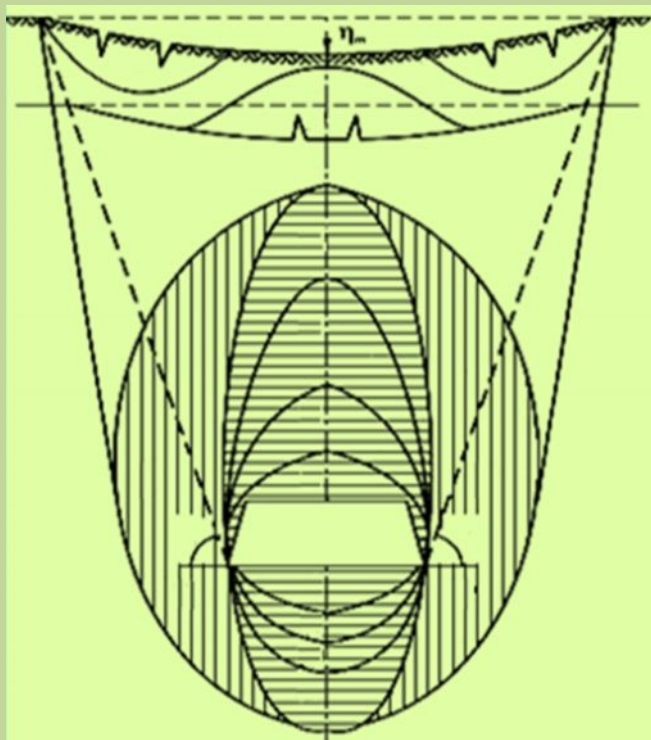


**М.Б.Нурпеисова
И.В.Милетенко**

ГЕОМЕХАНИКА



Алматы -2014

Министерство образования и науки Республики Казахстан

**Казахский национальный технический университет
имени К.И.С атпаева**

**М.Б.Нурпеисова
Н.А.Милетенко**

ГЕОМЕХАНИКА

Рекомендовано министерством образования и науки Республики Казахстан в качестве учебника для студентов высших учебных заведений обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки дипломированных бакалавров «Горное дело»

Алматы 2014

УДК 622.831.31(075)

ББК

Н

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор **Низаметдинов Ф.К.**

Доктор технических наук, профессор **Шамганова Л.С.**

Доктор технических наук, профессор **Касымканова Х.М.**

М.Б.Нурпеисова, М.А.Иофис, И.В.Милетенко

Н. ГЕОМЕХАНИКА: Учебник для вузов. - Алматы: КазНТУ, 2014.-275 с.

ISBN 978-601-228-89-4

В учебнике, состоящем из шести глав, изложены основы курса «Геомеханика». Приведены основные понятия и определения, механические свойства и напряженно-деформированное состояния массива горных пород. А также рассмотрены особенности геомеханических процессов, сопутствующих различным способам добычи полезных ископаемых: открытому, подземному и комбинированному.

Учебник создавался авторским коллективом на основе обобщения учебных планов ведущих вузов, в которых осуществляется подготовка горных инженеров, многолетнего опыта преподавания геомеханики в Московском государственном горном университете, Казахском национальном техническом университете имени К.И.Сатпаева и практики проведения геомеханических исследований в различных горно-промышленных регионах Республики Казахстан и за рубежом.

Содержание учебника соответствует требованиям программы дисциплины «Геомеханика».

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки дипломированных бакалавров «Горное дело». Может быть использован студентами, магистрантами и PhD докторантами горных специальностей, работниками учебных, научно-исследовательских, проектных и производственных организаций.

© М.Б.Нурпеисова, М.А. Иофис, И.В.Милетенко

© Издательство КазНТУ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

1. Содержание предмета «Геомеханика» и ее задачи в различных способах добычи полезных ископаемых

Деятельность человека по использованию ресурсов недр вызывает развитие в недрах геомеханических процессов, связанных с изменением напряженного состояния, деформированием и разрушением горных пород. Эти процессы могут вызывать крайне неблагоприятные технологические и экологические последствия. Как следствие, на территории Республики Казахстан от негативных проявлений неуправляемых геомеханических процессов страдают многочисленные объекты недропользования, промышленные регионы и участки земной поверхности.

Поэтому целью учебника является выработка у будущих горных инженеров знаний, умений и представлений, необходимых для решения задач геомеханического обеспечения недропользования.

Под **геомеханикой** понимается наука о механических свойствах и механическом состоянии массива горных пород и процессах деформирования и разрушения (геомеханических процессах), происходящих в нем в определенных природных условиях под влиянием горно-технических (технологических) факторов.

Условия - это совокупность естественно-природных особенностей массива горных пород. Их влияние на процессы, как правило, не претерпевает существенных изменений во времени.

Под **фактором** (от лат. factor - делающий, производящий) в общем случае понимают причину, движущую силу (воздействие) какого-либо процесса, определяющую его характер или отдельные черты.

Природные факторы делятся на две группы: экзогенные и эндогенные.

Природные экзогенные факторы - это *внешние* по отношению к массиву горных пород факторы, определяющие его выветривание, эрозию, температурный режим и другие процессы, зависящие от климатических условий, энергии солнечной радиации и др.

Природные эндогенные факторы - это *внутренние* по отношению к массиву горных пород факторы, обусловленные в основном эволюцией Земли как планеты и проявляющиеся в виде тектонических движений, процессов магматизма, метаморфизма и др.

Геомеханические процессы - процессы деформирования и разрушения массива горных пород, возникающие в результате изменения его механического состояния под воздействием природных экзогенных и технологических факторов и достигающие в определенных условиях земной поверхности.

Геодинамические процессы - процессы деформирования и разрушения массива горных пород, возникающие в результате изменения его механического состояния под воздействием природных эндогенных и технологических факторов и достигающие в определенных случаях земной поверхности.

При разработке месторождений открытым способом в массиве горных пород проявляются, главным образом, геомеханические процессы.

При разработке месторождений подземным способом и скважинными методами в массиве горных пород проявляются как геомеханические, так и геодинамические процессы.

Предметом геомеханики как науки являются свойства и состояние массива горных пород с учетом твердой, жидкой и газообразной фаз и их изменения в процессе техногенного воздействия на массив горных пород.

Целью геомеханики как науки является создание гипотез, теорий и методов, позволяющих:

- получать оперативную и надежную информацию о механических свойствах и природном напряженно-деформированном состоянии массива горных пород;

- устанавливать закономерности изменения этого состояния в результате развития в нем процессов деформирования и разрушения под влиянием природных и технологических факторов;

- определять систему технологических методов управления геомеханическими и геодинамическими процессами в массиве горных пород для обеспечения эффективного и безопасного освоения ресурсов недр.

Методы геомеханических исследований основываются на использовании данных математики, физики твердого тела, теории упругости и пластичности, реологии, геологических и горных наук и применяются для решения конкретных задач, которые ставятся перед геомеханикой при недропользовании. Эти методы могут быть разделены на теоретические, эмпирические и полуэмпирические.

Теоретические методы базируются преимущественно на уравнениях, используемых в механике сплошной среды. При этом массив горных пород рассматривается как упругая, пластичная, вязкая, сыпучая или другая идеализированная среда, отличающаяся от реальной. Теоретические методы для инженерных расчетов применяются редко.

В практике недропользования используются в основном эмпирические и полуэмпирические методы расчета. Эмпирические методы базируются на зависимостях, полученных непосредственно из результатов инструментальных наблюдений в натурных условиях, полуэмпирические - на зависимостях, установленных на основании обобщений, теоретических соображений, физических и математических аналогий. Численные значения коэффициентов в расчетных формулах полуэмпирических методов определяются по данным натурных наблюдений.

По объему высокоточных инструментальных наблюдений за развитием геомеханических и геодинамических процессов в различных горно-геологических условиях отечественная школа геомехаников значительно превзошла все научные школы мира. Наблюдения охватывают глубины от земной поверхности до 1200 м, углы падения - от 0 до 90°, размеры выработанного пространства - от единиц до тысячи метров и практически все встречающиеся в природе геомеханические и газодинамические состояния массива [1].

Геомеханические методы исследования массивов горных пород необходимы маркшейдерам для определения безопасных параметров горных выработок как при подземной, так и при открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

2. Связь геомеханики с другими науками

Геомеханика в своих научных основах, методах и средствах изучения массива горных пород и закономерностей процессов, происходящих в нем при недропользовании, тесно взаимодействует с другими научными дисциплинами и, в первую очередь, с горными науками (рисунок 1.1).



Рисунок 1. Связь геомеханики с другими научными дисциплинами

Связь геомеханики с **маркшейдерией** основана на том, что в задачи маркшейдерской службы горных предприятий входят организация и проведение инструментальных наблюдений за процессами сдвижения горных пород, деформациями горных выработок, устойчивым состоянием конструктивных элементов систем разработки, деформациями земной поверхности, зданий и сооружений, за устойчивостью уступов, бортов

карьеров и откосов отвалов. А ведь именно деформации горных пород и силы, вызывающие эти деформации, и являются предметом геомеханики как науки.

Контроль за изменением геомеханического состояния породного массива в процессе освоения недр производится путем проведения, главным образом, маркшейдерских инструментальных наблюдений за деформациями горных пород и земной поверхности. Результаты инструментальных наблюдений используются для решения следующих задач:

- установления правомерности для рассматриваемых условий принятой при расчетах модели деформирования массива;
- определения правильности используемых при расчетах характеристик породного массива;
- уточнения закономерностей развития деформационных процессов и зависимостей его параметров от основных влияющих факторов;
- контроля за развитием деформаций земной поверхности и охраняемых объектов с целью своевременного принятия защитных мероприятий по предотвращению или снижению вредных последствий горных разработок при приближении наблюдаемых деформаций к их допустимым или предельным значениям;
- установления эффективности принимаемых мер защиты;
- определения степени влияния горных работ при возмещении ущерба, нанесенного владельцу подработанного объекта.

Таким образом, между маркшейдерией и геомеханикой существуют не только прямые (как было показано выше), но и обратные связи, поскольку именно маркшейдерская служба обязана перенести в натуру геометрические элементы запроектированных барьерных и предохранительных целиков.

Связь между геомеханикой и **горно-промышленной геологией** проявляется в следующем. Как известно, горно-промышленная геология представляет собой совокупность знаний о процессах, протекающих в геологической среде при техногенном воздействии на недр и закономерностях изменения при этом свойств георесурсов. Геологическая информация используется в геомеханике для прогноза влияния недропользования на состояние природных и промышленных объектов.

Связь между геомеханикой и **горными науками**, объединенными в группу «Геотехнология», заключается в следующем. Из вышеприведенной классификации следует, что геотехнология - это комплекс горных наук об извлечении полезных ископаемых из недр и водоемов или использовании георесурсов тех видов, утилизация которых не предполагает их извлечения (например, подземные полости). Объединяющей идеей группы горных наук «Геотехнология» является выявление научных предпосылок для технических решений, расширяющих и углубляющих возможности горных предприятий, и преобразования недр в целом. Изменения природного напряженно-деформированного состояния массива горных пород обусловлены, в первую

очередь, воздействием технологий, процессов и технических средств, характеризующих геотехнологии. Применение в геотехнологии информации о составе, строении, свойствах и состоянии массива горных пород позволяет научно обосновать и реализовать на практике наиболее эффективные технические решения.

Геомеханика использует для решения свойственных ей задач методы механики и, в частности, **механики сплошной среды**. Такими методами являются методы математической теории упругости, пластичности и теории предельного равновесия. Как отмечено в работе [2], для всех указанных методов общим является то, что первоначально рассматривается состояние и поведение материала в некоторых бесконечно малых объемах, на которые можно мысленно разделить все рассматриваемое тело, иначе говоря, рассматривается процесс в точках тела. Затем математическими методами от состояния в точке переходят к состоянию тела в целом, Т.е. к полному описанию некоторого геомеханического процесса. При этом первоначально мысленно расчлененное на бесконечно малые объемы тело вновь собирается воедино.

