т. А горизонтальные сдвиги от сдвига и от прогиба складываются, а в т. Б вычитаются, так как первые имеют везде положительные направления, а вторые положительные (в нижней полумульде) и отрицательные (в верхней полумульде) направления.

Первое слагаемое выражения (17) на контакте коренных пород с наносами определяется согласно рис. 23 по формуле

$$\xi_{cd} = \eta_x \cdot \operatorname{tg} \alpha = \eta_m S_z \operatorname{tg} \alpha,$$

а на земной поверхности по формуле

$$\xi_{cd} = \eta_m S_z \cdot p,$$

где p — коэффициент, учитывающий влияние мощности наносов и определяемый из выражения

$$p = \operatorname{tg} \alpha - \frac{h}{H},$$

где h — мощность наносов, H — глубина горных работ от контакта коренных пород с наносами до середины выработки.

Если величина p получается меньше нуля, то p принимается равным нулю.

Горизонтальная составляющая, вызванная прогибом пород, определяется по выведенным выше формулам (15), (16).

Горизонтальное сдвижение точек земной поверхности на основании (17) определяется из выражения:

$$\xi_x = \eta_m (p S_z \pm 0,5 a S'_z)$$

или

$$\xi_x = \eta_m (p S_z \pm k S'_z), \quad (18)$$

где $k = 0,5a$ и изменяется в пределах от 0,15 до 0,25. В формуле (18) знак $+$ относится к полумульде по падению, а знак $-$ к полумульде по восставанию.

Выражение в скобке формулы (18) обозначается через функцию $F_{(z)}$ и задается в виде специальных таблиц, помещенных в «Руководстве по расчету зданий и сооружений,

проектируемых на подрабатываемых территориях». [24]. Таким образом, можно записать формулу для расчета горизонтальных движений ξ в следующем виде

$$\xi_x = \eta_m \cdot F_{(z)}. \quad (19)$$

Расчет горизонтальных деформаций

Горизонтальные деформации являются первой производной от горизонтальных сдвижений, т. е.

$$E_x = \frac{d\xi_x}{dx} = \frac{d\xi_x}{dz} \cdot \frac{dz}{dx}.$$

Второй сомножитель $\frac{dz}{dx} = \frac{1}{L}$.

Первый сомножитель и вся производная зависят от условий залегания пласта.

При горизонтальном залегании пласта и по линии простирания.

$$\xi_x = 0,15\eta_m \cdot S'_z \text{ и } \frac{d\xi_x}{dz} = 0,15\eta_m \cdot S''_z.$$

Расчетная формула будет следующая:

$$E_x = 0,15 \frac{\eta_m}{L} S''_z. \quad (20)$$

При наклонном и крутом залегании пласта

$$\xi_x = \eta_m (pS_z \pm kS'_z).$$

$$\frac{d\xi_x}{dz} = \eta_m (pS'_z \pm kS''_z) = \eta_m F'_{(z)}.$$

Расчетная формула будет иметь вид

$$E_x = \frac{\eta_m}{L} F'_{(z)}. \quad (21)$$

$F'_{(z)}$ — функция распределения горизонтальных деформаций в мульде, которая вычисляется как первая производная от $F_{(z)}$ и задается в упомянутом выше нормативном документе в виде таблиц.

Расчет максимальных деформаций от выработок в одном пласте

Расчет сдвижений и деформаций по приведенной выше методике производится, когда известно положение выработки (лавы) в пласте. Положение выработок в пласте может

быть известно по действующим или календарным (перспективным) планам горных работ. Но необходимо иметь в виду, что календарные планы, составленные на перспективу более одного года, ненадежны из-за несоответствия фактического и проектного расположения выработок и поэтому не могут быть использованы в качестве основы для детального расчета.

Для проектирования строительства сооружений на подрабатываемых территориях очень часто требуется знание деформаций на участках земной поверхности, под которыми пласты будут разрабатываться в далекой перспективе и, кроме геологических условий (мощности пласта, глубины залегания, угла падения), никаких других данных не имеется. Для всех этих случаев вместо детального расчета сдвижений и деформаций в отдельных точках мульды сдвижения (полной методики) можно ограничиться расчетом максимальных деформаций.

Максимальные деформации земной поверхности, вызванные влиянием выработок в одном пласте, определяются по формулам:

$$i_0 = \left(1,6 - \frac{\alpha}{\rho}\right) \cdot \frac{m}{H}, \quad (22)$$

$$E_0 = \left(0,6 + 0,9 \frac{\alpha}{\rho}\right) \cos \alpha \frac{m}{H}. \quad (23)$$

$$R_{\min} = 3 \cdot k \sqrt{k}, \quad (24)$$

где α — угол падения пласта,
 m — мощность пласта,
 H — глубина залегания пласта,
 $k = \frac{H}{m}$ — кратность,

i_0, E_0, R_{\min} — соответственно максимальный наклон, максимальные горизонтальные деформации и минимальный радиус кривизны $\rho = 57^\circ$.

Формулы (22), (23) могут быть записаны несколько в другом виде:

$$i_0 = \frac{A_1}{k}, \quad E_0 = \frac{A_2}{k}, \quad (25)$$

где

$$A_1 = 1,6 - \frac{\alpha}{\rho}; \quad A_2 = \left(0,6 + 0,9 \frac{\alpha}{\rho}\right) \cos \alpha.$$

Расчет минимального радиуса кривизны производится, когда угол падения пластов менее 45° . При больших углах падения радиусы кривизны не определяются.

Расчет деформаций земной поверхности от выработок в свите пластов

При разработке свиты пластов возникает необходимость в определении суммарных сдвижений и деформаций от совместного влияния выработок в разных пластах свиты.

Характер сложения деформаций при разработке свиты пластов зависит, кроме упомянутых ранее факторов, так же от взаимного положения выработок (лав) в пластах в пространстве и времени и от расстояния между пластами. Эти дополнительные факторы в данном случае оказывают решающее влияние на величину и характер распределения суммарных сдвижений и деформаций земной поверхности.

Взаимное положение выработок в пластах определяется календарными планами горных работ. В связи с этим различаются два основных случая. 1. Календарные планы горных работ имеются, и они достаточно надежные (в смысле положения горных выработок в пространстве и времени).

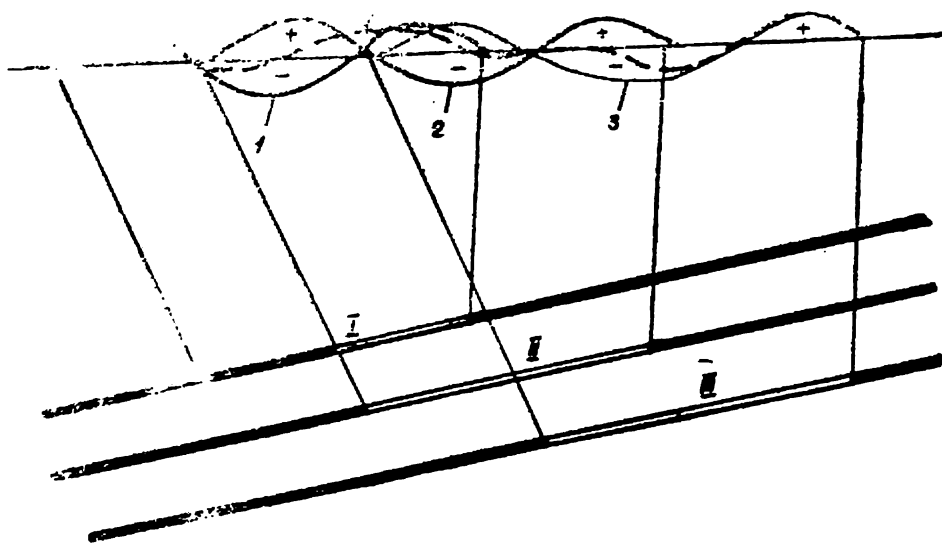


Рис 24.

2. Календарные планы горных работ отсутствуют и ничего определенного о взаимном расположении выработок в пластах сказать нельзя.

В первом случае для расчета деформаций земной поверхности применяется метод суммирования сдвижений и де-

формаций от выработок в отдельных пластах свиты (полная методика расчета). Производится расчет движений и деформаций от каждой лавы по описанному выше способу, строятся графики сдвижений и деформаций от каждой лавы в отдельности, производится алгебраическое (с учетом знака) сложение графиков и строятся суммарные графики сдвижений и деформаций (рис. 24).

При расчете движений и деформаций от отдельных лав учитывается явление активизации сдвижения ранее нарушенной толщи, которое выражается в изменении исходных параметров сдвижения (углов $\beta_0, \gamma_0, \delta_0, \psi_1, \psi_2, \psi_3, \theta$) и увеличении оседания земной поверхности.

Во втором случае принимается упрощенная методика, которая позволяет рассчитывать вероятные суммарные деформации земной поверхности. Вывод расчетных формул упрощенной методики основывается на следующих положениях.

1. Наибольшее влияние на сооружения оказывают горизонтальные деформации растяжения. Максимумы растяжения расположены на пересечении земной поверхности с линией максимального влияния, под которой понимается линия, соединяющая нижнюю границу очистных работ с точкой максимальных горизонтальных деформаций (растяжений) на поверхности. Угол наклона этой линии к горизонту (σ) по данным наблюдений составляет $90^\circ - 0,8\alpha$. Глубины залегания пластов, необходимые для определения кратностей, определяются в точках пересечения пластов с линией максимального влияния (рис. 25).

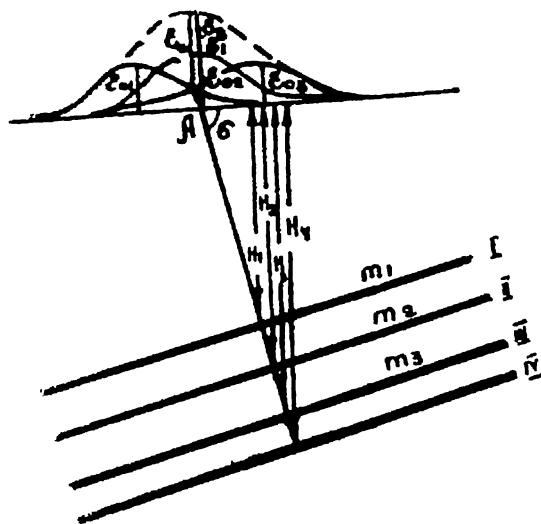


Рис. 25.

2. Один пласт в рассматриваемой свите пластов оказывает на земную поверхность максимальное влияние, т. е. кратность его минимальна ($k_{мин}$). На рис. 25 таким пластом является пласт II ($k_{мин} = \frac{H_2}{m_2}$). Предполагаем, что в

интересующей нас точке А на земной поверхности возникает максимум горизонтальных деформаций от пласта, имеющего минимальную кратность, а остальные пласты добавляют к этому максимуму свои деформации.