Связь геомеханики с **математикой** проявляется в следующем:

- при решении дифференциальных уравнений плоского равновесия совместно с уравнением предельного равновесия среды с трением была получена система дифференциальных уравнений гиперболического типа. Численное и графическое решения этой системы, предложенные В.В. Соколовским и С.С. Голушкевичем, были использованы при оценке предельных состояний массива горных пород вокруг открытых и подземных горных выработок;

- применение вероятностно-статистических методов для оценки и обработки показателей, характеризующих состав, строение, свойства и состояние массива горных пород, значительно повышает надежность предлагаемых инженерных решений.

Связь геомеханики с **геофизикой** заключается в том, что для изучения природного напряженно-деформированного состояния массива горных пород и закономерностей его изменения под влиянием природных и техногенных факторов все более широко применяются геофизические методы, такие, как гравиметрический, электрометрический, звукометрический и др. Естественно, что применению того или иного метода для решения конкретных геомеханических задач должно предшествовать глубокое теоретическое обоснование.

Проведенный краткий анализ показывает, что геомеханика, являясь самостоятельной горной наукой, тесно взаимодействует с другими областями знаний.

3. Краткая история о развитии геомеханики

В истории развития геомеханики можно выделить несколько этапов. Это

деление является до некоторой степени условным, так как результаты исследований, выполненных на одном этапе, продолжаются и развиваются в последующем.

Первый (начальный) этап относится ко второй половине XIX века. В это время началось изучение процесса сдвижения горных пород при подземном способе разработки с помощью простейших инструментальных наблюдений на поверхности и обобщения опыта ведения горных работ. Поскольку горные работы велись тогда на относительно небольших глубинах, механизм сдвижения горных пород над очистной выработкой представлялся в виде оседания всей покрывающей толщи пород как единого целого между двумя поверхностями разрыва, простирающимися от границ очистной выработки до земной поверхности.

С увеличением глубины горных работ было установлено, что размеры зоны сдвижений земной поверхности существенно превышают площадь выработанного пространства. Поэтому было высказано предположение о том, что все точки земной поверхности и породного массива, расположенные над очистной выработкой, опускаются вертикально, а в краевых зонах смещаются по направлению к границам выработки. Над очистной выработкой наблюдаются деформации сжатия, а у краев мульды оседания - деформации растяжения.

К началу XX века относится *второй этап развития геомеханики*. На этом этапе многие авторы предлагали свои гипотезы возникновения горного давления при подземной разработке месторождений полезных ископаемых и обосновывали методы расчета его величины. 1907 году основополагающей отечественной работой, в которой развивалась так называемая «гипотеза свода», явилась монография М.М.Протоdjeяконова «Давление горных пород на рудничную крепь». В это же время получили распространение методы расчета, основанные на использовании положений теории сопротивления материалов и строительной механики.

Третий этап развития геомеханики относится к двадцатым годам XX века и характеризуется применением методов теории упругости к решению проблем горного давления. В 1925-1926 гг. А.Н. Динник [4] впервые предложил использовать теорию упругости для описания напряженно-деформированного состояния горных массивов. Отсюда появилось понятие бокового давления, отличного от нуля, а отношение этого давления к вертикальному горному давлению получило название μ коэффициента бокового давления. Таким образом, в 20-30 годах, прошлого столетия впервые при решении проблем горного давления стали использовать исходные понятия об упругих средах, закон Гука и уравнения равновесия.

Начало *четвертого этапа в развитии* геомеханики в России приурочено к середине тридцатых годов, когда в результате исследований Г.Н. Кузнецова был разработан новый метод моделирования проявлений горного давления с помощью эквивалентных материалов. Применение

методов моделирования позволили получить важную информацию о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород для различных горно-геологических условий и разработать методы расчета деформаций горных пород.

Пятый этап развития геомеханики связан с широко известными работами В.В. Соколовского[5] и С.С.Голушкевича[6] и характеризуется дальнейшим расширением применения аналитических методов для решения геомеханических проблем.

Работы В.В. Соколовского и С.С.Голушкевича послужили основой для разработки многих инженерных методов расчета предельных нагрузок на целики, предельного состояния пород вокруг одиночных горных выработок, вертикальных шахтных стволов и кровли очистных выработок, а также расчета устойчивости уступов и бортов карьеров. Здесь следует отметить значительный вклад Г.Л. Фисенко (ВНИМИ) [7].

Маркшейдеры бывшего СССР хорошо знают, что в 40 годы прошлого столетия в Казахстане зародилась научная школа геомехаников под руководством член-корр. НАН РК Машанова А.Ж., центром которой стал Казахский политехнический институт. А.Ж. Машанов был и остается одним из основателей научного направления в горной науке – геомеханики, актуальной и в настоящее время. Основной заслугой Машанова А.Ж. является создание на базе научного потенциала кафедры маркшейдерского дела КазПТИ (ныне КазНТУ), мощной научно-педагогической школы, на основе которой происходит непрерывный приток в науку молодых и талантливых ученых по схеме «студент - кафедра- наука».

Редкому ученому выпадает судьба быть основателем и главой научной школы. Эта миссия намного значимее, чем достижение какого-либо конкретного научного результата, даже самого выдающегося. Потому что глава научной школы должен быть прежде всего, продолжателем и хранителем всех предшествующих научных направлений в своей области знаний и быть способным по новому их развивать, устремляя в будущее. Научная школа – это многолетнее «дерево», жизнь которого исчисляется поколениями причастных к ней ученых. И нет ничего хуже, если по тем или иным причинам происходит разрыв ветвей. Тогда вся надежда на крепость корня, имя которому – основатель научной школы[8].

Первая научная работа А.Ж.Машанова была связана с изучением сдвижения горных пород и земной поверхности Риддер-Сокольного месторождения под влиянием подземных горных работ. Проявлением процесса сдвижения на этом руднике была искривление (деформация) вертикального ствола шахты «Северная» на Алтае, приведшая к большим затруднениям и затратам.

В это время А.Машанов был молодым специалистом, аспирантом кафедры «Маркшейдерского дела». Его научный руководитель профессор П.А.Рыжов возлагал большие надежды на своего аспиранта Машанова и они

вместе изучают факторы, приведшие к деформированию горных выработок. В ходе исследования А.Машанов анализировал структурные особенности массива методом механики и пришел к выводу, что на деформацию ствола влияют тектонические разрывы. В процессе сдвижения горных пород на земной поверхности появляются трещины. С увеличением размеров трещин сооружения на земной поверхности подвергаются деформации.

Как отмечает А.Ж.Машанов, трещиноватость - это один из важнейших факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород. В изверженных породах, вмещающих рудные месторождения, трещиноватость, как правило, развита в большей степени, чем в осадочных породах, слагающих угольные месторождения. Этим объясняется большой и все возрастающий интерес к изучению трещинной тектоники, проявляемый со стороны исследователей сдвижения горных пород на рудных месторождениях.

А.Ж.Машанов впервые в Советском Союзе обратил внимание на важность изучения трещинной тектоники для решения задач геомеханики и выделяет понятие «скально - трещиноватый массив» [9,10].

В работах [11,12] Карагандинской школы геомехаников, возглавляемой Поповым И.И., рассматриваются способы маркшейдерского контроля за состоянием прибортовых массивов. Отмечается, что приоритетными способами наблюдений, на основе анализа показателя значимости, являются: определение относительных смещений контрольных пунктов автоматически измерительными приборами с дистанционной передачей информации.

В Восточно-Казахстанском государственном техническом университете геомеханические исследования проводятся профессором Ипалаковым Т.Т.

Шестой (современный) этап в развитии геомеханики, начавшийся в 1980-х годах, в значительной мере подвел итоги научных и практических результатов, достигнутых на предыдущих этапах, которые сводятся к следующему.

а) при разработке месторождений подземным способом:

1. Определены основные параметры процесса сдвижения горных пород и земной поверхности в основных угольных и рудных бассейнах республики; допустимые и предельные деформации земной поверхности для гражданских и промышленных зданий, технологического оборудования, транспортных коммуникаций, инженерных сооружений при разработке отдельных пластов.

2. Составлены классификации оценок повреждений объектов в зависимости от деформаций земной поверхности, типов объектов, их конструктивных особенностей и других факторов.

3. Установлены условия безопасной выемки угольных пластов и рудных тел под водными объектами и обводненными породами.

4. Разработаны инженерные методы расчета сдвижений и деформаций земной поверхности при разработке пологих, наклонных и крутых пластов, в том числе в зонах влияния тектонических нарушений.

5. Разработаны методы прогноза вероятных сдвижений и деформаций

при перспективном планировании горных работ.

6. Разработаны горные меры защиты отдельных объектов, включая построение целиков в различных горно-геологических условиях и специальные способы ведения горных работ.

7. Разработаны меры защиты глубоких вертикальных стволов.

8. Обоснованы рациональные и эффективные способы наблюдений за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми объектами при современных глубинах горных разработок.

9. Разработаны методы борьбы с горными ударами.

б) при разработке месторождений открытым способом:

1. Научно обоснованы и разработаны инженерные методы расчета устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов вытянутой и круглой формы.

2. Исследован характер деформирования различных инженерно-геологических комплексов пород, установлены предельные деформации сдвига при различных коэффициентах запаса устойчивости.

3. Оценено влияние на устойчивость бортов карьеров и откосов отвалов особенностей геологического строения массива горных пород, гидрогеологических и горно-технических факторов.

4. Изучены деформации бортов карьеров в различных горно-геологических условиях и причины их возникновения, разработана методика длительных инструментальных маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров.

Необходимо отметить, что в исследовании проблем геомеханики принимало участие большое число научно-исследовательских, учебных и проектных институтов, включая ВНИМИ и его филиалы, ИПКОН РАН, ИГД им. А.А. Скочинского, ВНИПИгорцветмет, Санкт-Петербургского ГТУ, Московский ГГУ, Уральского ГГУ (Россия), Казахский национальный технический университет, Карагандинский государственный технический университет (Казахстан), Ташкенского ГТУ (Узбекистан) и многие другие организации. Усилиями ученых и специалистов создана и утверждена в установленном порядке мощная нормативно-техническая база по геомеханическому обеспечению горных работ.

Достижения отечественных ученых в области геомеханики были отмечены Государственными премиями в области науки и техники:

1971 г. - Разработка и внедрение комплекса мер борьбы с горными ударами на шахтах СССР (И.М. Петухов, Я.А. Бич, А.Н. Омельченко, С.Г. Авершин, Смирнов, А.А. и др.).

1982 г. - Создание научных основ, разработка и внедрение мер предупреждения и борьбы с оползневыми явлениями на разрезах и карьерах при открытом способе добычи полезных ископаемых (Г.Л. Фисенко, А.М. Т.К. Пустовойтова, В.Т. Сапожников, Р.М. Гусев, В.Г. Зотеев, М.Е. Певзнер и др.).

1984 г. - Разработка и создание моделей геомеханических процессов с использованием эквивалентных материалов и применение этих моделей при ведении горных работ и подземном строительстве (Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, В.Н. Земисев, Е.И. Шемякин, А.А. Борисов и др.).

1989 г. - Создание и внедрение методов управления горным давлением при подземной разработке рудных месторождений на основе исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород (И. Айтматов, В.И. Борщ-Компониец, С.В. Кузнецов, М.В.Курленя, В.С. Ямщиков, Г.А. Марков, И.А. Турчанинов и др.).

2007 г. - Развитие методологического обеспечения геомеханики и геоинформационных технологий в области горного дела в РК (М.Б.Нурпеисова Ю.И.Шабдарова).

2011 г.- за ииновационную разарботку «Прогноз поведения массива горных пород и сохранения окружающей среды при освоении недр» (К.Н.Трубецкой, М.А.Июфис, И.В.Милетенко, В.Н.Одинцев (Россия) и М.Б.Нурпеисова, Ж.Ж.Байгурин, Х.М.Касымканова (Казахстан).

Казахстанские ученые горняки и маркшейдеры были в числе первых, применивших теоретические методы геомеханики для решения конкретных вопросов горных предприятий. И в настоящее время исследования в области геомеханики в нашей стране и за рубежом продолжаются. Для успешного ведения исследований в области горного дела, в том числе для управления геомеханическими процессами, происходящими в недрах земли, Вам – будущим недропользователям необходимо знать полезные ископаемые Казахстана.

4. Полезные ископаемые Казахстана

Основным богатством Республики Казахстан является его полезные ископаемые. По оценке ученых ведущих стран мира Казахстан занимает шестое место в мире по запасам природных ресурсов, хотя еще не может использовать это преимущество с наибольшим для себя эффектом. По подсчетам некоторых ученых разведанные недра Казахстана оцениваются примерно в 10 триллионов долларов США.