Основываясь на этих положениях, можем записать:

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3 + E_4,$$

где E_c — суммарные деформации в т. А, E_1 , E_2 , E_3 , E_4 — деформации в т. А от пластов I, II, III, IV,

Но деформации E_1 , E_2 , E_3 , E_4 можно рассматривать как некоторые части от максимальных деформаций этих пластов (E_{01} , E_{02} , E_{03} , E_{04}):

$$E_c = c_1 E_{01} + c_2 E_{02} + c_3 E_{03} + c_4 E_{04},$$

где c_1 , c_2 , c_3 , c_4 — коэффициенты, значение которых изменяется от 0 до 1.

Максимальные деформации согласно формуле (25) можно выразить через кратность:

$$E_{01} = \frac{A_2}{k_1}; E_{02} = \frac{A_2}{k_2}; E_{03} = \frac{A_2}{k_3}; E_{04} = \frac{A_2}{k_4}.$$

Суммарную деформацию E_c можно так же рассматривать, как максимальную деформацию некоторого пласта, имеющего приведенную кратность; $E_c = \frac{A_2}{k_{пр}}$.

Итак, можем записать:

$$\frac{A_2}{k_{пр}} = c_1 \frac{A_2}{k_1} + c_2 \frac{A_2}{k_2} + c_3 \frac{A_2}{k_3} + c_4 \frac{A_2}{k_4},$$

$$\frac{1}{k_{пр}} = \frac{c_1}{k_1} + \frac{c_2}{k_2} + \frac{c_3}{k_3} + \frac{c_4}{k_4}.$$

Мы предположили на рис. 25, что минимальную кратность имеет пласт II, следовательно $k_2 = k_{мин}$ и $c_2 = 1$.

Теперь запишем

$$\frac{1}{k_{np}} = \frac{c_1}{k_1} + \frac{1}{k_{мин}} + \frac{c_3}{k_3} + \frac{c_4}{k_4}.$$

Помножим левую и правую части равенства на $k_{мин}$ получим:

$$\frac{k_{мин}}{k_{np}} = c_1; \frac{k_{мин}}{k_1} + 1 + c_3 \frac{k_{мин}}{k_3} + c_4 \frac{k_{мин}}{k_4} \quad \text{или}$$

$$k_{np} = \frac{k_{мин}}{1 + \sum c_i \frac{k_{мин}}{k_i}} = \frac{k_{мин}}{N}. \quad (26)$$

Выражение, стоящее в знаменателе формулы (26), принято называть коэффициентом совместного влияния свиты пластов N . Исследования показывают, что коэффициенты влияния C зависят, главным образом, от количества пластов в свите: при двух пластах $C=0,5$, при трех пластах $C=0,4$ и при четырех и более пластах $C=0,3$. Поэтому формулу для коэффициента совместного влияния свиты пластов записывают в следующем виде:

$$N = 1 + c \sum_{i=2}^{i=n} \frac{k_{мин}}{k_i}. \quad (27)$$

В сумму второго слагаемого формулы (27) не входит пласт, имеющий минимальную кратность, так как коэффициент влияния его принят равным единице, и он вынесен за знак суммы. Дальнейшие расчеты суммарных деформаций производятся по формулам (22), (23), (24), но в качестве кратности принимается приведенная кратность:

$$i_c = \frac{A_1}{k_{np}} = \frac{A_1}{k_{мин}} N = \frac{1,6 - \frac{\alpha}{\rho}}{k_{мин}} \cdot N,$$

$$E_c = \frac{A_2}{k_{np}} \cdot \frac{A_2}{k_{мин}} N = \frac{\left(0,6 + 0,9 \frac{\alpha}{\rho}\right) \cos \alpha}{k_{мин}} \cdot N,$$

$$R_{мин} = 3 \cdot k_{мин} \sqrt{k_{мин} N}.$$

Б. МЕРЫ ОХРАНЫ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

§ 8. Общие сведения о мерах охраны и методы построения предохранительных целиков

Меры охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных выработок регламентируются правилами охраны сооружений и выбираются в зависимости от

- категории охраны объекта,
- ожидаемых деформаций земной поверхности,
- протяженности и высоты сооружения,
- характера технологического оборудования,
- гидрогеологических условий и др.

Все сооружения в зависимости от их конструктивных особенностей, значимости и восприимчивости к деформациям земной поверхности разделяются на категории охраны. Единой классификации сооружений пока еще нет. В Донбассе различают 6 категорий, в Кузбассе 4 категории, в Подмосковном бассейне 3 категории охраны и т. д.

К I категории охраны относятся наиболее важные и чувствительные к деформациям сооружения, ко II и более низким категориям — менее важные сооружения.

Допустимые условия выемки угля под сооружениями определяются безопасной глубиной разработки H_6 или предельными допустимыми деформациями земной поверхности. Под безопасной глубиной понимается такая глубина разработки, ниже которой горные выработки не вызывают в подрабатываемых объектах разрушительных деформаций, влекущих за собой прекращение эксплуатации этих объектов, опасность для жизни работающих и живущих в них людей, а также прорыв воды в горные выработки.

Безопасная глубина определяется путем умножения нормальной мощности пласта на коэффициент безопасности

$$H_6 = m k_6.$$

Коэффициент безопасности определяется по правилам охраны сооружений и зависит от категории охраняемого объекта. Например, для условий Донбасса коэффициент безопасности определяется по табл. 4.

Таблица 4

Категория охраны	$\alpha < 45^\circ$	$\alpha > 45^\circ$
I	400	500
II	300	350
III	200	250
IV	150	200
V	100	150
VI	75	75

При наличии факторов, неблагоприятных для подрабатываемых сооружений, коэффициенты безопасности увеличиваются. Однако во всех случаях при наличии ряда неблагоприятных факторов категория охраны не должна повышаться более чем на одну категорию.

При разработке свиты пластов безопасная глубина подсчитывается отдельно для каждого пласта свиты по его мощности и коэффициенту безопасности в следующих случаях:

а) когда разрыв во времени между отработкой пластов превышает период общей продолжительности сдвижения, а повреждения, вызванные предыдущей подработкой, ликвидированы (трещины в зданиях заделаны, ж/д пути выправлены и т. д.);

б) когда принятая схема отработки пластов не дает однозначного накопления деформаций (определяется путем построения и совмещения графиков сдвижений и деформаций земной поверхности от выработок в пластах).

Если допустимые условия подработки объектов не выдерживаются, то последние должны охраняться одним из следующих способов.

1. Оставление предохранительных целников угля.
2. Применение конструктивных мер защиты.
3. Применение горных мер защиты.

Разберем эти меры охраны сооружений подробнее.

Предохранительным целником называется часть полезного ископаемого, оставляемая под сооружением, чтобы избежать его повреждения. Оставление предохранительного целника является самой надежной мерой охраны. Но эта мера экономически невыгодна, так как связана с потерей полезного ископаемого в недрах и нарушении технологического режима горного предприятия.

Поэтому очень важно правильно определить размеры предохранительного целика. Предохранительные целики оставляются, когда глубина горных работ меньше безопасной. Если глубина горных работ больше безопасной глубины, предохранительные целики не оставляются за исключением вертикальных стволов шахт, для охраны которых предохранительные целики оставляются при любых глубинах.

При построении предохранительного целика под зданием, сооруженном или группой зданий сначала строится охраняемый контур в виде прямоугольника со сторонами, параллельными линиям простирания и падения и проходящими через угловые точки здания.

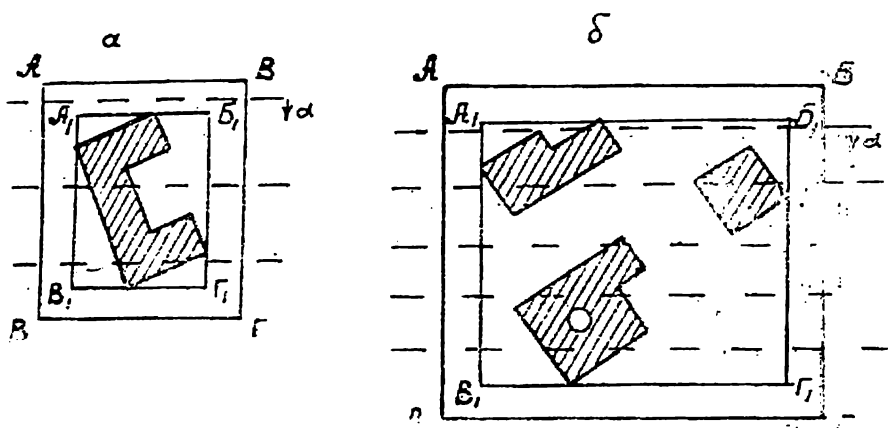


Рис. 26.

На рис. 26а $A_1B_1B_1Г_1$ — охраняемый контур для одного здания. В охраняемый контур может быть включен также ряд зданий (рис. 26б). При построении предохранительного целика под железную дорогу охраняемым контуром является основание насыпи.

Для создания запаса надежности вокруг охраняемого контура строят полосу — берму и получают охраняемую площадь (АВВГ на рис. 26 а и б).

Ширина предохранительной бермы принимается для объектов:

I категории охраны — 20 м, II категории охраны — 15 м, III и IV категории охраны — 10 м, V и VI категории охраны — 5 м.

Границы предохранительных целиков определяются на вертикальных разрезах линиями пересечения почвы пласта с

плоскостями, проведенными по углам движения или граничным углам (для вертикальных стволов) через границы охраняемой площади (рис. 27). Понятие об углах сдвижения дано выше в § 6, здесь же приведем конкретные значения их.

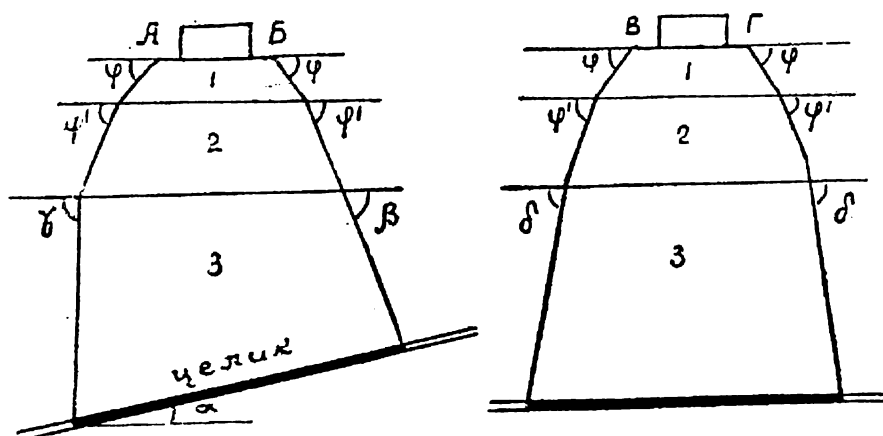


Рис. 27.

Величины углов сдвижения в различных бассейнах различны и даются в правилах охраны сооружений соответствующего бассейна. Наиболее современный подход к определению углов сдвижения, учитывающий влияние максимального количества влияющих факторов, принят в правилах охраны сооружений Донбасса, поэтому ниже в табл. 5 приведены углы сдвижения в этом бассейне. Правила других бассейнов в этом отношении проще, они учитывают меньшее количество влияющих факторов.

Таблица 5

$K = \frac{H}{m}$	δ	β	γ
100 и менее	80°	$80^\circ - 0,8\alpha$	80°
200	82°	$82^\circ - 0,8\alpha$	82°
300	84°	$84^\circ - 0,8\alpha$	85°
400 и более	85°	$85^\circ - 0,8\alpha$	85°

Углы сдвижения в наносах ϕ принимаются во всех направлениях равными 60° . В толще меловых пород углы сдвижения ϕ' принимаются также во всех направлениях

одинаковыми 70° . Построение предохранительных целиков может производиться тремя способами: вертикальных разрезов, перпендикуляров и проекций с числовыми отметками.

Для построения целиков любым способом необходимо иметь:

а) совмещенный план земной поверхности с объектом охраны и горными выработками; б) характеристику объекта охраны; в) геологический разрез пород; г) изогипсы пласта или элементы его залегания.

Из правил охраны сооружений выбирают углы сдвигения, определяют категорию охраны, коэффициенты безопасности и ширину бермы. Все построения производят на планах и вертикальных разрезах в масштабе 1:2000 и реже в масштабе 1:5000.

Приведем ниже примеры построения предохранительного целика способом вертикальных разрезов.

Построение предохранительного целика для охраны одиночного здания

5-этажное жилое здание размером 50×60 м расположено диагонально к простиранию пласта (рис. 28). Под зданием залегает пласт l_1 мощностью $m=0,70$ м. Угол падения $\alpha = 26^\circ$. Глубина залегания пласта под серединой здания составляет 225 м. Толща коренных пород представлена каменноугольными отложениями (сланцы, песчаники и известняки). Мощность наносов — 25 м. Кратность $\frac{H}{m} = 320$. [21]

Охраняемое здание относится к II категории охраны. Из табл. 4 и 5 определяются значения углов сдвигения и коэффициент безопасности $\delta = 84^\circ$; $\beta = 84 - 0,8 \cdot 26^\circ = 63^\circ$; $\gamma = 84^\circ$; $k_\delta = 300$.

Поскольку здание имеет сложную конфигурацию и длину более 45 м, k_δ увеличивают на 20%; $k_\delta = 300 \times 1,2 = 360$.

На плане через угловые точки здания проводят линии параллельно и перпендикулярно простиранию пласта. От полученного прямоугольника $A_1 B_1 \Gamma_1 B_1$ откладывают берму шириной 15 м и получают охраняемую площадь — прямоугольник $AB\Gamma$. Строят разрез вкрест простирания и проектируют на него с плана здание и охраняемую площадь — точки $B(A)$ и $\Gamma(B)$. Через эти точки в наносах проводят линии под углом сдвигения $\varphi = 60^\circ$ до линии контакта с каменноугольными породами и получают точки K_1 и K_2 . Через эти точки проводят в коренных породах линии под углами

сдвигения соответственно $\gamma=84^\circ$ и $\beta=63^\circ$ до пересечения с почвой угольного пласта.

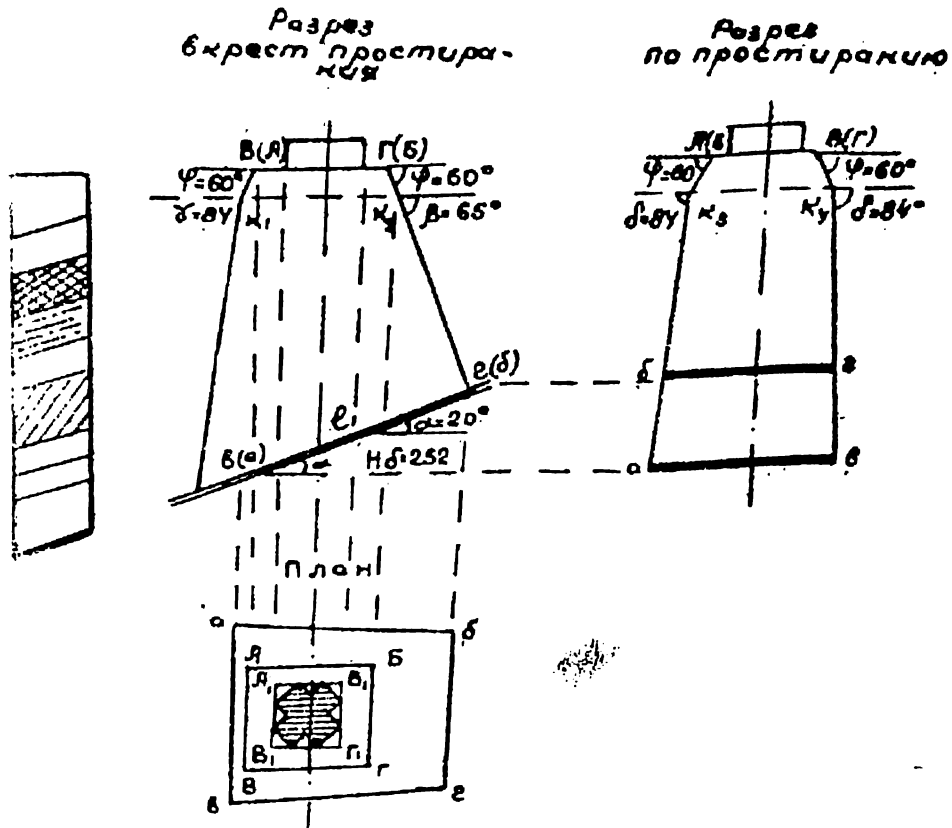


Рис. 28.

Безопасная глубина определяется как произведение мощности пласта на коэффициент безопасности:

$$H_б = 0,70 \times 360 = 252 \text{ м.}$$

Нижней границей целика будет являться линия пересечения пласта с горизонтом безопасной глубины (на рис. 28 — точка в(а)). Верхняя граница целика определяется точкой пересечения линии, проведенной из точки K_1 под углом сдвигения β , с почвой пласта — а(б). Строят разрез по простиранию. На него переносят здание и контур охраняемой площади — точки А (Б) и В (Г). Через точки А (Б) и В (Г) проводят в наносах линии под углом сдвигения φ , пересечение которых с линией контакта наносов и коренных пород даст точки K_3 и K_4 . От этих точек проводят линии под углом сдвигения $\delta=84^\circ$ до пересечения с проекциями верхней и нижней границ целика, получают соответственно точки б, г и а, в. Размеры целиков с разрезов по простиранию и вкрест простирания переносят на план. Контур целика на плане определяется точками а, б, в, г.

Построение предохранительных целиков для охраны вертикальных стволов

Предохранительные целики для охраны вертикальных стволов шахт строятся также по способу вертикальных разрезов, но со следующими дополнительными условиями.

1. Вертикальные шахтные стволы вместе с копрами и подъемными машинами охраняются предохранительными целиками без учета безопасной глубины.

2. Размеры предохранительных целиков определяются в зависимости от назначения, срока службы, глубины и типа крепи ствола и глубины горных работ по углам сдвижения, граничным углам и промежуточным углам.

3. По углам сдвижения границы предохранительных целиков определяются:

а) для всех стволов до глубины 400 м,

б) для блоковых, вентиляционных и воздухопадающих стволов при любой их глубине.

в) по всем пластам или участкам пластов, расположенным ниже зумпфа ствола на $0,2H$, где H — глубина ствола с зумфом.

4. По граничным углам предохранительные целики определяются для главных вертикальных стволов с жесткой крепью при больших глубинах (600 м и более при $\alpha < 45^\circ$ и 700 м и более при $\alpha > 45^\circ$). При этом граничные углы во всей толще принимаются независимо от состава пород: $\beta_0 = 75^\circ - 0,8\alpha$ и $\gamma_0 = \delta = 75^\circ$.

5. В интервалах 400 — 600 м при $\alpha < 45^\circ$ и 400—700 м при $\alpha > 45^\circ$ границы предохранительных целиков для главных стволов определяются линиями, соединяющими границы целиков соответственно на глубинах 400 м и 600 м или 400 м и 700 м, т. е. по промежуточным углам.

Построение предохранительных целиков способом перпендикуляров

Способ перпендикуляров применяется при построении предохранительных целиков под вытянутые объекты: железные дороги, трубопроводы, протяженные промышленные здания и т. д.

Пусть имеем на рис. 29 вытянутый объект (участок железной дороги) и изопипсы пласта. Границы охраняемой площади АБ и ВГ составляют с линией простирания пласта

угол θ . Проведем линии DE и $ЖЗ$, перпендикулярные к границам охраняемой площади. Эти линии проходят в диагональном направлении относительно линий падения и простирания пласта. Углы движения по направлению линий DE и $ЖЗ$ β' и γ' будут иметь промежуточные значения между углами движения β , γ и δ , приведенными в правилах охраны сооружений и соответствующими направлениями линий падения и простирания пласта. Отложив из точек И и П в сторону восстания пласта отрезки q_1 и q_2 (перпендикулярны), равные соответственно $H_1 \text{ctg } \beta'$ и $H_2 \text{ctg } \beta'$ (H_1 и H_2 — глубины залегания пласта в точках пересечения с линиями движения, проведенными по углу β'), и соединив концы перпендикуляров, получим границу целика со стороны восстания O_1O_2 .