Свидетельством богатых природных ресурсов Казахстана является, то что из 110 элементов таблицы Менделеева в его недрах выявлены 99, разведаны 70, но пока извлекаются и используются 60 элементов. Казахстан - одна из богатейших стран мира по запасам нефти, газа, титана, магния, олова, урана, золота и других цветных металлов. В мировом масштабе Казахстан уже сейчас является крупнейшим производителем вольфрама, а по его запасам занимает первое место в мире, второе - по запасам хромовых и фосфорных руд, четвертое - свинца и молибдена, восьмое - по общим запасам железной руды (16,6 миллиардов тонн) после Бразилии, Австралии, Канады, США, Индии, России и Украины.

Сегодня ни для кого не секрет, что к Казахстану повышенный интерес проявляют США и страны Западной Европы, а также Турция, Иран, Пакистан, Япония и Китай. Это, прежде всего, объясняется высоким потенциалом республики в стратегических сырьевых ресурсах, в первую очередь нефти и газа.

В Казахстане находится значительная часть мировых запасов медных и полиметаллических руд, никеля, вольфрама, молибдена и многих других редких и редкоземельных металлов. Исключительно важное и мировое значение имеют залежи железных, марганцевых и хромитовых руд.

Обширные размеры, сложная геологическая история и разнообразное устройство поверхности Казахстана обусловили наличие в его недрах многочисленных месторождений полезных ископаемых.

В экономике Казахстана Горно-металлургический комплекс (ГМК) играет важную роль. С 2005 года Казахстан входит в число 11 ведущих стран мира, занимающихся освоением и переработкой руд и минералов, и 9 место по количеству видов перерабатываемых полезных ископаемых. Несомненно, важным фактором подъема ГМК Республики Казахстан послужило богатство ее мощная минерально-сырьевая база, в развитии которой существенный вклад внесли геологи, горняки и металлургии нашей страны, как К.И.Сатпаев, А.Ж.Машанов, О.А.Байконуров, Е.А.Букетов и др.

Это всемирноизвестный крупнейший геолог, академик Академии наук СССР К.И.Сатпаев, чье имя носит наш КазНТУ.

Это ученый энциклопедист, горный инженер-геолог, академик НАН РК А.Ж.Машанов, чье имя носит естественно-гуманитарный институт нашего университета.

Это горный инженер, академик НАН РК О.А.Байконуров, чье имя носит наш горно-металлургический институт

Это инженер-металлург, академик НАН РК Е.А.Букетов, чье имя носит Карагандинский государственный университет.

За последние годы в Казахстане были значительно увеличены добыча железной руды, бокситов, золотосодержащей руды, каменного угля.

Основными горно-металлургическими предприятиями являются: «КАЗАХМЫС» -медная компания, «КАЗЦИНК» -производитель цинка, «КАЗХРОМ» -добыча хрома, «КАЗФОСФАТ» -производство удобрений, «КАЗАТОМПРОМ» -добыча урана и др.Одновременно с этим благодаря строительству медеплавильного завода и реконструкция свинцового производства Усть-Каменогорского металлургического комплекса, строительству золотоизвлекательной фабрики («Altyntau Kokshetau»,

(мощностью - 250 тыс. тонн первичного алюминия в год) был увеличен выпуск металлов.

Месторождения золота выявлены во всех регионах Казахстана, по уровню запасов лидирующее положение занимают Восточный, Северный и Центральный Казахстан. Золоторудные и золотосодержащие месторождения

локализованы в 16 горнорудных районах, важнейшими из которых являются: в Восточном Казахстане (месторождения Бакырчик, Большевик, Риддер-Сокольное и др.); в Северном Казахстане (месторождения Васильковское, Жобымбет, Бестобе и др.); в Южном Казахстане (Акбакай, Бескемпир, Архарлы и др.); в Центральном Казахстане (Майкаин, Божекуль, Саяк IV, Долинное и др.); в Западном Казахстане (Жетыгара, Комаровское, Юбилейное и др.).

Итак, наша отрасль находится на подъеме. Объем добычи золота в Казахстане вырос на 72,2% в январе-апреле 2011 года по сравнению с аналогичным периодом 2010 года. В 2012 году объем производства необработанного золота в Казахстане составил 29,9 тонн, в том числе золото аффинированное – 13,3 тонн. Министерство индустрии и новых технологий ставит задачу к 2014 году выйти на производство золота свыше 70 тонн ежегодно. Месторождения золота выявлены во всех регионах Казахстана, по уровню запасов лидирующее положение занимают Восточный, Северный и Центральный Казахстан (таблица).

Подземная добыча золота или площадки его кучного выщелачивания – это та производственная инфраструктура, где сегодня в Казахстане добывается самое надежное средство против экономических неурядиц. Почти непредсказуемая переменчивость мировых фондовых рынков, наблюдавших в последние годы, рост инфляции заставили наше Правительство, банковский сектор и бизнесменов вновь обратить внимание на золото как на один из наиболее стабильных участков для инвестирования.

Таблица. Крупные и потенциально крупные месторождения золота Казахстана

Восточный Казахстан	Бакырчик, Большевик, Васильевское, Риддер-Сокольное, Суздальское, Секисовское
Центральный Казахстан	Аксу, Жолымбет, Бестюбе, Енбекши, Майкаин, Божекуль, Саяк I У, Долинное
Северный Казахстан	Васильковское, Узбой, Сымбат, Комаровское, Элеваторное, Аккаргинское, Варваринское
Западный Казахстан	Юбилейное
Южный Казахстан	Акбакайское, Мынарал, Жаркулак, Карамурун, Архарлы

В этом контексте весьма ценными являются запасы казахстанского золота, сосредоточенных в 237 месторождениях, таких какие показаны в таблице. Среди инновационных проектов последних лет следует отметить строительство золотоизвлекательной фабрики (ТОО «Altyntau - Kokshetau», мощность - 15 тонн золота в год). «Altyntau - Kokshetau» » основана в 2011 году и является правопреемником АО «Васильковский ГОК».

Главный актив Компании – месторождение мирового класса Васильковское. Месторождение расположено в Акмолинской области, Республика Казахстан, в 17 км к северу от г. Кокшетау, разрабатывается открытым способом. Обеспеченность запасами добычи на месторождении составляет около 22 лет и производство 252 т золота за весь период. Переработка в настоящее время проводится на установке кучного выщелачивания.

На сегодняшний день золоторудное предприятие ТОО «Altyntau-Koshetau» также является передовым предприятием по внедрению новой техники и технологий в горное производство, в частности по технологиям относящийся к геомеханическим проблемам. В результате технического перевооружения маркшейдерского отдела, а также развития горного производства в отделе создана геомеханическая служба, которая контролирует деформации прибортового массива, предупреждает опасные зоны (оползневые локальные участки) и следит за устойчивостью уступов и бортов карьера. В маркшейдерском отделе имеется все необходимое приборы, компьютеры и программы для анализа и контроля за уступами и бортами карьера. Имеется система Geomos, программные продукты фирмы Surpac, инструментальные и измерительные приборы Leica, которые помогают работе геомеханика.

Ведется систематическое наблюдение с помощью роботизированного тахеометра фирмы Leica, а мониторинг контролируется с помощью программы GeoMos. В целом, как применение новых приборов и систем контроля за устойчивостью бортов карьера, так и анализа причин возникновения деформаций, можно качественно управлять состоянием массива.

Призрачно все... Кроме золота. Когда падает мировая валюта, разражаются финансовые кризисы, до людей доходит: доллар - зеленая бумажка, а золото остается в цене при любом раскладе. Помня простую истину, пытались вспомнить, насколько богаты закрома Республики Казахстан благородным металлом. Оказалось, в одном Северном Казахстане открыто 41 (!) месторождение.

Контрольные вопросы:

1. Содержание и задачи предмета геомеханики
2. Что такое структура горных пород?
3. Что такое геомеханические процессы?
4. Что такое геодинамические процессы?
5. Связь геомеханики с другими науками.
6. Краткая история развития геомеханики
7. Развитие науки геомеханики в Казахстане
8. Научные школы геомеханики

9. Роль ученых Республики Казахстан в развитии горно-металлургического комплекса.
10. Полезные ископаемые Казахстана

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

1.1 Состав и строение горных пород

Горные породы считаются изученными, если определены их состав, строение, свойства и состояние, а также зависимости, связывающие эти характеристики между собой с учетом фактора времени.

При исследовании состава горных пород в зависимости от поставленных задач определяют: *гранулометрический, микроагрегатный, минеральный и химический составы.*

Под *гранулометрическим* составом понимают содержание в породе частиц различной крупности (фракций), выраженное в про центах к массе абсолютно сухой породы. Классификация горных пород по гранулометрическому составу приведена в табл. 2.1.

Таблица 1.1. Классификация горных пород по гранулометрическому составу

Горные породы	Содержание частиц, %		
	глинистые	пылеватых	песчаных
Глина тяжелая	Более 60	-	
Глина	60-30	-	
Глина пылеватая	Менее 30	Более, чем в каждой из двух остальных групп порознь	Менее, чем пылеватых
Суглинок: тяжелый, пылеватый	30-20	более, чем песчаных	Менее, чем пылеватых
тяжелый	30-20		
средний	20-15		
пылеватый средний	15-10		
пылеватый легкий	15-10		
Супесь: тяжелая	10-6	более, чем песчаных	Менее, чем пылеватых
пылеватая тяжелая	10-6		
легкая	6-3		
пылевая легкая	6-3		
Песок	менее 3	менее 20	-
песок пылеватый	менее 3	20-30	-
пыль	менее 3	более 50	-

Микроагрегатный состав породы - содержание в ней микроагрегатов (сочетание органических и минеральных частиц) различной крупности, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой породы.

Микроагрегатный состав дает представление о природной дисперсности

горной породы, т. е. степени дисперсности. В зависимости от степени дисперсности выделяют [13] следующие системы: грубые дисперсии с размером частиц менее 0,002 мм; тонкие дисперсии - 0,002-0,0001 мм; коллоиды - 0,0001-0,000001 мм; молекулярные системы - менее 0,000001 мм. Чем больше дисперсность тела, тем более активно оно может взаимодействовать при определенных условиях с дисперсионной средой на границе раздела фаз.

Сопоставление данных гранулометрического и микроагрегатного анализов позволяет определить характер преобладающих структурных связей в горной породе.

Под *минеральным* составом горной породы понимается содержание в ней различных минералов, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой породы. По минеральному составу твердые горные породы разделяют [14] на мономинеральные (мрамор, гипс и др.) и полиминеральные (большинство горных пород). При изучении минерального состава горных пород определяют содержание в породе тех или иных минералов, характер взаимоотношений минералов с другими компонентами, тип кристаллов и вид продуктов разложения. Для осадочных сцементированных пород особую важность приобретает состав, степень и характер выветрелости их обломочной части (обломочный материал + цемент). При исследовании связных горных пород необходимо изучить минеральный состав их глинистой фракции.

Как известно, глины слагаются преимущественно чрезвычайно мелкими кристаллическими частицами (« 0,002 мм) небольшой группы минералов, получивших название глинистых.

Это главным образом водные алюмосиликаты, причем в некоторых из них алюминий полностью или частично замещен магнием или железом, а в других в больших или меньших количествах присутствуют щелочи или щелочные земли. Иногда глины состоят из одного глинистого минерала, а иногда это смесь глинистых минералов. Основными глинистыми минералами являются: монтмориллонит, каолинит и гидрослюда. Кроме глинистых минералов, глины нередко содержат различные количества так называемых неглинистых минералов - кварца, кальцита, полевого шпата и др. Во многих глинах присутствуют органическое вещество и растворимые в воде соли.

Химический состав горной породы - содержание химических элементов и соединений в породе, выраженное в процентах по отношению к массе абсолютно сухой породы. Химический состав горной породы изучается главным образом для определения ее вещественного состава, геохимических условий образования, степени развития процессов выветривания и выбора химического способа укрепления породного массива.

Принято считать, что в составе горной породы обычно присутствуют (в тех или иных количествах) и должны быть определены такие компоненты, как SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , H_2O , P_2O_5 , SO_4 , CO_2 , $\text{C}_{\text{орг}}$.