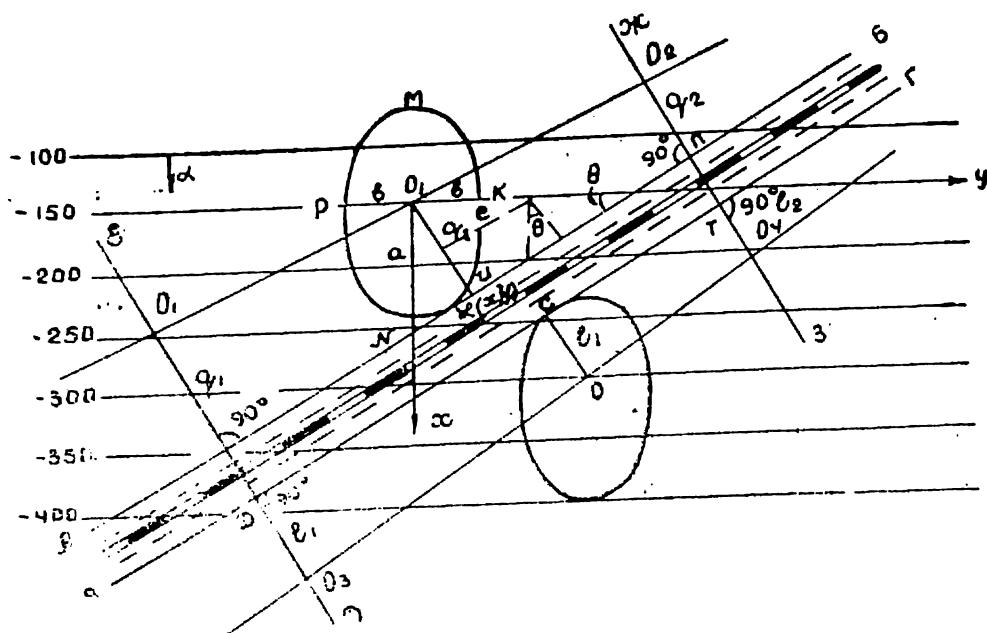


Рис. 29.

Аналогичным образом, отложив из точек С и Т длины перпендикуляров в сторону падения $l_1 = H_1 \text{ctg } \gamma'$ и $l_2 = H_2 \text{ctg } \gamma'$, получим границу целика со стороны падения O_3O_4 . Чтобы воспользоваться приведенными выражениями для определения длин перпендикуляров, необходимо знать углы движения в произвольном направлении β' и γ' . Для этого используется условное понятие об элементарном эллипсе влияния.

Координаты точки касания должны удовлетворять уравнению эллипса, поэтому

$$\frac{a^2 \cos^2 \theta}{a^2 q^2} + \frac{b^2 \sin^2 \theta}{b^2 q^2} = 1 \text{ или}$$

$$a^2 \cdot \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta = q^2,$$

но $a = H_1 \text{ctg} \beta; b = H_1 \text{ctg} \delta; q = H_1 \text{ctg} \beta'$

и можем записать:

$$H_1^2 \text{ctg}^2 \beta \cos^2 \theta + H_1^2 \text{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta = H_1^2 \text{ctg}^2 \beta'$$

или окончательно

$$\text{ctg} \beta' = \sqrt{\text{ctg}^2 \beta \cos^2 \theta + \text{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}.$$

Произведя аналогичные построения и рассуждения применительно к эллипсам влияния, расположенным со стороны падения относительно охраняемой площади, получим формулу

$$\text{ctg} \gamma' = \sqrt{\text{ctg}^2 \gamma \cdot \cos^2 \theta + \text{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}.$$

Зная углы β' и γ' , можем определить длины перпендикуляров q и l . Определим, например, длины перпендикуляров q_1 и l_1 по линии ED на рис. 29. Построим вертикальный разрез по этой линии (рис. 31). Поскольку разрез проходит по диагонали к простиранию и падению пласта углы сдвижения в нем будут β' и γ' , а угол α' будет меньше угла падения пласта α . На этом разрезе точки U и C — границы охраняемой площади, H — глубина залегания пласта под границами охраняемой площади.

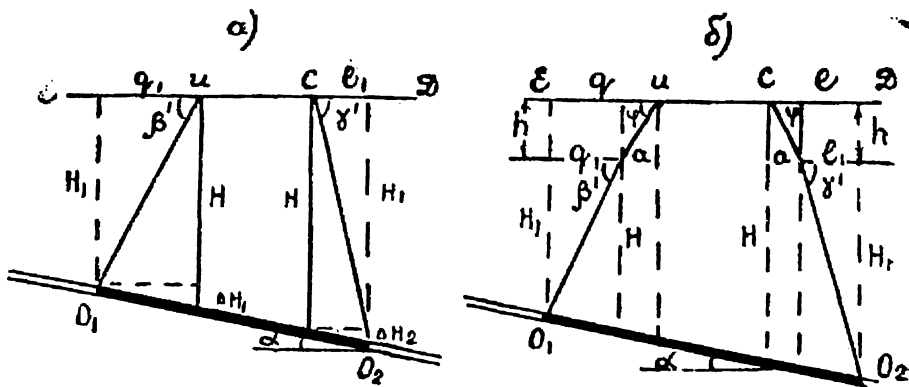


Рис. 31.

После несложных преобразований получим формулы для определения длин перпендикуляров q и l .

$$q = \frac{H \cdot \operatorname{ctg} \beta'}{1 + \operatorname{ctg} \beta' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta}, \quad (28)$$

$$l_1 = \frac{H \operatorname{ctg} \gamma'}{1 - \operatorname{ctg} \gamma' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta}. \quad (29)$$

Если в толще горных пород имеются наносы мощностью h (рис. 31б), то длины перпендикуляров определяются отдельно для коренных пород (q_1, l_1) и для наносов (a). Для коренных пород длины перпендикуляров определяются по формулам:

$$q_1 = \frac{(H-h) \operatorname{ctg} \beta'}{1 + \operatorname{ctg} \beta' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta} \quad (30)$$

$$l_1 = \frac{(H-h) \operatorname{ctg} \gamma'}{1 - \operatorname{ctg} \gamma' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta}. \quad (31)$$

В наносах длины перпендикуляров во всех направлениях одинаковы и равны $a = h \cdot \operatorname{ctg} \varphi$. Общие длины перпендикуляров равны

$$q = q_1 + a \text{ и } l = l_1 + a.$$

В формулах (28), (29), (30) и (31) обозначим через q' и l' выражения

$$q' = \frac{\operatorname{ctg} \beta'}{1 + \operatorname{ctg} \beta' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta},$$

$$l' = \frac{\operatorname{ctg} \gamma'}{1 - \operatorname{ctg} \gamma' \operatorname{tg} \alpha \cos \theta}.$$

Для упрощения расчетов величины эти в правилах охраны сооружений задаются таблично. При наличии таких таблиц длины перпендикуляров определяются по формулам:

$$q = (H - h)q',$$

$$l = (H - h)l'.$$

§ 9. Строительно-конструктивные и горные меры охраны сооружений

В практике встречаются два случая, когда требуется решать вопросы охраны сооружений: при проектировании и

строительстве новых сооружений на площадях залегания полезных ископаемых и при ведении горных работ действующих шахт под существующими зданиями и сооружениями.

В первом случае вопросы охраны сооружений решаются проектными организациями. Задачей маркшейдера является только расчет ожидаемых деформаций земной поверхности.

Во втором случае, маркшейдер решает более широкий круг вопросов. Помимо расчета деформаций маркшейдер выбирает и назначает мероприятия по охране сооружений. Часто маркшейдер в этом случае составляет проект мер охраны. Поэтому ниже разбирается именно этот второй случай.

А. СТРОИТЕЛЬНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

При выборе конструктивных мероприятий охраны сооружений исходят из величин ожидаемых деформаций земной поверхности. Если горизонтальные деформации $E \leq 1 \cdot 10^{-3}$, радиусы кривизны $R \geq 20$ км, $i \leq 3 \cdot 10^{-3}$, то никаких мероприятий не требуется; выемку угля под сооружением можно производить беспрепятственно.

Наоборот, если $E > 12 \cdot 10^{-3}$; $R \leq 1$ км и $i > 20 \cdot 10^{-3}$, то ни при каких условиях выемку угля под сооружениями производить нельзя. В этих пределах изменения величины деформаций для охраны сооружений могут быть применены конструктивные или горные мероприятия защиты сооружений. Различают два вида защиты сооружений: полную и частичную. Полная защита обеспечивает полную сохранность зданий и сооружений от влияния горных выработок. Такие мероприятия теоретически возможны, но часто очень дороги и на практике применяются редко. Частичная защита обеспечивает нормальную эксплуатацию сооружений, но не гарантирует его от появления мелких трещин и других повреждений, которые однако могут быть легко устранены. Обычно применяется частичная защита сооружений.

В основу выбора конструктивных мер защиты сооружений могут быть положены два принципа: принцип жесткости и принцип податливости.

Принцип жесткости предусматривает применение таких конструктивных мер защиты, которые обеспечивают полное восприятие сооружением тех дополнительных усилий, кото-

рые возникают в нем при проведении выработки. Например, при небольших размерах сооружения можно под ним создать железобетонное основание, которое примет на себя все дополнительные усилия и не передаст их на сооружение.

Принцип податливости обеспечивает необходимую податливость несущих конструкций, позволяющую сооружению вписываться в мульду сдвижения без возникновения недопустимых напряжений. Чтобы создать податливость, нужно здание разделить на отдельные отсеки. Каждый отсек будет защищаться по принципу жесткости, а в целом здание будет защищаться по принципу податливости. На практике применяются оба принципа защиты сооружений. При малых размерах сооружения применяется принцип жесткости, при больших размерах — принцип податливости.

Степень повреждения кирпичных зданий при проведении под ними горных выработок зависит от показателя суммарных деформаций, который определяется по формуле

$$\Delta l = \Delta l_E + \Delta l_R = l \sqrt{(n_E m_E E)^2 + \left(n_K m_K \frac{h}{R}\right)^2},$$

где E — ожидаемая величина горизонтальной деформации, R — ожидаемый радиус кривизны земной поверхности, l — длина здания, h — высота здания, m_E , m_K , n_E , n_K — коэффициенты условий работы и перегрузки, учитывающие сглаживание деформаций по длине здания и погрешности расчета деформаций (табл. 6).

Таблица 6

Деформации	Обозначен.	Величины	Обозначен.	Величины коэффициентов при длине здания (отсека)		
				менее 15 м	15—30 м	более 30 м
Наклоны	n_l	1,4	m_l	1,0	0,85	0,70
Кривизна	n_K	1,8	m_K	1,0	0,70	0,55
Горизонтальные деформации	n_E	1,4	m_E	1,0	0,85	0,70

Δl_E — составляющая показателя суммарных деформаций, вызванная горизонтальными деформациями, Δl_R — составляющая показателя суммарных деформаций, вызванная искривлением земной поверхности.

В зависимости от показателя суммарных деформаций различают следующие пять степеней повреждения зданий, (табл. 7).