Строение горной породы определяется ее структурой, текстурой и пористостью. Под структурой подразумевают те особенности строения горной породы, которые обуславливаются размерами, формой и взаимными

отношениями составных частей породы (минералов, а также стекла).

Структура зависит:

- от степени кристалличности, т.е. индивидуализации кристаллических элементов, и относительного количества стекла;
- от абсолютной и относительной величин составных частей;
- от формы составных частей (их кристаллографического облика; степени идиоморфизма и других особенностей, обусловленных взаимным отношением, зависящим от последовательности образования, одновременной кристаллизации, распада твердых растворов; изменения формы до окончания застывания).

Для осадочных сцементированных пород в зависимости от размера зерен выделяют следующие типы структур: псефитовая (грубообломочная) >2 мм; псаммитовая (песчаная) $2-0,05$ мм; алевритовая $0,05-0,001$ мм, пелитовая (глинистая) $< 0,001$ мм; смешанная, для которой размер обломков изменяется в большом диапазоне.

Для метаморфических пород выделены следующие типы структур и их отличительные признаки: гранобластовая - изометрические зерна различной формы; роговиковая - мелкие кристаллы с простыми полигональными очертаниями плотно уложены друг к другу; сутурная, или зубчатая, - кристаллы зубчатых очертаний; милонитовая - сочетание обломков кристаллов первоначальной исходной породы с тонкоперетертым поляризующим материалом; лепидобластовая - ориентированные в одном направлении чешуи и пластины преобладающих материалов; волокнистая - тонкие волокна одного или нескольких минералов.

Текстура горной породы определяется распространением и расположением ее составных частей в пространстве. Текстура зависит:

- от расположения и распределения частей вследствие особенностей кристаллизации и внешних воздействий;
- от способа заполнения пространства массой породы вследствие процессов, происходящих в расплаве до застывания или во время кристаллизации;
- от формы отдельности, возникающей вследствие охлаждения застывшего расплава или под влиянием внешних воздействий во время кристаллизации и после ее окончания.

Основные типы текстур магматических пород: массивная, флюидальная, сланцеватая (ленточная) и пузыристая.

Основные типы текстур метаморфических пород: сланцеватая, гнейсовая, очковая и плейчатая.

В зависимости от взаимной ориентировки частиц различают в инженерно-геологической практике три основных типа текстур осадочных пород: беспорядочную, микрослоистую (включая плейчатую) и флюидальную.

Под *пористостью* горной породы подразумевается совокупность отдельных пустот, заключенных между твердыми минералами и различающихся по происхождению, форме и размерам.

Различают открытую, закрытую, эффективную и общую пористость.

Открытая пористость определяется суммарным объемом пор V_a , сообщающихся между собой и атмосферой, и оценивается коэффициентом

открытой пористости $K_{n.a}$:

(1.1)

где V - общий объем породы.

Закрытая пористость определяется суммарным объемом закрытых пустот V_z и оценивается коэффициентом закрытой пористости $K_{п.з}$:

(1.2)

Эффективная пористость V_z - пористость, при которой возможно течение жидкостей и газов под воздействием обычных в природе градиентов давления.

Коэффициент эффективной пористости

(1.3)

Общая пористость V_a определяется суммарным объемом закрытых и открытых пустот и оценивается коэффициентом общей пористости $K_{a.n}$:

(1.4)

(1.5)

1.2. Свойства горных пород

Особую роль при изучении геомеханических процессов в массиве горных пород играют их свойства, поскольку они во многом определяют способ вскрытия месторождения, систему разработки, средства механизации, параметры взрывных работ и непосредственно влияют на устойчивость подземных выработок и откосов на карьерах.

Свойство горной породы характеризует какую-либо ее качественную сторону и проявляется при воздействии на горную породу внешних полей, обусловленных природными явлениями или технологическими процессами. Свойства горной породы объективно отражают ее состояние, состав, строение и геологическую историю. Для количественной характеристики свойств горных пород (в зависимости от задач, выдвигаемых практикой) используются те или иные показатели.

1.2.1 Классификация свойства горных пород

Количественные характеристики свойств горных пород изучаются на основе их классификации, позволяющей систематизировать данную область знаний и выявить внутренние закономерные связи между классифицируемыми подразделениями.

Как известно, классификация непосредственно связана с двумя логическими операциями: делением объема понятия и классифицированием, т.

е. упорядочением объектов по классам. Сложность создания классификации свойств горных пород обусловлена рядом обстоятельств:

- во-первых, природа свойств горных пород чрезвычайно сложна, а любая классификация в той или иной мере имеет формальный подход;

- во-вторых, в реальных условиях горная порода может находиться (и часто находится) под одновременным воздействием нескольких полей, а это, в свою очередь, может изменить те свойства пород, которые проявлялись при раздельном воздействии полей, и открыть качественно новые свойства;

- в третьих, совершенствование аппаратуры и методов изучения горных пород позволит получить дополнительные количественные характеристики их свойств, не учтенные в классификации.

В современной научно-технической литературе известен ряд классификаций свойств горных пород.

В.В. Ржевский и Г.Я. Новик [15] делят физические свойства горных пород на плотностные, механические, акустические, гидравлические и газодинамические, термические, электромагнитные (в том числе, радиационные), технологические.

И.А. Турчанинов [16] выделяет 5 классов свойств: плотностные (гравитационные, структурные), механические (прочностные, акустические, реологические, горно-технические), тепловые (свойства состояния, константы фазового перехода), электромагнитные (электрические, магнитные), радиоактивные.

В инженерной геологии свойства пород разделяют на три класса: физико-химические (дисперсность, электропроводность пород и величина электрического заряда частиц, емкость обменного поглощения и состав обменных катионов), физические (удельный и объемный веса, пористость, теплофизические свойства, водоудержание, влагоемкость, набухание и усадка, пластичность и липкость, проницаемость, плавунность и тиксотропия) и механические (деформационные и прочностные характеристики).

М.М. Протодяконов [17] выделяет следующие классы свойств горных пород: механические, гидравлические, пневматические, тепловые, электрические и магнитные, химические, ядерные, технологические.

В.Д. Ломтадзе [13] классифицирует физико-механические свойства горных пород на физические (удельный и объемный веса, пористость, влажность), водные (водоустойчивость, влагоемкость, капиллярность, водопроницаемость), механические (прочность, реологические и компрессионные свойства).

Сравнительный анализ этих классификаций позволил выявить следующие характерные недостатки:

- отсутствие ясно выраженного классификационного принципа для отнесения свойств пород в ту или иную группу;

- нечеткость в терминологии, заключающуюся главным образом в том, что свойство горной породы отождествляется в классификации с показателем, характеризующим данное свойство в количественном отношении.

В данном учебнике изложена классификация, разработанная М.Е. Певзнером [18], позволяющая избежать недостатков, присущих ранее

проанализированным классификациям. Построение этой классификации осуществлено по следующей схеме: тип свойств - класс свойств - свойство - показатель, характеризующий свойство в количественном отношении.

Основным классификационным признаком, на основании которого могут быть разделены свойств горных пород, является тип материального поля, воздействующего на горную породу. Термин «поле» обычно употребляется в физике для обозначения части пространства или всего пространства, в котором рассматривается некоторое физическое явление. Во всех случаях, когда речь идет о процессе, характеризующемся скалярной величиной (температура, давление и т. п.), поле называется скалярным. Если же изучаемый процесс характеризуется векторной величиной, то поле называется векторным. Вектор всегда можно рассматривать как силу, и потому векторное поле еще называется силовым.

Рассматривая реальные условия существования горных пород, под термином «поле» следует понимать часть пространства, внутри которого имеют место характерные изменения горной породы.

Выделяются поля двух типов и соответственно два типа свойств горных пород:

- химические, т. е. такие поля, при взаимодействии с которыми происходит химическое превращение горной породы. Свойства, которые у нее при этом проявляются, называются *химическими*;

- физические, т. е. такие поля, взаимодействуя с которыми горная порода не претерпевает химического превращения. Свойства, которые при этом проявляются у горной породы, называются *физическими*.

Под химическим превращением горной породы понимается такое превращение, при котором в соответствии с особыми химическими закономерностями происходит изменение ее состава. Химическое превращение происходит на атомном (в нижнем пределе) уровне и осуществляется в процессе особых взаимодействий определенных структурных частиц вещества (атомы, молекулы, ионы, радикалы); химическое превращение сопровождается возникновением или перераспределением специфической химической связи.

К числу химических свойств горных пород относятся: способность к окислительно-восстановительным реакциям, растворимость, хемосорбция и др. Подробный анализ и классификация химических свойств горных пород не являются предметом настоящего учебника.

Физические свойства горных пород, проявляющиеся во взаимодействии с определенными физическими полями, могут быть разделены на 8 классов: гравитационные; гидравлические; механические; акустические; тепловые; электрические; магнитные; радиационные.

В свою очередь, в каждом классе выделяются свойства, характеризующие различные аспекты взаимодействия горной породы с данным физическим полем.

В данном учебнике кратко рассмотрены 7 вышеперечисленных классов физических свойств и более подробно проанализирован класс механических свойств.

К классу *гравитационных* свойств горных пород, проявляющихся при

взаимодействии с гравитационным полем сил Земли, относятся вес и плотность.

Под **гидравлическими** свойствами горных пород понимается класс свойств, которые проявляются у горной породы при взаимодействии с движущимися или находящимися в состоянии относительного покоя жидкостями, парами и газами. К гидравлическим свойствам горных пород относятся: влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость, водоустойчивость, капиллярность, набухание, усадка, просадочность, липкость, смачиваемость, адсорбция и абсорбция.

Акустические свойства - свойства, которые проявляются у горной породы при прохождении через нее звуковых волн. В число акустических входят: акустическая проводимость и акустическое поглощение.

Тепловые свойства проявляются в горной породе при взаимодействии с тепловым полем. К числу тепловых свойств относятся теплопроводность, теплоемкость, тепловое расширение (сжатие), способность к фазовым превращениям.

Электрические свойства проявляются у горных пород при взаимодействии с электрическим полем. В число электрических свойств входят: электропроводность, электрическая прочность и поляризация.

Магнитные свойства проявляются у горной породы при взаимодействии с магнитным полем. К магнитным свойствам горных пород относятся магнитная восприимчивость и остаточная намагниченность.

В класс **радиационных** свойств входят свойства горных пород, проявляющиеся при взаимодействии с полем радиации: естественная радиоактивность и поглощающая способность.

1.2.2 Классификация механических свойств горных пород

Для изучения напряженно-деформированного состояния и происходящих в нем геомеханических процессов, а также для разработки эффективных методов управления ими важно знать **механические** свойства горных пород и особенно их прочность (табл. 1.2)

Упругость - способность горной породы восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры.

Пластичность - способность горной породы изменять форму без разрыва сплошности при силовом воздействии и сохранять эту форму при устранении действующих сил.

Компрессионная способность - способность горной породы к уменьшению объема при вертикальной нагрузке в условиях невозможности бокового расширения.

Хрупкость - способность горной породы к накоплению упругих деформаций и внезапному разрушению без заметной пластической деформации.

Ползучесть - способность горной породы длительно деформироваться во времени при постоянной нагрузке.

Прочность - способность горной породы сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

Таблица 1.2. Классификация механических свойств горных пород

Механические свойства	Показатели, характеризующие механические свойства горных пород
Упругость	Модуль упругости Коэффициент Пуассона Модуль сдвига Коэффициент всестороннего сжатия
Пластичность	Коэффициент пластичности Степень пластичности Верхний предел пластичности Нижний предел пластичности
Компрессионная способность	Коэффициент уплотнения Модуль осадки Модуль полной деформации Коэффициент консолидации
Хрупкость	Коэффициент хрупкости
Ползучесть	Реологическое уравнение
Прочность	Предел прочности при одноосном сжатии Предел прочности при одноосном растяжении Угол внутреннего трения, сцепление Предел прочности при изгибе Коэффициент крепости Несущая способность
Твердость	Показатель статической твердости Показатель динамической твердости
Абразивность	Величина абразивности Относительная износостойкость породы Показатель абразивности Коэффициент абразивности
Тиксотропность	Величина чувствительности Предел структурной прочности
Вязкость разрушения	Коэффициент интенсивности напряжений Энергия деформации

Твердость - способность горной породы оказывать сопротивление локальному воздействию.

Абразивность - способность горной породы к истиранию поверхности трущихся о нее предметов при механическом воздействии.

Тиксотропность - способность горных пород, содержащих коллоидные фракции, к обратимым переходам из твердого состояния в жидкое под воздействием динамической нагрузки при неизменной влажности и температуре.

Вязкость разрушения - свойство горной породы сопротивляться продвижению (развитию) в ней трещины.

1.3 Определение прочностных свойств горных пород

1.3.1 Определение прочности пород в лабораторных условиях

Отечественными и зарубежными учеными разработано большое число методик и приборов для изучения прочности горных пород в лабораторных и натурных условиях.

Комплексное определение пределов прочности при многократном раскалывании и сжатии. Это испытание проводится методом раздавливания и раскалывания. В настоящее время этот метод нашел широкое применение при испытании различных типов горных пород. Обоснование применения данного метода и оценка достоверности получаемых при этом результатов подробно изложены в работе Е. И.Ильницкой и др. [19].

Подготовка образцов осуществляется путем выпиливания пластин любой формы толщиной 2-3 см с двумя параллельными шлифованными поверхностями. Испытание образцов сводится к раскалыванию пластин соосными клиньями или цилиндрическими стержнями небольшого диаметра, оси которых перпендикулярны к направлению действующих усилий. Прикладываемая к образцу с двух сторон линейно сосредоточенная нагрузка приводит к его разрыву по поверхности контакта породы с клиньями или стержнями.

Предел прочности образца горной породы при раскалывании

$$\sigma_p = P_{max} / (2l) \quad (1.6)$$

где P_{max} - максимальная разрушающая нагрузка при раскалывании, кгс;
 l - длина линии раскола, см.

Для обозначения физических величин и их единиц в учебнике использованы системы СГС и СИ ($1 \text{ кг} \approx 10 \text{ Н}$; $1 \text{ кгс/м}^2 = 10 \text{ Па}$; $1 \text{ кгс/см}^2 = 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа}$)

Предел прочности образца горной породы при сжатии

$$(1.7)$$

где $P_{\max}$ - максимальная разрушающая нагрузка при сжатии, кгс;
 F - средняя площадь поперечного сечения образца породы, см^2 .

Метод испытаний образцов в косых матрицах. Сущность метода заключается в том, что отобранные и приготовленные из кернов образцы цилиндрической формы ($d = h$) взвешивают и измеряют. Затем образцы делят на две группы. Первую группу срезают под углом 60° , вторую - под углом 45° .

Нормальные и касательные напряжения при срезе вычисляются по формулам

$$\sigma_m = \frac{P}{S} \cdot \cos \alpha ; \quad \tau = \frac{P}{S} \cdot \sin \alpha \quad (1.8)$$

где P - усилие при срезе, создаваемое прессом: кг; S - площадь среза, см^2 ;

α - угол между направлением усилия и нормалью к плоскости среза, градус.

Дальнейшая обработка результатов заключается в следующем: по формулам (1.8) определяют среднеарифметические значения τ , σ для первой и второй групп образцов каждой изучаемой литологической разности. В системе координат τ , σ строят зависимость $\tau = f(\sigma)$, имеющую вид прямой и рассматриваемую как огибающую к предельным кругам напряжений на участке между радиусами-векторами, наклоненными к оси абсцисс под углами 45° и 60° .

1.3.2. Определение прочности пород на сдвиг в натурных условиях с помощью гидродомкрата

Прочность и устойчивость массива горных пород зависят от слоистости, сланцеватости, трещиноватости, тектонических нарушений и других ослаблений, связанных с образованием и условиями залегания этих отложений. Поэтому необходимо проводить испытания на сдвиг больших призм непосредственно в массиве горных пород, т. е. в условиях их естественного залегания.

Для натурных испытаний прочности горных пород применяют следующий комплект оборудования: гидродомкрат конструкции ВНИМИ, рабочая площадь поршня которого $F = 606 \text{ см}^2$ (рис. 1.1), пластины размером $40 \times 50 \text{ см}$ с упорами для фиксации гидродомкрата, ручной поршневой насос ГН-60.

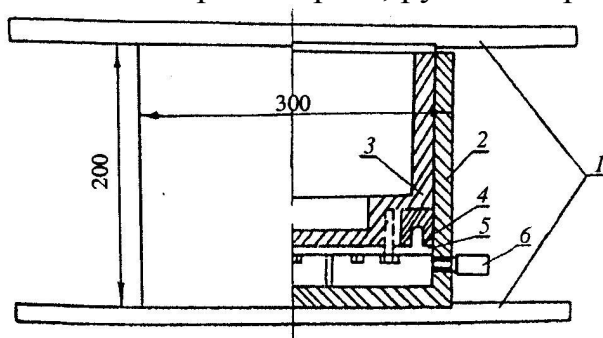


Рис.1.1. Гидравлический домкрат ВНИМИ:

1-плиты; 2-внешний цилиндр; 3-поршень; 4-манжета; 5-кольцо; 6-штуцер.

Гидродомкрат предварительно тарируется на прессе для определения коэффициента передачи давления t . Гидродомкрат с накладными плитами в сжатом виде вставляется в заранее подготовленную щель в массиве уступа, а пустоты между плитами и поверхностями щели забутовываются сухим мелким песком и кусками глины. При этом производится замер всех элементов породной призмы (размеры граней, углы их наклона).

Затем в гидродомкрат с помощью насоса подается рабочая жидкость (веретенное масло). Увеличение давления на призму прослеживается по манометру, установленному на насосе. Опыт считается законченным, когда давление перестает возрастать или начинает падать. При этом обычно наблюдаются внешние признаки разрушения призмы. Далее гидродомкрат извлекается из щели и производится разборка срезанной призмы до обнажения поверхности среза. После разрушения призмы производятся замеры ее элементов, структуры массива и отбираются пробы на влажность.

Натурные исследования следует проводить по двум схемам.

Схема А - схема косого среза, когда нормальные и касательные напряжения создаются одновременно одной нагрузкой, направленной под углом к плоскости сдвига (рис. 1.2).

Схема Б - схема плоского среза, когда касательные напряжения создаются нагрузкой, направленной параллельно плоскости среза (рис. 1.3).

По схеме А испытания проводятся непосредственно в уступе и на рабочей площадке, по схеме Б - только на площадке.

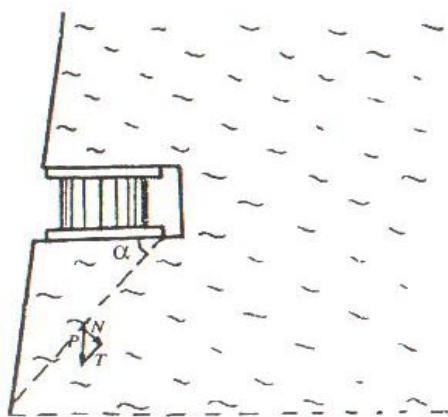


Рис.1.2.Натурные испытания прочности пород по схеме А

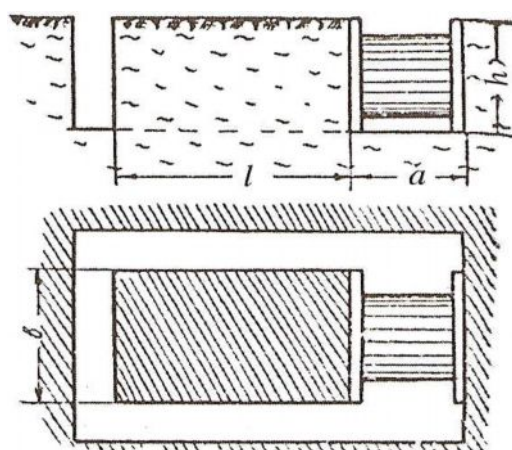


Рис.1.3.Натурные испытания прочности пород по схеме Б

При проведении испытаний по схеме А рекомендуется определять усилие, передающееся на плоскость среза, по выражению

$$P = D \cdot F \cdot t + \Delta P \quad (1.9)$$

где D - удельное давление жидкости в гидродомкрате, кг/см^2 ;

F - площадь цилиндра гидродомкрата, см^2 ; t - коэффициент передачи давления (по результатам тарировки гидродомкрата); ΔP - поправка за счет веса призмы и гидродомкрата.

При определении сцепления k и угла внутреннего трения ρ по поверхности ослабления исходят из условия прочности

$$\tau = k + \sigma \cdot t \cdot g\rho \quad (1.10)$$

1.3.3 Результаты определения прочностных свойств пород

Многочисленными исследованиями [7,12,18, 20,21] установлено, что угол внутреннего трения ρ' по шероховатым поверхностям лишь на $1-3^\circ$ меньше, чем угол трения по плоским поверхностям породных контактов, полученный по лабораторным испытаниям, поэтому показатели лабораторных испытаний угла трения ρ' могут использоваться для расчета устойчивости массива, когда поверхность массива не совпадает со сплошными трещинами массива. Плотность пород γ с достаточной точностью определяется по кернам геологических скважин, поэтому в расчетах на устойчивость значения плотности для всех разновидностей горных пород принимались на основе лабораторных испытаний.

Однако многолетний опыт работы ВНИМИ по изучению сцепления в горном массиве и куске для крепких пород по поверхностям, не совпадающим с поверхностями ослабления, позволил установить эмпирическую зависимость между сцеплением в массиве, сохранившем сцепление по трещинам, и сцеплением в куске следующего вида:

$$k_M = k' + (k_0 - k') \cdot \lambda_0 \quad (1.11)$$

где k_0 - сцепление в образце, МПа; k' - сцепление по трещинам, МПа.

Так как сцепление по трещинам k' часто оказывается неисследованной величиной, его принимают равным нулю и выражение (1.11) запишется в виде:

$$k_M = k_0 \cdot \lambda \quad (1.12)$$

Коэффициент λ для различных литологических типов пород в зависимости от глубины залегания величины сцепления в монолите определяется по Г.Л.Фисенко [7].

На величину сцепления в массиве влияет интенсивность трещиноватости пород, размер и форма деформирующихся блоков. Величина сцепления в образцах отдельных разновидностей пород в несколько раз превышает сцепление в массиве, поэтому в полученные в лабораторных условиях

значения сцепление твердых пород необходимо вводить так называемый коэффициент структурного ослабления λ , который определяется из выражения [7]:

$$\lambda = \frac{1}{1 + a \cdot \ln \frac{H}{l}}, \quad (1.13)$$

где H - глубина залегания пород, м; l - средний размер элементарного структурного блока, м; a - коэффициент, зависящий от прочности пород в монолитном образце и характера трещиноватости (таблица 1.3).

Таблица 1.3- Значения коэффициента (a) для скальных и полускальных пород

Наименование пород и характер трещиноватости	Величина сцепления в образце C , кг/см ²	Величина коэффициента a
Средней крепости слоистые, преимущественно нормально-секущей трещиноватости.	100-150	3
	150-170	4
	170-200	5
Крепкие, преимущественно нормальносекущие	200-300	6
	300	7
Крепкие изверженные с развитой кососекущей трещиноватостью	200	10

Сотрудниками ВНИМИ [7, 22,23] разработано классификация горных пород по устойчивости в бортах карьеров, основанная на учете прочности пород в образце, характеристики и степени трещиноватости, выветриваемости (стойкости) и растворяемости, склонность к разуплотнению и набуханию, а также к пластическим деформациям (ползучести). В этой классификации в зависимости от прочностных свойств все горные породы разделены на пять групп. При этом границей между крепкими и средней крепости породами принято $\sigma_{сж}$ в образце, равное 80 МПа. Это объясняется тем, что если у пород $\sigma_{сж} > 80$ МПа, то углы наклона бортов при их средней глубине 200-300 м. зависят только от залегания элементов поверхностей ослабления и не зависят от прочности пород в образце. Границей между породами полускальными (средней прочности) и связанными глинистыми (слабыми) принято $\sigma_{сж} = 8$ МПа из тех соображении в них напряжений и наличии подтока воды, и подвергаются пластическим деформациям при глубине карьеров более 200 м.

В таблице 1.4 приведены величины сцепления по поверхностям ослабления по Л.Г. Фисенко.