Таблица 7

Степень повреждения	Δl , мм	Характер повреждения
I	70—130	Незначительные повреждения
II	80—170	Повреждения, не нарушающие условия эксплуатации зданий
III	120—240	Повреждения, вызывающие частичное нарушение условий эксплуатации зданий
IV	180—330	Повреждения, вызывающие временное прекращение эксплуатации зданий
V	300—430	Повреждения, вызывающие частичное разрушение зданий

Более детальная классификация зданий по степени их нарушенности приводится в таблице «Рекомендаций по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных выработок» [22].

При первой степени повреждений никаких мероприятий (ни конструктивных, ни горных) не требуется. Потребуется только незначительный восстановительный ремонт. При второй степени повреждений могут применяться предварительные защитные мероприятия, но можно ограничиться восстановительным ремонтом. При третьей и четвертой степенях повреждения необходимо применение защитных мероприятий. При пятой степени повреждений подработка невозможна — должен быть составлен целик. Задачей мероприятий является уменьшение показателя суммарных деформаций до величины, соответствующей первой степени повреждения.

Уменьшение показателя суммарных деформаций может быть достигнуто:

а) путем уменьшения ожидаемых деформаций и б) путем уменьшения длины здания.

В свою очередь, уменьшение ожидаемых деформаций может быть достигнуто применением горных или конструктивных мероприятий. Уменьшение же длины зданий может быть достигнуто только путем применения строительно-конструктивных мероприятий.

1. *Разделение зданий на отсеки.* Существующие здания в необходимых случаях делят на отсеки при помощи осадочных швов. Швы желательнее выполнять рядом со сквозными

поперечными стенами, но они могут проходить и по проемам, которые должны быть в этом случае заложены кирпичом (рис. 32). Ширина шва рекомендуется 6 см. Разрезка здания

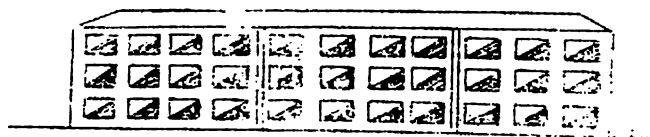


Рис. 32.

должна производиться по вертикали до подошвы фундамента. Каждый отсек должен обладать достаточной жесткостью и «работать» как самостоятельное здание. Разрезка здания на отсеки применяется как средство защиты от искривления земной поверхности и как средство защиты от горизонтальных деформаций. Необходимость разрезки как средства защиты от искривления определяется графиками (рис. 33). Разрезка рекомендуется, если точка, соответствующая габаритам здания, расположится выше кривой θ графиков рис. 33.

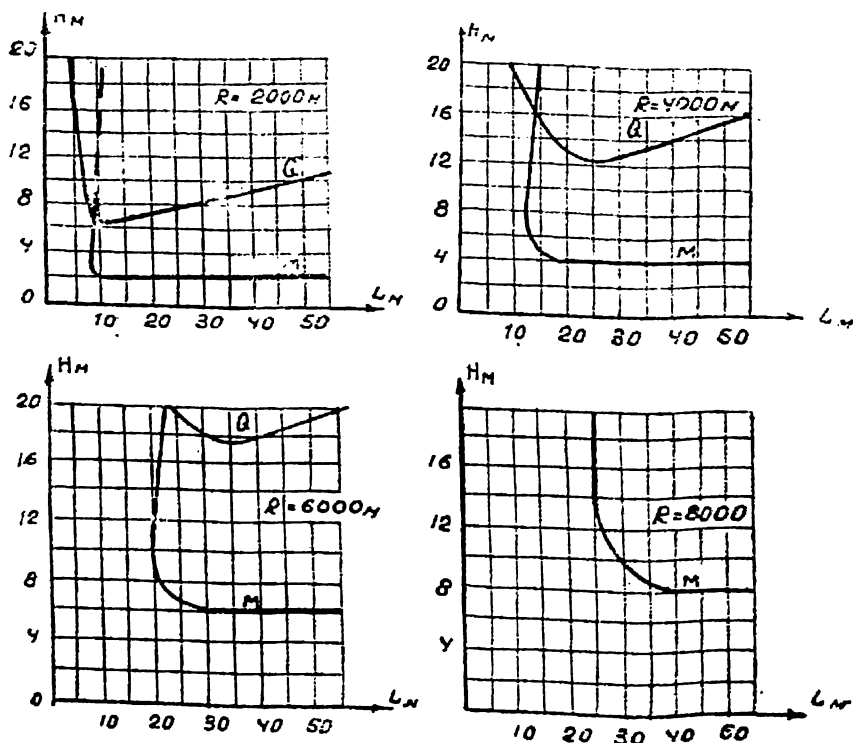


Рис. 33.

Разрезка здания на отсеки как средство защиты от горизонтальных деформаций рекомендуется, когда произведение $[m_{E_{II}E} \cdot E \cdot l]$ более величины, приведенной в табл. 8.

Таблица 8

Виды грунтов	$[m_{E_{II}E} \cdot E \cdot l]$ в мм для зданий	
	обычных	монументальных
Глинистые	140	70
Песчаные	200	100

Разрезка здания на отсеки является очень эффективным мероприятием, так как в формулу показателя суммарных деформаций вместо длины здания l подставляется длина отсека l' , и тем самым уменьшается Δl и снижается степень повреждения. Мероприятие это сложное и пока что на практике применяется редко для охраны существующих зданий.

2. *Усиление зданий или отсеков тяжами.* Это мероприятие применяется как средство защиты от искривления земной поверхности. Применяется оно, когда точка, соответствующая габаритам зданий, попадает на графиках рис. 33 между кривыми θ и μ . Тяжи устанавливаются на одном или нескольких уровнях по периметру стен. Устройство одного карнизного пояса допускается только для 1—2-этажных зданий. Для 3—5-этажных зданий нужны пояса в 2-3-х уровнях (рис. 34).

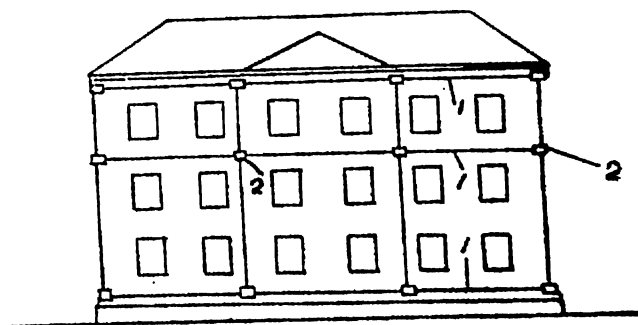


Рис. 34.

3. *Отрывка траншей вокруг зданий* используется как средство защиты от горизонтальных деформаций. Принцип действия траншей состоит в том, что в них происходит концентрация деформаций, т. е. траншеи являются компенсаторами. Траншеи отрываются у стен, примерно перпендикулярных направлению горизонтальных деформаций. Глубина траншей должна быть на **15—25 см больше глубины** заложения фундаментов. Ширина траншей порядка 50—60 см. Траншеи

засыпаются шлаком или опилками и перекрываются плитами. Применение траншей позволяет примерно вдвое уменьшить составляющую Δl_E показателя суммарных деформаций.

4. Устройство железобетонных плит и поясов является средством защиты от горизонтальных деформаций и позволяет снять составляющую Δl_E показателя суммарных деформаций. Железобетонная плита устраивается по грунту или на уровне перекрытия над подвалом и воспринимает на себя дополнительные усилия, вызванные горизонтальными деформациями.

Б. ГОРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОХРАНЫ СООРУЖЕНИЙ

Горные мероприятия имеют целью уменьшить ожидаемые деформации земной поверхности (δ и l) и тем самым уменьшить показатель суммарных деформаций и понизить степень повреждения зданий.

Основные горные мероприятия делятся на три группы.

— Рациональное расположение очистных выработок в одном или нескольких пластах свиты относительно объекта охраны на земной поверхности.

— Неполная (частичная) выемка пластов на площади.

— Применение полной или частичной закладки выработанного пространства.

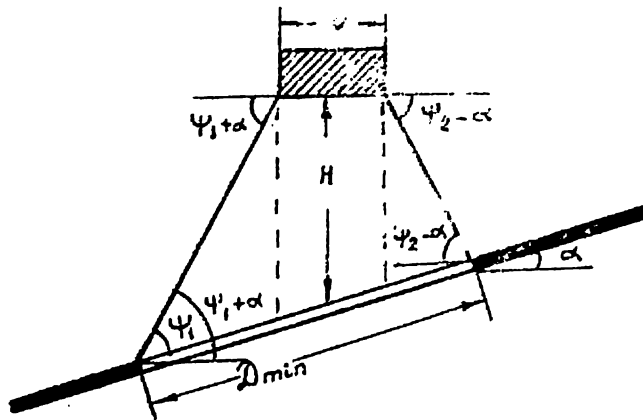


Рис. 35.

К рациональному расположению очистных выработок относятся следующие мероприятия:

а) Расположение горных выработок, при котором сооружения попадают в плоское дно мульды сдвижения. Это мо-

жет быть достигнуто путем увеличения длины лавы до необходимых пределов.

Эти пределы устанавливаются, исходя из рисунка 35. Если расчетная минимальная длина очистной выработки получится настолько большой, что не может быть обработана одной лавой, то выемка может производиться двумя или несколькими лавами с уступным расположением забоев (рис. 36а) или системой парных штреков (рис. 36б).

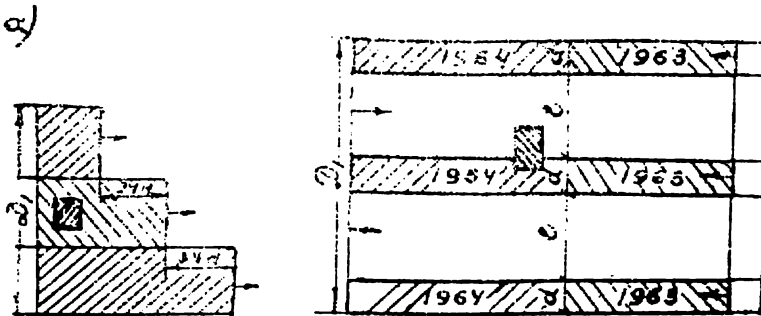


Рис. 36.

При применении системы парных штреков размер коротких лав d принимается равным $C\sqrt{H}$, где H — глубина горных работ, а $C=3$ в районах разработки каменных углей и $C=5$ в районах разработки антрацитов. Длины лав, обрабатываемых обратным ходом, принимаются $(1,5+2,5)d$, но не более 200 м.

Плоское дно мульды сдвижения создается как правило на вертикальном разрезе вкост простирания. В этом направлении деформации земной поверхности будут малы и их можно будет не учитывать, но останутся деформации в направлении простирания. Эти деформации необходимо определять и по ним рассчитывать показатель суммарных деформаций.