Таблица 1.4 – Величины сцепления по поверхностям ослабления

Поверхности ослабления	Величины сцепления κ МПа
Поверхности скольжения по контактам слоев	0,02 – 0,05
Контакты слоев слабо-рассланцеванная	0,10 – 0,18
Сплошные трещины и тектонические нарушения	0,05 – 0,10

В таблице 1.5 приведены значения прочностных свойств горных пород ряда месторождений с учетом коэффициента структурного ослабления, установленного Л.Г.Фисенко.

Таблица 1.5 - прочностные свойства горных пород

№№ п/п	Основные типы горных пород	Плот- ность т/м ³	Прочностные характеристи ки в образцах		Прочностные характеристи ки в массиве		Коэффиц. структурного ослабления по Г.Л.Фисенко
			К _о , МПа	ρ _о , град	К _м , МПа	ρ _м , град	
Месторождение Коунрад							
1	Вторичные кварцит.	2,6	3,7	34	0,62	25	0,017
2	Гранодиорит-порф.	2,53	3,0	35	0,52	26	0,017
Месторождение Акжал							
1	Массивные известн..	2,68	2,8	31	0,51	23	0,017
2	Известняки скарнир.	2,66	3,0	31	0,51	23	0,017
3	Диорит-порфириты	2,7	3,6	30	0,62	22	0,017
4	Порфириты	2,7	4,0	30	0,68	22	0,017
5	Известняк	2,7	4,4	30	0,76	22	0,017
6	Известняк	2,7	5,3	30	0,90	22	0,017
Месторождение Саяк							
1	Туфоалевролиты	2,7	6,6	31	0,66	23	0,01
2	Песчаники	2,7	3,4	33	0,34	26	0,01
3	Мрамор	2,7	4,11	31	0,41	23	0,01
4	Гранатовые скарны	2,9	6,3	32	0,63	24	0,01
5	Диориты кварцитов.	2,9	7,6	28	0,76	21	0,01
Месторождение Родниковое							
1	Риод.порфириты	2,7	6,82	34	0,68	27	0,01
2	Диоритовые порфи.	2,7	6,27	33	0,63	26	0,01
3	Андезит- порфир.	2,7	5,46	32	0,55	24	0,01

Механические свойства горных пород и руды месторождений бассейна Каратау (Чулактау, Аксай и Жанатас) изучались совместно с сотрудниками Государственного института горно-химического сырья (ГИГХСа) [18]. Результаты этих исследований сведены в таблицы 1.7, 1.8, 1.9.

Таблица 1.7. Прочностные свойства пород месторождения Чулактау

Показатели	Кремни	Фосфориты	Доломиты	Глинисто-крем. сланцы
1	2	3	4	5
Твердость по Шору	96,7	81	54	84
Коэффициент крепости - f	10	10	8,7	6
Твердость по штампу кг/см ²	-	-		-
Условный предел текучести, кг/см ²	40	12,5	15,0	-
Коэффициент пластичности	1,5	4,1	2,8	1,5
Коэффициент Пуассона	0,20	0,25	0,18	0,15
Коэффициент уплотнения, %	11,8	28,5	20,6	10,1
Удельная работа разрушения, кг/ см ²				

Таблица 1.8. Прочностные свойства пород месторождения Аксай

Показатели	Кремни	Фосфориты	Доломитизирон. известняк	Глинисто-кремнис. сланцы
1	2	3	4	5
Твердость по Шору	98	74	56	83,8
Коэффициент крепости - f	7,8	7,5	9,8	7,5
Твердость по штампу кг/см ²	425	395	258	-
Условный предел текучести, кг/см ²	30,0	-	-	-
Коэффициент Пуассона	0,20	0,20	0,17	0,17

Продолжение таблицы 1.8

1	2	3	4	5
Коэффициент пластичности	1,6	5,2	2,6	1,0
Коэффициент уплотнения, %	11,7	31,8	21,3	10,1
Удельная работа разрушения, кг/см ²	3,7	13,9	3,1	2,1

Таблица 1.9. Прочностные свойства пород месторождения Жанатас

Показатели	Крем- ни	Глинист кремнис сланцы	Фосфо- риты	Доло- миты	Кремн.. фофо- риты
1	2	3	4	5	6
Твердость по Шору	104	88	44	56	70
Коэффициент крепости - <i>f</i>	6,9	7,8	6,1	6,4	5,4
Твердость по штампу кг/см ²	485	1040	-	275	420
Условный предел текучности, кг/см ²	410	-	-	140	110
Коэффициент пластичности	1,3	1,8	-	2,0	2,4
Коэффициент Пуассона	0,24	0,13	0,17	0,20	0,16
Коэффициент уплотнения, %	9,1	8,2	21	20,1	20,0
Удельная работа разрушения, кг/см ²	3,0	16,4	-	7,1	35,0

3.4 Взаимосвязь между свойствами пород и глубиной их залегания

Лабораторный способ определения свойств горных пород, а тем более натурные испытания в производственных условиях весьма трудоемки. Многолетними исследованиями установлено, что для приближенной оценки некоторых свойств горных пород можно воспользоваться величиной $\sigma_{сж.}$, которая в сравнении с другими параметрами определяется более просто.

Используя методику ранее проводимых исследований по месторождениям Центрального Казахстана [11], проведены исследования по месторождениям бассейна Каратау и сравнения результатов с Акбаксайским месторождением. Анализ изучения физико-механических свойств пород,

исследуемых месторождений показывает что прочностные свойства пород с глубиной горных работ заметно меняется (табл.1.10) Получены графоаналитические зависимости структурных особенностей и прочностных свойств пород от глубины их залегания.

Таблица 1.10- Физико-механические свойства горных пород в образце месторождения Акжал

Глубина отбора проб, м	Наименование породы	Прочность при одноосном сжатии $\sigma_{ж}$, МПа	Прочность при одноосном растяжен. $\sigma_{р}$, МПа	Плотность γ , 10^3 кг/м ³	Сцепление в куске К, МПа	Угол внутреннего трения ρ , град.	Крепость пород f
1	2	3	4	5	6	7	8
50,1-51,8	Известняк	110	13,0	2,66	25	32	8,0
52,6-53,0	Известняк	112	13,6	2,66	27	31	8,1
83,5-84,0	Известняк	125	14,0	2,67	28	32	8,3
112,0-113,0	Известняк	126	14,3	2,68	32	31	8,6
152,6-153,0	Известняк	139	14,5	2,71	34	31	9,2
170,0-170,8	Известняк	140	14,8	2,72	34	29	9,5
218,1-218,6	Известняк	140	14,8	2,73	35	31	9,6
53,1-54,0	Диорит	137	16,0	2,62	36	31	7,6
53,6-54,0	Диорит	138	16,0	2,62	36	30	7,6
115,0-115,6	Диорит	160	16,8	2,65	42	30	8,2
155,0-156,0	Диорит	170	16,0	2,67	46	30	8,8
200,0-201,5	Диорит	171	16,2	2,69	48	30	9,0

Анализ данных показывает, что две разновидности пород месторождения имеют средние сопротивления одноосному сжатию от 100 до 170 МПа, а при растяжении от 13 до 16 МПа. Причем, прочность их с глубиной заметно меняется [20].

Плотность пород определено на 90 образцах, крепость на 50, сопротивление пород на одноосное сжатие и разрыв – на 170, сцепление – на 30 и т.д. Модель упругости с глубиной изменяется в 2,7 раза, а коэффициент Пуассона с 0,21 до 0,31.

С целью отыскания общих закономерностей изменчивости прочностных свойств пород в массиве методом математической статистики и корреляционного анализа обобщены данные свойств пород по месторождениям бассейна Каратау (табл. 1.11). Исследованиями установлено, что существует устойчивая связь между средней плотностью, крепостью, сцеплением, сопротивлением и глубиной их залегания, т.е. $\gamma, f, c, \sigma_{сж} = f(H)$.

Взаимосвязи физико-механических свойств пород друг с другом, а также с глубиной их залегания приведены на рис. 1.4.

Кривые изменения свойств пород проведены по усредненным групповым показателям по интервалам глубины через 50 м. Их средние значения найдены по опытным данным, в отдельных случаях из 25-30 испытаний по интервалу.

Таблица 1.11.. Уравнение связей свойств доломитов месторождения Чулактау с глубиной их залегания

Свойство пород	Уравнение связей	Коэффициент корреляции	Пределы Н
Сцепление, К, МПа	$K=28,1+1,8H-0,05H^2$	$r = 0,82$	$225>H>25$
Крепость пород	$f=85,0+0,04H-0,01H^2$	$r = 0,67$	$175>H>25$
Плотность г/см ³	$\gamma =2,35+0,06H-0,002H^2$	$r = 0,69$	$175>H>25$
Сопротивление на сжатие	$\sigma_{сж.} = 80,93+7,95H - 0,18H^2$	$r = 0,68$	$225>H>25$

Оценка и надежность определения зависимостей произведены по формулам математической статистики [21]:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.14)$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \% \quad (1.15)$$

$$m_v = \frac{V \cdot \sqrt{0,5 + \left(\frac{V}{100}\right)}}{\sqrt{n}}, \quad (1.16)$$

где σ - стандарт; x_i - значение признака; $\bar{x}$ - среднее арифметическое значение признака; n - число наблюдений; V - коэффициента вариации; m_v - надежность вычисления коэффициента вариации.

Если соблюдается условие $3 m_v < V$, то результаты можно считать надежными и число исходных данных для определения статистических средних достаточно.

Полученные графоаналитические зависимости позволяют дать качественную и количественную оценку изменения свойств горных пород. Между показателями существует устойчивая связь. При известных одних показателях представляется возможным, используя графики, определить другие, тем самым открываются пути прогнозирования свойств горных пород по месторождениям. Исходными данными для этого являются наименования пород, глубина их залегания и отдельные характеристики, как например, плотность пород и другие, для определения которых не требуется трудоемких лабораторных исследований.

Полученные эмпирические кривые свойств пород описываются уравнением общего вида

$$y = \pm a \pm bx \pm cx^2 \quad (1.17)$$

Такое обобщающее уравнение позволяет получить приближенные эмпирические формулы парных связей. Отклонение расчетных кривых от эмпирических колеблется в пределах 5-8%, а в большинстве своем кривые совпадают друг с другом.

Обобщающая единая формула свойств пород по месторождениям с коэффициентами уравнений a , b , g и т. д. позволяет частные уравнения представить в виде отдельных таблиц. Ниже приводятся формулы общего вида, коэффициенты частных уравнений, их знаки и пределы пользования формулами для определения физико-механических характеристик по Акжалскому карьеру.

Изменение средней плотности пород γ с глубиной их залегания H характеризуется уравнением

$$y = \pm a \pm H \pm H^2 \quad (1.18)$$

где H — глубина залегания пород, десятки м.

Значения входящих в формулу коэффициентов, их знаки и пределы пользования указанной зависимостью приведены в таблице 1.12

Таблица 1.12. Коэффициенты уравнений связи плотности $\gamma = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$g10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+2,35	+0,06	- 0,002	200≥ Н≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,56	+0,02	-0,0004	250≥ Н≥ 25
По месторождению Аксай				
Доломиты	2,62	+0,02	-0,0005	22525
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,5	+0,038	-0,001	200≥ Н ≥ 25
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+2,5	+0,05	-0,002	175≥ Н ≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+2,75	+0,006	-0,0001	250≥ Н ≥ 25

Изменение сцепления K с глубиной залегания пород H характеризуется уравнением

$$K = \pm a \pm bH + gH^2 \quad (1.19)$$

Численные значения входящих в формулу коэффициентов, их знаки и пределы приведены в таблице 1.13

Таблица 1.13. Коэффициенты уравнений связи сцепления $K = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$g10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+28,1	+9,5	- 0,05	225≥ Н ≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+23,7	+2,6	-0,06	225≥ Н ≥ 25
По месторождению Аксай				
Доломиты	10,5	3,0	-0,068	175≥ Н ≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	21,2	1,9	-0,057	20≥ Н ≥ 25
По месторождению Жанатас				
Доломиты	23,5	1,2	-0,007	250≥ Н ≥ 25
	30,0	2,0	-0,05	250≥ Н ≥ 25

Изменение сопротивления пород на одноосное сжатие $\sigma_{сж.}$ В зависимости от глубины их залегания Н характеризуется уравнением

$$(1.20)$$

Численное значение входящих в формулу коэффициентов, их знаки приведены в таблице 114.