б) Гармоническая отработка свит пластов, т. е. такое расположение выработок в пластах свиты, при котором на земной поверхности под охраняемым сооружением деформации частично или полностью компенсируются. Такая компенсация достигается соответствующим смещением границ очистных выработок относительно друг друга и относительно подрабатываемого объекта. Величина смещения определяется путем расчета деформаций.

в) Неполная (частичная) выемка пластов по площади и по мощности. При частичной отработке пластов по площади должны быть приняты также длины лав и размеры межлавы-

ных целиков, при которых деформации земной поверхности не превысят заданных величин.

Задача решается методом последовательного приближения. Выбираются размеры лав и целиков, производится расчет деформаций. Если деформации окажутся более допустимых величин, то задаются другие размеры лав и целиков, и заново рассчитываются деформации.

При частичной выемке пласта по мощности пласт разрабатывается не на всю мощность — часть пласта остается. Тогда расчетные деформации следует определять из выражений

$$E_{пр} = \frac{E}{m} m_1 \quad \text{и} \quad R_{пр} = \frac{R}{m} m_1,$$

где $E_{пр}$, $R_{пр}$ — приведенные деформации при неполной мощности пласта m_1 , E , R — расчетные деформации при полной мощности пласта m .

г) Закладка выработанного пространства породой, доставляемой извне выработанного пространства. Применяются гидравлическая, пневматическая и самотечная закладки. Влияние закладки на сдвиг земной поверхности выражается в уменьшении мощности пласта: вместо выемочной мощности m в расчетах принимается эффективная мощность $m_{эф}$, которая приближенно вычисляется по формуле (4). За счет эффективной мощности уменьшаются расчетные деформации E , R , так как в формуле показателя суммарных деформаций вместо них подставляются $E_{эф}$ и $R_{эф}$.

§ 10. Меры охраны железных дорог

Вопрос о выемке угля под железными дорогами весьма актуален. Так, например, в Донбассе только под пятью магистральными железными дорогами МПС в предохранительных целиках оставлено 368 млн. тонн угля, из них только 13,4 млн тонн вынута [18].

Согласно правилам охраны сооружений железные дороги в Донбассе делятся на 5 категорий, назовем некоторые из них.

Таблица 9

Наименование сооружений	Категория и H_6
1. Участки магистральных железных дорог со скоростью движения поездов более 100 км/час и участки с бесстыковым путем, мосты, путепроводы с пролетом более 20 м	I. $H_6=400\text{ м}$ при $\alpha < 45^\circ$ и $H_6=500\text{ м}$ при $\alpha > 45^\circ$
2. Линии железных дорог общего пользования, мосты, путепроводы длиной менее 20 м	IV. $H_6=150\text{ м}$ при $\alpha < 45^\circ$ и $H_6=200\text{ м}$ при $\alpha > 45^\circ$
3. Линии железных дорог МПС с незначительным движением (грузооборот менее 3 млн. т/км в год, в течение суток проходит не более 3-х пар пассажирских поездов)	V. $H_6=100\text{ м}$ при $\alpha < 45^\circ$ и $H_6=150\text{ м}$ при $\alpha > 45^\circ$
4. Подъездные пути к шахтам	Целиками не охраняются, если $H > 20\text{ м}$

Выемка угля под железной дорогой ниже горизонта безопасной глубины может производиться только по проекту, утвержденному главным инженером комбината. При этом необходимо:

а) согласовать вопрос подработки с управлением железной дороги в соответствии с «Инструкцией о порядке согласования подработки железной дороги на угольных и сланцевых месторождениях СССР»;

б) проводить силами горного предприятия инструментальные наблюдения за сдвижением железнодорожного полотна и земной поверхности на участке подработки. Данные наблюдения передаются службе путей;

в) проводить безостановочную выемку угля под полотном железной дороги и сооружениями. Выемка угля выше горизонта безопасной глубины может производиться только при применении горных мероприятий. При разработке мероприятий охраны железной дороги необходимо учитывать характер воздействия сдвижений и деформаций земной поверхности на железнодорожный путь и сооружения.

Рассмотрим довольно частый случай, когда железная дорога проходит диагонально к линии простирания пласта (рис. 37) и находится на достаточном удалении от границы выработки в направлении простирания ($n_2 > 1$). Расчеты сдвижений и деформаций рассчитываются по линии вкрест простирания $1-1$, и затем они проектируются на линию железной дороги.

1. Определение оседаний железнодорожного полотна производится по формуле $\eta_x = \eta_m S'_z$, где η_m — максимальное оседание (определяется по изложенной выше в § 7 методике), S'_z — функция распределения по аргументу $z' = \frac{x}{L'}$, где $L'_{1,2} = \frac{L_{1,2}}{\sin \theta}$.

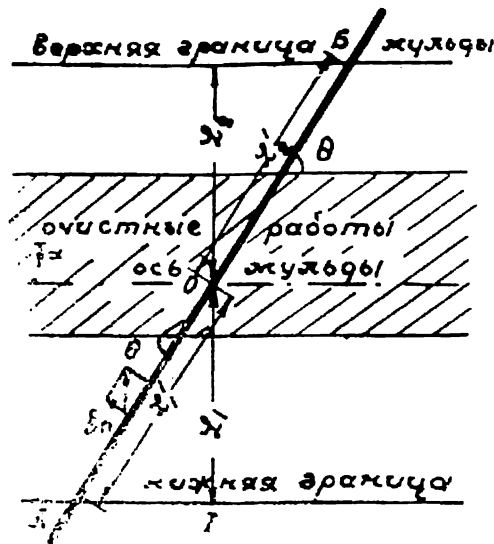


Рис. 37.

Само по себе оседание неопасно для железнодорожного пути, которое легко вписывается в мульду сдвижений, более опасны вертикальные деформации: наклоны и кривизна.

2. Следует различать наклоны вдоль i_b и поперек пути i_n

$$i_b = \frac{\eta_m}{L'_{1,2}} S'_{z'} = \frac{\eta_m}{L_{1,2}} S'_{z'} \cdot \sin \theta = i \sin \theta,$$

$$i_n = i \cdot \cos \theta.$$

Наклон вдоль пути изменяет его уклон. Если уклон будет превышать установленную норму, то производят исправление пути, поднимая его на балласт. Поперечный наклон вызывает отклонение пути по уровню. Однако отклонение пути по уровню при глубине горных работ более безопасной незначительно и в расчет не принимается.

3. Кривизна вдоль пути определяется из выражения:

$$k_b = \frac{\eta_m}{(L'_{1,2})^2} S''_{z_1} = \frac{\eta_m}{L^2_{1,2}} S''_{z_1} \cdot \sin^2 \theta = k \cdot \sin^2 \theta.$$

Для пути более важной является не сама кривизна, а неравномерность наклонов, которая вычисляется из выражений

$$\Delta i = i_n - i_{n-1} \text{ или } \Delta i = k_n \cdot l,$$

где i_n, i_{n-1} — наклон последующего и предыдущего интервалов, l — длина рельс (обычно 12,5 м).

Неравномерность наклонов вызывает в продольном профиле перекося пути, который ликвидируется поднятием на балласт и снижением скорости движения поездов. Согласно исследованиям Нехорошева Ю. П. [18] скорость движения поездов должна быть не более

$$v = \frac{580}{\Delta i} + 34,$$

где v — максимально допустимая скорость движения поездов в км/час, Δi — неравномерность наклонов в мм/м.

4. Горизонтальное сдвигение может происходить вдоль ξ_o и поперек пути ξ_n ; определяется оно по формулам

$$\xi_o = \xi \cdot \sin \theta; \quad \xi_n = \xi \cdot \cos \theta,$$

где ξ — горизонтальное сдвигение земной поверхности в главном сечении вкост простирания (рис. 37).

Горизонтальное сдвигение вдоль пути вызывает появление в путях дополнительных сил, действующих в горизонтальной плоскости. Эти силы стремятся растянуть или сжать рельсы. В результате может произойти изменение стыковых зазоров. Для уменьшения действия этих сил нужно уменьшить погонное сопротивление путей. Поперечная составляющая горизонтальных сдвигений вызывает искривление путей в плане, но это искривление незначительное и практического значения не имеет. Кроме указанных нарушений, в железнодорожных путях могут возникнуть изменение ширины колеи и расстройство противоугонной системы.

В конечном итоге, все эти нарушения вызывают опасность схода поездов с рельс. Однако богатая практика подработки железных дорог показывает, что при ведении горных работ ниже горизонта безопасной глубины все эти нарушения не достигают опасной величины, и сход поездов с рельс практически исключен.

§ 11. Меры охраны трубопроводов и водоемов

Различают стальные трубопроводы (газопроводы, продуктопроводы, паропроводы, водопроводы), секционные тру-

бопроводы (водопроводы) и самотечные трубопроводы (канализация).

Для стальных трубопроводов основное условие подработки — это сохранение несущей способности труб и особенно стыковых соединений, так как разрыв труб чаще всего происходит по стыку. Продольное растягивающее напряжение в трубах можно определить из выражения:

$$\sigma_n = \sigma_p + (\sigma_{\Delta t} + \sigma_R + \sigma_E) \lambda,$$

где σ_p — растягивающее напряжение, возникающее от внутреннего давления продукта, $\sigma_{\Delta t}$ — растягивающее напряжение, вызванное изменением температуры, σ_R — растягивающее напряжение, вызванное искривлением земной поверхности

$$\sigma_R = \frac{E \cdot D_{нар}}{2R} \cdot q,$$

где $D_{нар}$ — наружный диаметр трубы, R — радиус кривизны, q — коэффициент перегибки (1,1—1,4), λ — коэффициент, равный 0,8, σ_E — растягивающее напряжение, вызванное горизонтальным сдвижением земной поверхности:

$$\sigma_E = \frac{\theta_0 l q}{\pi \delta} \left(1 - \cos \frac{\pi l_k}{l} \right).$$

Здесь l — длина зоны растяжения (рис. 38), l_k — длина участка зоны растяжения от критического сдвижения $\xi_k = 0,05$ до максимального сдвижения ξ_0 .

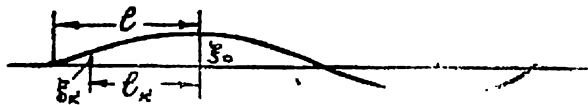


Рис. 38.

Если продольное напряжение превосходит сопротивление трубопровода или его стыка, то необходимо применение одного из следующих мероприятий:

- а) установка компараторов,
- б) кольцевание,
- в) усиление сварных стыков,

г) вскрытие трубопровода и засыпка траншей малосвязным материалом,

д) вскрытие трубопровода и снятие напряжения в трубах путем разрезки.

Расстояние между компенсаторами определяется из выражения:

$$L_k < \frac{2\delta \cdot q \cdot R_a - \Sigma \varepsilon_x}{\Theta_0},$$

R_a — нормальное сопротивление растяжения металла труб (1800—2100 кг/см²),

δ — толщина стенок трубы,

Θ_0 — сила заземления трубы грунтом,

$\Sigma \varepsilon_x$ — сумма напряжений, возникающих в трубе.

Подработка самотечных трубопроводов (канализация)

В результате действия горных работ происходит изменение уклонов, а если последние превышают установленные нормы, то в трубах возникают застойные участки.

Для защиты канализационных самотечных коммуникаций рекомендуется:

а) приспособлять существующие колодцы в качестве компенсатора, для чего входы труб в колодцы делаются подвижными,

б) вскрыть трубы и исправить уклоны,

в) установить временные или постоянные насосные станции,

г) произвести кольцевание труб.

Меры охраны водоемов. До подработки водного объекта необходимо проверить, имеются ли в зоне затопления незатопливаемые скважины, шурфы и другие выработки, по которым вода может попасть в шахту. При наличии таких выработок горные работы должны вестись с соблюдением требований правил безопасности.

Очень важным фактором является наличие в основании водного объекта глин и мощных суглинков. Если таковые имеются, условия подработки облегчаются.

При построении предохранительных щеликов под водный объект на топографическом плане поверхности, на котором нанесен водный объект, проводят линию максимального подъема воды во время паводка. Затем от полученной линии отлаживают берму 10 м и получают охраняемую пло-

щадь. Безопасную глубину откладывают от дна водохранилища. Целики строят методом вертикальных разрезов или методом перпендикуляров.

Отработка угольных пластов под водоемами может вызвать затопление больших площадей земли. Для защиты от затопления могут быть применены следующие мероприятия:

- а) сооружение водозащитных дамб,
- б) повышение поверхности низменности путем насыпи грунта по всей поверхности затопления,
- в) спрямление русла рек,
- г) устройство обводных каналов,
- д) применение горных мероприятий.

ГЛАВА II

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ

При разработке месторождений открытым способом вынимаются значительные объемы пород с образованием карьеров большой глубины. Вследствие этого нарушается статистическое равновесие пород в бортах карьеров и может возникнуть их сдвигание.

Сдвигаться может весь борт карьера, его часть или только уступ. Сдвиганию подвергаются также отвалы пустых пород.

Сдвигания горных пород могут быть незначительными или проявляться в форме оползней и обрушений, причиняющих большой ущерб горной промышленности. Например, в буроугольном карьере близ города Кельна сдвинулся борт карьера общим объемом 300000 м³ породы. Погибли все механизмы и сам карьер.

Основными причинами оползней могут быть:

1. Чрезмерно большие угол наклона откоса, глубина карьера и высота уступа.
2. Неблагоприятные геологические и гидрогеологические условия (слабые горные породы, падение слоев в сторону карьера, тектонические нарушения, обводненность участков и т. д.).
3. Неправильное ведение горных работ.

Часть этих факторов зависит от деятельности людей, часть не зависит, но может быть учтена. От деятельности людей, в частности, зависит создание оптимальных углов накло-

на откосов, высоты уступов и глубины карьера. Эти параметры, определяющие, главным образом, характер сдвижения горных пород на открытых разработках, подлежат определению. Метод расчета их основан на теории предельного равновесия сыпучей среды. При этом необходимо иметь в виду, что теория предельного равновесия сыпучей среды включает также и предельное равновесие вязкой среды с трением, к которой относятся и горные породы.

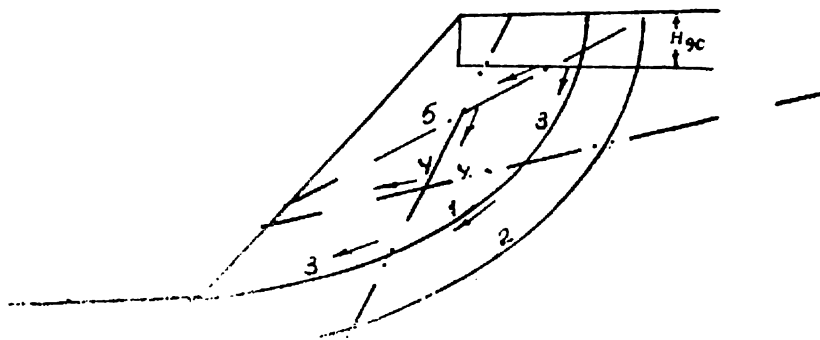


Рис. 39.

Исходными положениями метода расчета, вытекающими из теории предельного равновесия сыпучей среды являются:

1. Нарушение устойчивости борта карьера происходит по поверхности скольжения.

2. При отсутствии в откосе неблагоприятно расположенных поверхностей ослабления (плоскости геологических нарушений и наслоений пород, тектонические трещины и т. д.) плоскость скольжения имеет форму, близкую к дуге окружности (рис. 39).

3. При наличии в откосе неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления поверхность скольжения полностью или частично совпадает с ними. Она будет иметь в этом случае в вертикальном сечении вид прямой или ломаной линии.

4. Основным условием предельного равновесия горных пород по любой площадке скольжения является равенство сдвигающих сил T силам, удерживающим S . Положим, на вертикальную площадку в породной призме действует сила веса вышележащих пород (рис. 40).

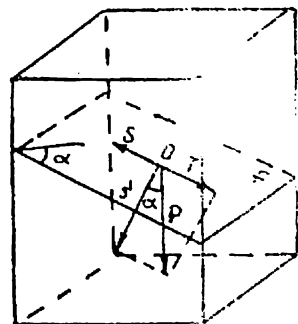


Рис. 40.

Сила веса разлагается на силу сдвигающую T и нормальную силу N . Сдвигающей силе противопоставляется внутренняя

удерживающая сила S . Удерживающая сила, в свою очередь, складывается из сил трения и сил сцепления и определяется по формуле

$$S = f \cdot N + k \cdot F.$$

Таким образом, условие равновесия пород по любой площадке скольжения выражается следующим образом:

$$T = f \cdot N + k \cdot F, \quad (32)$$

где f — коэффициент трения, равный тангенсу угла внутреннего трения, $f = \operatorname{tg} \varphi$;

N — нормальная сила, действующая по площадке скольжения;

k — коэффициент сцепления;

F — площадь площадки скольжения.

Если все действующие силы по поверхности скольжения разделить на ее площадь, вместо (67) получим условие равновесия в напряжениях:

$$\tau = f \sigma_n + k, \quad (33)$$

где τ и σ_n — касательное и нормальное напряжения.

Угол внутреннего трения и коэффициент сцепления являются основными характеристиками прочности пород. Они определяются или в лабораторных условиях на образцах пород или в натуральных условиях.

Условие равновесия в откосах связанных горных пород

Глинистые и трещиноватые горные породы средней крепости обладают сцеплением и внутренним трением. Такие породы позволяют создавать вертикальный откос высотой $H_{до}$, называемый предельной высотой вертикального откоса. При превышении этой высоты откос надо выполаживать и чем положе откос, тем он более устойчив

$$H_{до} = \frac{2k}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \text{ где } \gamma \text{ — объемный вес.} \quad (34)$$

Для определения степени устойчивости откоса в массиве отыскивают наиболее слабую поверхность скольжения и сравнивают силы, удерживающие породы от сползания ΣS_i , с силами сдвигающими ΣT_i . Объем породы в откосе, ограниченный наиболее слабой поверхностью, называется призмой возможного обрушения.

Если отношение $\frac{\Sigma S_i}{\Sigma T_i} = 1$, то поверхность откоса называется предельно напряженной и угол откоса является предельным.

Оценка устойчивости откоса производится в следующем порядке.

1. Призма возможного обрушения разбивается вертикальными линиями на ряд полос равной ширины «а», м (рис. 41).

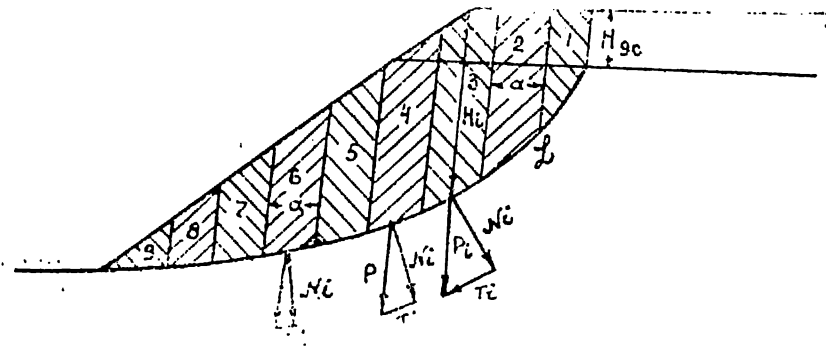


Рис. 41.

2. Высота полос условно принимается за их вес и раскладывается на касательную T_i и нормальную N_i составляющие относительно поверхности скольжения.

3. Отрезки касательных и нормальных составляющих измеряются в мм и суммируются отдельно, затем суммы умножаются на масштаб векторов

$$c = \frac{a \gamma M}{1000},$$

где a — ширина полос, γ — объемный вес в т/м^3 , M — знаменатель масштаба.

4. Измеряют длину L расчетной поверхности скольжения и составляют отношение

$$\frac{jc \Sigma N_i + k \cdot L}{c \Sigma T_i}.$$

Откос находится в предельном напряженном состоянии, если это отношение равно единице. Однако для создания запаса прочности это отношение приравнивают к некоторой величине, называемой коэффициентом запаса,

$$\frac{fc \Sigma N_i + kL}{c \Sigma T_i} = n. \quad (35)$$

Коэффициент запаса зависит от срока службы откоса и характера пород, слагающих откос. Величина его колеблется от 1,15 до 2,0. Коэффициент запаса вводится в расчетные характеристики прочности, поэтому вместо формулы (35) запишем:

$$\frac{\frac{r}{n}c\sum N_i + \frac{k}{n}L}{c\sum T_i} = 1.$$

Если это отношение получится меньше единицы, то устойчивость откоса не обеспечена и необходимо или уменьшать угол наклона откоса, или, уменьшать его высоту.

Расчет поверхности скольжения

Чаще всего наиболее слабой поверхностью скольжения является круглоцилиндрическая поверхность скольжения.

Построение этой поверхности производится, исходя из следующих основных положений.

1) Площадки скольжения появляются в массиве только ниже глубины H_{90} , которая определяется по формуле (69).