Таблица 1.14. Коэффициенты уравнений связи $\sigma_{сж.} = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$c10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+85,93	+7,95	- 0,18	200≥ Н≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+87,32	+9,62	-0,28	250≥ Н≥ 25
По месторождению Аксай				
Доломиты	+85,0	+10,0	-0,24	250≥ Н ≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+90,0	+6,78	-0,20	200≥ Н ≥ 25
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+73,43	+3,75	-0,02	250≥ Н ≥ 25
Кремнисто-глинистые сланцы	+20,28	+5,88	-0,15	225≥ Н ≥ 25

Связь крепости пород f с глубиной их залегания характеризуется уравнением

$$f = \pm a \pm bH \pm cH^2 \quad (1.21)$$

Численное значение входящих в формулу (1.21) коэффициентов, их знаки и пределы приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.15 - Коэффициенты уравнений связи плотности $f = f(H)$

Породы	Коэффициенты			Пределы Н, м
	$a10^3$	$b10^3$	$c10^3$	
По месторождению Чулактау				
Доломиты	+85,03	+0,4	- 0,01	$175 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	9,32	+0,28	- 0,02	$200 \geq H \geq 25$
По месторождению Аксай				
Доломиты	+5,2	+0,42	- 0,008	$200 \geq H \geq 50$
Кремнисто-глинистые сланцы	+3,8	+0,2	-0,002	$175 \geq H \geq 25$
По месторождению Жанатас				
Доломиты	+6,3	+0,25	0	$175 \geq H \geq 25$
Кремнисто-глинистые сланцы	+5,0	+0,32	-0,009	$200 \geq H \geq 25$

Результаты исследований показали, что углы внутреннего трения с глубиной не меняются.

Между сцеплением и сопротивлением пород на одноосное сжатие stanovlena следующая связь

$$(1.22)$$

Средние значения коэффициента a для различных пород приведены в таблице 1.16.

Связь между плотностью и коэффициентом крепости выражается следующей формулой

$$\gamma = \pm 2,52 + 0,04 f, \quad (1.23)$$

Лабораторный способ определения свойств горных пород, а тем более натурные испытания в производственных условиях весьма трудоемки. Нашими исследованиями установлено, что приближенной оценки некоторых свойств горных пород можно воспользоваться величиной $\sigma_{сж}$ или γ , которые в сравнении с другими параметрами определяются более просто.

Таблица 1.16. Коэффициенты связи k и $\sigma_{сж}$

Месторождения	Горные породы	Ср.значения коэффициентов
Чулактау	Доломиты	0,32
	Кремнисто-глинистые сланцы	0,28
	Кремни	0,29
Акса́й	Доломиты	0,30
	Кремнисто-глинистые сланцы	0,29
	Кремни	0,25
	Известняки	0,27
Жанатас	Доломиты	0,32
	Кремнисто-глинистые сланцы	0,30
	Кремни	0,30

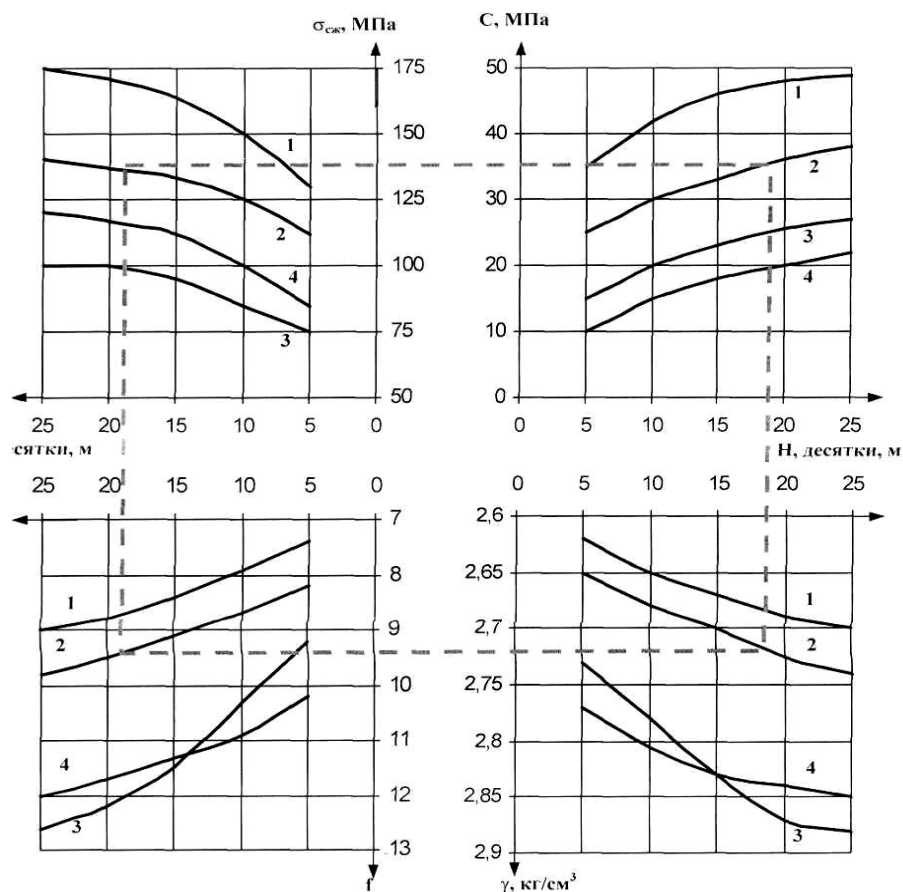
Коэффициенты структурного ослабления пород для практического использования определялись по формуле, значения которых приведены в таблице 1.17.

$$\lambda = \frac{k_M}{k_{обр}} \quad (1.24)$$

Таблица 1.17. Коэффициенты структурного ослабления породного массива бассейна Каратау

Породы	Ср. значения коэффициентов	Условия определения
Доломиты	0,026	Массовая съемка трещин
Кремнисто-глинистые сланцы	0,019	Съемка обрушенных площадок
Мраморизованные известняки	0,060	Проведение испытаний пород перпендикулярно напластованию
Кремни	0,020	Съемка структурных особенностей породного массива

Кроме месторождений бассейна Каратау, также исследования были проведены на руднике Акбакай и получены устойчивые взаимосвязи между свойствами пород и их глубиной залегания. Для сравнения результатов, полученных на исследуемом объекте с данными других рудников составлен совмещенный график взаимосвязи свойств пород (рис.1.4).



1- Чулактауское месторождение (доломиты); 2 – Аксайское месторождение (сланцы); 3 – Аксайское месторождение (доломитизированные известняки); 4 – Акбакайское месторождение (диориты).

Рисунок 1.4 - Взаимосвязи между свойствами пород и глубиной их залегания

Таким образом, методы математической статистики и корреляционного анализа дали возможность обобщить данные физико-механических свойств пород по некоторым месторождениям бассейна Каратау.

Разработана единая математическая система, получены обобщающие графоаналитические зависимости между свойствами горных пород и глубиной их залегания в недрах. Обоснована возможность прогнозирования свойств горных пород на исследуемых месторождениях, т.е. можно определить: предел прочности $\sigma_{сж}$; сцепление - C; плотность – γ и крепость пород по шкале М.М.Протоdjяконова.

Эти характеристики будут использованы при решении ряда технических задач на карьерах и подземных рудниках: при оценке устойчивости уступов и бортов карьеров: расчетных целиков и предельных потолочин, для обобщения результатов инструментальных наблюдений и уяснения физической стороны процесса сдвижения.

Контрольные вопросы:

1. Что такое свойство горных пород?
2. Классификация свойства горных пород .
3. Классификация механических свойств горных пород .
4. Методы определения прочностных свойств горных пород в лабораторных условиях.
5. Методы определения прочности пород в природных условиях.
7. Коэффициент Пуассона.
6. Что такое сцепление в горных пород?
8. Коэффициент структурного ослабления.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИКИ

2.1. Понятие о напряженно-деформационном состоянии горных пород

В настоящее время с освоением новых месторождений и реконструкций старых рудников, вызывающих в недрах развитие геомеханических процессов, связанных изменением напряженно-деформационного состояния горных пород, приобретает важное значение для многих горнорудных предприятий. Исследование геомеханических процессов, определение закономерностей сдвижения горных пород и земной поверхности, и обеспечение безопасности ведения горных работ является важной проблемой горной науки и горнорудных предприятий.

На деформационное состояние и сдвиге горных пород также оказывает влияние гравитационные силы. Под влиянием внешних сил горные породы деформируются и между

Рассмотрим некоторое тело (рис.2.1), находящееся в равновесии под действием внешних сил $P_1, P_2, P_3, \dots$. Под действием этих сил в теле возникнут некоторые внутренние усилия ($p_1, p_2, p_3, \dots$). Расчленим тело на две части сечением mm и рассмотрим одну из этих частей, например часть A . Очевидно, что эта часть находится в равновесии под действием вышеупомянутых внешних сил P_1, P_2, P_3 и внутренних усилий (p_1, p_2, p_3), распределенных по поверхности сечения mm .

Выделим на поверхности mm площадку любой формы площадью Δs (рис.2.2). На эту площадку будет воздействовать множество случайных сил, различных по величине и направлению. Поэтому всю совокупность реальных внутренних сил, приложенных к поверхности Δs , следует заменить их равнодействующей. Можно считать, что эта равнодействующая представляет собой сумму некоторой воображаемой нагрузки, равномерно распределенной по площадке Δs [2].

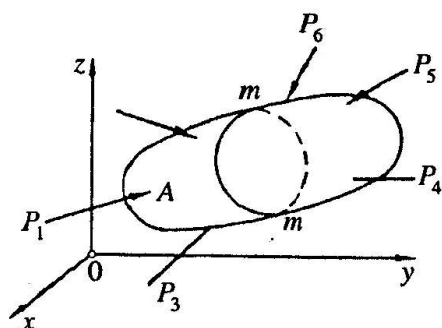


Рис.2.1. Схема к выводу понятия «напряжение»

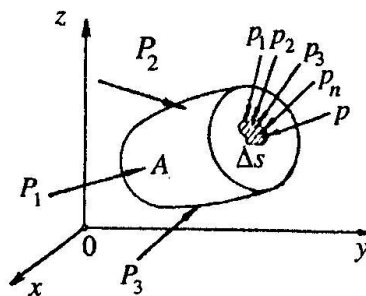


Рис.2.2. Сечение нагруженного тела и элементарная площадка

Эта воображаемая равномерно распределенная по площадке Δs нагрузка

является средним напряжением $\sigma_{ср}$, действующим на этой площадке, и определяется из выражения

$$\sigma_{ср} = \sum \frac{p_i}{\Delta S} \quad (2.1)$$

Из определения напряжения как величины равнодействующей всех сил, приложенных к поверхности элементарной площадки, отнесенной к ее площади, следует, что напряжение - это вектор, направленный под некоторым углом к рассматриваемой площадке (рис. 2.3).

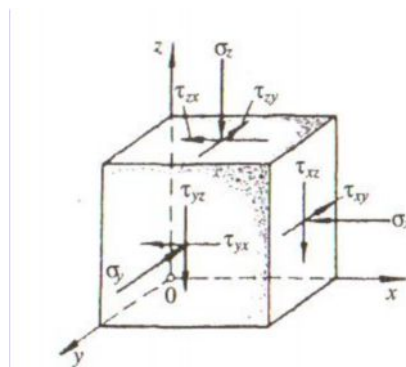
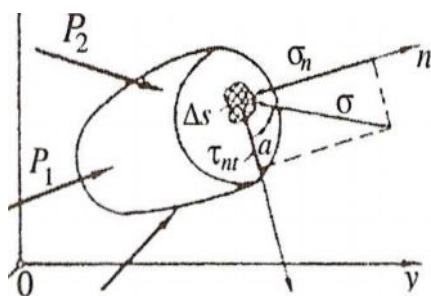
Этот вектор всегда может быть разложен на две составляющие - одну, перпендикулярную к площадке, обозначаемую σ_n , и вторую, лежащую в плоскости площадки, обозначаемую τ_{nt} . Величина полного напряжения находится из очевидного соотношения

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \tau_{nt}^2} \quad (2.2)$$

А угол α , образуемый полным напряжением с площадкой, будет

$$\alpha = \arctg \left(\frac{\sigma_n}{\tau_{nt}} \right) \quad (2.3)$$

Обычно при описании напряженного состояния в точке из массива горных пород мысленно вырезается элементарный кубик, грани которого параллельны координатным плоскостям (рис. 2.4).