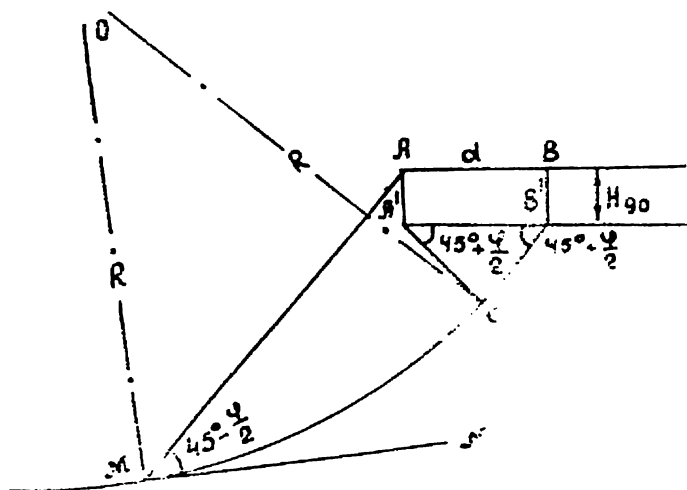


Рис. 42.

2) В верхней части откоса $A'B'C$ (рис. 42) площадки скольжения составляют с вертикалью угол $45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ или с горизонталью $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$, а в нижней части откоса площадки

скольжения составляют угол $45^\circ - \frac{\varphi}{2}$ с поверхностью откосов.

3) В промежуточной толще угол наклона площадок скольжения колеблется в этих пределах.

4) Общая поверхность скольжения, отвечающая этим условиям, совпадает с круглоцилиндрической поверхностью.

Эта поверхность строится следующим образом.

а) Сначала по формуле (36) определяют ширину призмы обрушения на верхней площадке откоса (рис. 42)

$$d = \frac{2H \left[1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + \varphi}{2} \right) \right] - 2H_{до}}{\operatorname{ctg} E + \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha - \varphi}{2} \right)}, \quad (36)$$

где $E = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$.

От верхней бровки откоса (т. А) откладывают величину d .

б) Из т. А и В по вертикали откладывают величину $H_{до}$, получают т. А' и В'. Из этих точек проводят линии под углом $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ к горизонту.

в) Восстанавливают к линии СВ' от точки С перпендикуляр до пересечения в т. О с перпендикуляром, восстановленным из т. М к направлению MN, составляющему с откосом

угол $E = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$.

г) Радиусом $R = OC = OM$ проводят дугу окружности с центром в т. О. Линия ВВ'СМ является искомой поверхностью скольжения.

В верхней части призмы обрушения преобладают силы сдвигающие над силами удерживающими, в нижней части наоборот, силы удерживающие преобладают над силами сдвигающими. Поэтому верхняя часть призмы называется призмой активного давления, нижняя — призмой упора.

В массиве пород, содержащем природные поверхности ослабления (дизъюнктивные нарушения, тектонические трещины большой протяженности, слабые контакты пород и др.), которые могут явиться поверхностями скольжения, расчет устойчивости производится по различным схемам, разработанным ВНИМИ и помещенным в специальной литературе

[27] и методических указаниях [11]. В этой специальной литературе все возможные случаи расположения поверхностей скольжения классифицируются на 12 расчетных схем.

Маркшейдерские наблюдения за деформацией откосов на карьерах

Маркшейдерские инструментальные наблюдения за деформацией откосов карьеров проводятся с целью определить величины сдвижений и деформаций отдельных участков бортов и характера развития деформаций во времени. Для этого профильные линии реперов закладывают на участках, где имеются факторы, способствующие уменьшению устойчивости бортов (крутой угол наклона, борта, большая глубина карьера, наличие тектонических нарушений, неблагоприятные гидрогеологические условия и т. д.). Длина профильных линий рассчитывается так, чтобы часть реперов находилась в недеформируемой зоне. Расстояние между реперами принимается от 5 до 30—40 м в зависимости от высоты уступов и ширины площадок. На каждой площадке уступа закрепляют не менее двух реперов.

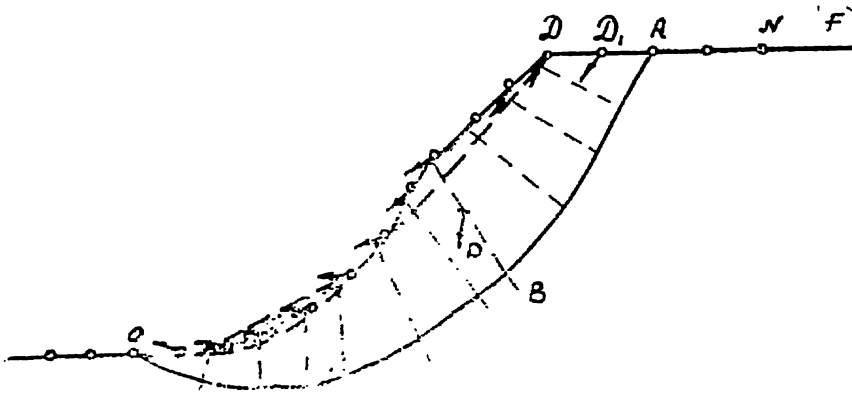


Рис 43.

Наблюдения состоят из нивелировок, измерения расстояний между реперами и съемки отдельных уступов, трещин и других измерений, возникших между сериями наблюдений. В результате наблюдений определяют для каждого репера горизонтальную и вертикальную составляющие вектора смещения за все время наблюдений и за время между сериями наблюдений, а также средние скорости смещения реперов.

Строят геологический разрез по профильной линии, на которой наносят профиль борта, реперы наблюдательной станции и векторы смещения реперов.

По результатам маркшейдерских измерений в большинстве случаев можно построить поверхность скольжения, установить характер оползня и причину его образования. Векторы сдвижения приблизительно параллельны соответствующим участкам поверхности скольжения. На этом свойстве векторов и основано построение поверхности скольжения (рис. 43).

Для этого из точки А, в которой зафиксировано начало оползня (трещина), проводят линию, параллельную вектору сдвижения этой точки до пересечения с перпендикуляром к середине вектора сдвижения следующей точки (D_1) и т. д. В результате получают поверхность скольжения АВО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авершин С. Г. Горные работы под сооружениями и водоемами. М., Углетехиздат, 1954.
2. Временные технические условия проектирования и строительства зданий и сооружений на угленосных площадях Донецкого угольного бассейна, К., 1958.
3. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на рудных месторождениях с неизученным процессом сдвижения горных пород. Л., ВНИМИ, 1966.
4. Защита гражданских зданий от влияния подземных горных работ. М., «Недра», 1970.
5. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и за подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. Л., изд. ВНИМИ. 1958.
6. Казаковский Д. А. и др. Маркшейдерское дело, часть II, специальный курс, М., «Недра», 1970.
7. Кузнецов М. А. и др. Сдвижение горных пород на рудных месторождениях. М., «Недра», 1971.
8. Коротков М. В. Выемка угля под сооружениями в Донбассе. М., Углетехиздат, 1953.
9. Караваев Ю. Р. Строительство и эксплуатации трубопроводов в районах горных выработок. М., Углетехиздат, 1959.
10. Люткинс О. Строительство в районах горных разработок, М., 1960.
11. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., ВНИМИ, 1972.
12. Медянцева А. Н. Максимальные деформации земной поверхности, Л., Труды ВНИМИ, 1963.

13. Медянцев А. Н. и др. Графики распределения сдвижений и деформаций земной поверхности над горными выработками в Донбассе. Л., Труды ВНИМИ, 1962.
14. Медянцев А. Н. Продолжительность сдвижения земной поверхности над горными выработками. К., «Уголь Украины», 1961, № 1.
15. Медянцев А. Н., Варлашкин В. М., Вопросы выемки предохранительных целиков с точки зрения экономики производства. Л., Труды ВНИМИ, 1959.
16. Медянцев А. Н. Совместное влияние разработки свиты пластов на земную поверхность и сооружения, «Уголь Украины», 1958, № 4.
17. Медянцев А. Н., Мазурова А. И. Определение исходных параметров процесса сдвижения земной поверхности в Донбассе, Л., Труды ВНИМИ, 1961.
18. Нехорошев Ю. П., Коротков М. В. Выемка угля под магистральными железными дорогами, М., «Недра», 1968.
19. Оглоблин Д. Н. и др. Маркшейдерское дело, М., «Недра», 1972.
20. Общие правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях (проект), Л., ВНИМИ, 1974.
21. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Донецком угольном бассейне. М., МУП СССР, 1972.
22. Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных разработок в основных угольных бассейнах. М., Стройиздат, 1967.
23. Проектирование и строительство зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. М., ГОНТИ, 1963.
24. Руководство по расчету зданий и сооружений, проектируемых на подрабатываемых территориях. Л., Стройиздат, 1968.
25. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений. М., «Недра», 1970.
26. Сдвижение горных пород и земной поверхности. М., Углетехиздат, 1958.
27. Фисенко Г. А. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., «Недра», 1965.
28. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах, М., «Недра», 1973.
29. А. А. Фурман Закладка выработанного пространства. М., Углетехиздат, 1958.
30. Кузнецов Г. Н., Будько М. Н. и др. Изучение проявлений горного давления на моделях. М., Углетехиздат, 1959.

О Г Л А В Л Е Н И Е

В в е д е н и е	3
ГЛАВА I. Сдвигение горных пород и методы охраны сооружений при разработке угольных месторождений подземным способом	5
А. Параметры и показатели сдвижения земной поверхности	5
§ 1. Характер и схема сдвижения горных пород	5
§ 2. Параметры мульды сдвижения	6
§ 3. Смещения (сдвижения) и деформации земной поверхности	9
§ 4. Продолжительность и скорость сдвижения земной поверхности	15
§ 5. Факторы, влияющие на процесс и параметры сдвижения горных пород и земной поверхности	17
§ 6. Изучение процесса сдвижения горных пород	22
§ 7. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности над подземными горными выработками угольных шахт	32
Б. Меры охраны сооружений от вредного влияния горных выработок	50
§ 8. Общие сведения о мерах охраны и методы построения предохранительных целиков	50
§ 9. Строительно - конструктивные и горные меры охраны сооружений	60
§ 10. Меры охраны железных дорог	68
§ 11. Меры охраны трубопроводов и водоемов	71
ГЛАВА II. Сдвигение горных пород на открытых разработках	74
Л и т е р а т у р а	81

МЕДЯНЦЕВ Аркадий Николаевич

**Сдвижение горных пород и земной поверхности
под влиянием горных выработок**

Сдано в набор 2.7.76 г. Подписано к печати 22.X.76 г. ПК 02884.

Формат 60x84¹/₁₆. Объем 4,88 усл. п. л., 4,85 уч.-изд. п. л.

Типографская № 2. Тираж 1500 экз. Заказ 1435. Цена 50 коп.

Типография НПИ, г. Новочеркасск, Рост. обл. ул. Просвещения, 132.