разложения полного
на составляющие:
напряжение σ_n и
напряжение τ_{nt} в
ой площадке ΔS

Рис. 2.4 Схема объемного
напряженного состояния
кубика горной породы и
обозначение компонентов
напряжения

К каждой грани элементарного кубика будет приложено некоторое напряжение, которое для удобства рассмотрения раскладывают на составляющую, перпендикулярную к площадке, и две составляющие, лежащие в плоскости площадки и параллельные соответствующим координатным осям. Эти составляющие обычно называются компонентами напряжения. На три взаимно перпендикулярные грани элементарного кубика действуют три компонента, перпендикулярные своим граням.

Очевидно в общем случае имеется всего три нормальных компонента напряжения и шесть касательных, но в силу закона парности касательных напряжений число касательных компонентов напряжений сокращается до трех.

Совокупность компонентов напряжения называется **тензором напряжения**.

Напряженное состояние точки – сумма всех напряжений, проходящие через данную точку и обозначается через МПа.

Теперь обратим внимание на подземные выработки и на геомеханические процессы вокруг выработок. На подземные горные выработки оказывают влияния силы с трех сторон фактор времени. Это можно увидеть на рисунке 2.5.

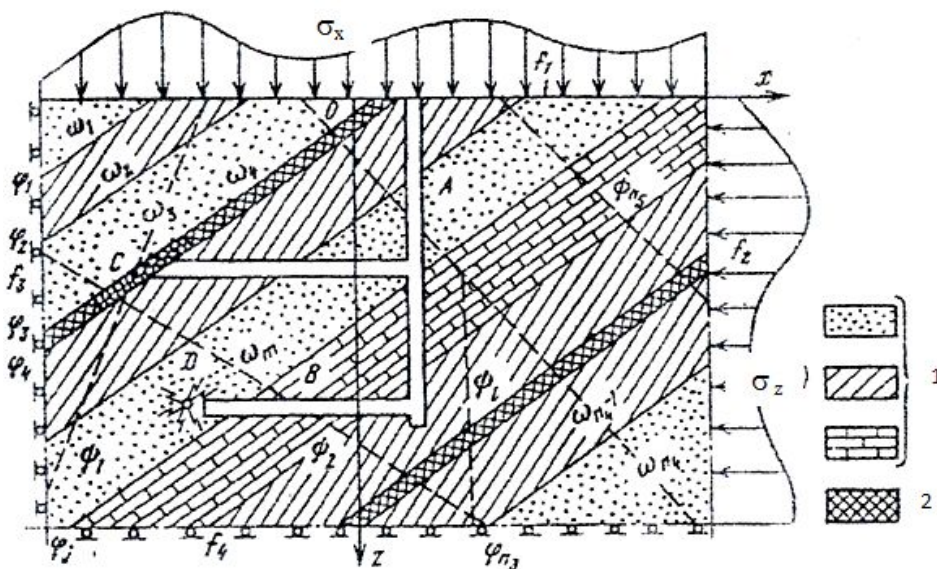


Рис.2.5. Схема напряженного состояния горных выработок:
 $q(x)$, $q(z)$ внешние силы; A и B горные выработки; C – очистная выработка;
D – влияние буровзрывных работ.: 1 – горные породы, 2 – руное дело

Характеристику массива горных пород можно описать следующей функцией

$$F=(x, y, z, t) \quad (2.4)$$

где: x , y , z – внешние силы, действующие на горную выработку с трех сторон;

t - фактор времени.

Изменение первоначальных форм и размеров называется деформацией горных пород. На практике горного дела часто встречаются следующие виды деформации: растяжение, сжатие, сдвиг и др.

Известный швейцарский геолог А.Гейм [3], выдвинул гипотезу, согласно которой напряженное состояние земной коры в любой ее точке является функцией глубины залегания горных пород. Гейм полагал, что напряжения в земной коре должны распределяться по гидростатическому закону, т.е.

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H \quad (2.5)$$

где σ_x, σ_y - нормальные горизонтальные напряжения;

σ_z - нормальное вертикальное напряжение;

γ - объемный вес породы;

H - глубина дневной поверхности.

В качестве модели массива горных пород в связи с задачей расчета крепи выработок принял упругую однородную изотропную гравитирующую среду с жестко ограниченными горизонтальными перемещениями. Согласно А.Н.Диннику,

$$\sigma_z = \gamma H \quad (2.6)$$

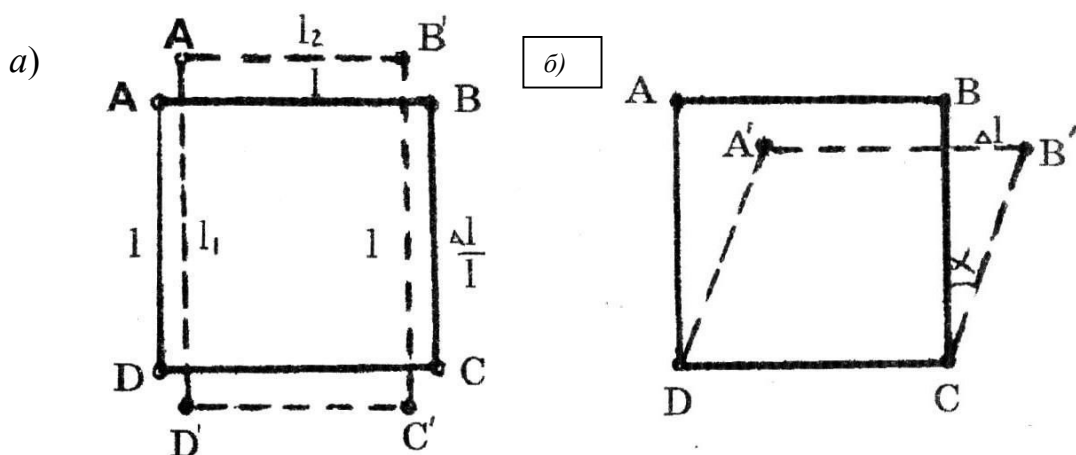
$$\sigma_x = \sigma_y = K \sigma_z \quad (2.7)$$

где $K = \frac{\mu}{1 - \mu}$ коэффициент бокового распора;

μ - коэффициент Пуассона.

Обе эти модели напряженного состояния массивов скальных пород были выдвинуты, исходя из допущений о геомеханической однородности и изотропности массивов, и по существу модель Гейма можно получить из модели Динника, если принять коэффициент бокового распора породы равным 1,0. Последнее условие выполняется, когда значение коэффициента Пуассона горной породы $\mu = 0,5$.

Необходимо указать, что под действием приложенных внешних сил кубик породы может изменить свое положение по сравнению с тем, которое он занимал до приложения этих сил (если эти силы будут достаточно велики), и каждая точка кубика перейдет в какое-то новое положение (например, из положения A в положение A_1). Отрезок AA_1 характеризует перемещение соответствующей точки (рис.2.5,а).



2.6. Деформации α -сжатия, растяжения и β - сдвига

Ранее было отмечено, что под действием внешней силы точка A , расположенная на поверхности кубика, переходит в новое положение A_1 , а сам кубик, имевший начальную высоту h , становится ниже на величину $u_x = \Delta h$.

Отношение $\Delta h/h$ называется **линейной деформацией** и обозначается ε_x .

$$\varepsilon = \Delta h / h. \quad (2.8)$$

Очевидно, что ε_x является безразмерной величиной. Каждый компонент перемещения может быть отнесен к соответствующему первоначальному размеру, поэтому в общем случае имеются три компонента линейной деформации, обозначаемые соответственно ε_x , ε_y и ε_z .

В общем случае при нагружении изменяются не только длины соответствующих ребер элементарного кубика, но искажается и форма граней, т.е. искажаются первоначально прямые углы между ребрами элементарного кубика. Величины искажения углов, выраженные в радианной мере, называются угловыми деформациями и обозначаются γ_{xy} , γ_{yz} и γ_{xz} .

Следовательно, деформированное состояние в точке характеризуется либо тремя компонентами смещения в этой точке u_x , u_y , u_z , либо шестью компонентами деформации ε_x , ε_y , ε_z , γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{xz} . Совокупность компонентов деформации, полностью характеризующая деформированное состояние в точке, называется **тензором деформации**.

2.2 Основные теории прочности, применяемые в геомеханике

В настоящее время существует несколько теорий о характере напряженно-деформационного состояния, при котором наступает разрушение или пластическая деформация твердых тел. Они называются теориями механической прочности. Наиболее распространенными из них являются теория наибольших нормальных напряжений Галилея—Ренкина; теория наибольших деформаций Сен-Венана; теория наибольших касательных напряжений Трески – Кулона - Сен-Венана; теория постоянной полной потенциальной энергии деформации Белтрами, Хейя и др.; теория полной потенциальной энергии деформации Шлейхера; энергетическая теория П. П. Баландина; теория постоянной потенциальной энергии изменения формы Губера — Мизеса — Генки; теория прочности Мора и др.

Рассмотрим эти теории подробнее [22].

1. Теория наибольших нормальных напряжений Галилея — Ренкина.

За критерий прочности здесь принимается наибольшее нормальное напряжение. Предполагается, что течение пластических материалов начинается тогда, когда наибольшее по абсолютной, величине нормальное напряжение независимо от величины остальных действующих в данной точке тела напряжений станет равным напряжению при пределе текучести материала. Следовательно, условием начала текучести будет $\sigma_1 = \sigma_T$, или

$$\sigma_1 = \sigma_T \text{ или} \quad (2.9)$$

где σ_1 — предел текучести при растяжении; σ'_T — предел текучести при сжатии.

Наблюдения показывают, что величина одного наибольшего нормального напряжения (растяжения или сжатия) не является единственным определяющим условием появления текучести материала. Так, механически очень слабые материалы выдерживают очень большое гидростатическое давление, не проявляя признака текучести.

2. Теория наибольших деформаций Сен-Венана. Согласно этой теории, течение пластического материала начинается тогда, когда наибольшая деформация (удлинение) становится равной деформации, при которой появляется текучесть при простом растяжении, или когда наименьшая деформация (сжатие) становится равной относительному укорочению, при котором появляется текучесть материала при простом сжатии. Условием текучести здесь является $\xi_1 = \frac{\sigma_1}{E}$ или

$$\Sigma_n = E \cdot \xi, \quad (2.10)$$

где, ξ - относительное удлинение; E — модуль упругости.

Данная теория иногда применяется в инженерной практике, но не может служить в качестве универсальной.

3. Теория наибольших касательных напряжений Кулона — Сен-Венана. Эта теория предполагает, что течение материала начинается тогда, когда в некоторой точке напряженного тела наибольшее касательное напряжение становится равным наибольшему касательному напряжению при пределе текучести материала этого тела в случае одноосного сжатия. Наибольшее касательное напряжение равно половине разности между наибольшим и наименьшим главным напряжениями. Поэтому условием текучести будет

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\sigma_T \quad (2.11)$$

где τ — касательное напряжение.

Эта теория получила свое дальнейшее развитие в работах немецкого ученого Отто Мора.

4. Энергетические теории.

Теория постоянной полной потенциальной энергии деформации Белтрами, Хей и др. Здесь в качестве критерия появления текучести материала принимают количество полной потенциальной энергии деформации, накопленной единицей объема материала. Предполагается, что потенциальная энергия деформации на пределе текучести при одноосном растяжении имеет постоянное значение и является условием начала текучести материала. Данное условие может быть представлено в следующем виде:

$$U = \frac{1}{2E}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - \frac{\mu}{E}(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3) = \frac{\sigma_T^2}{E} \quad (2.12)$$

где μ — коэффициент Пуассона.

Данные, полученные при использовании этой теории, согласуются с экспериментальными.

Имеется полная потенциальная энергетическая теория, предложенная Шлейхером. От предыдущей теории она отличается только тем, что предельное значение полной потенциальной энергии деформации предполагается не постоянным, а зависящим от среднего нормального напряжения:

$$P = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.13)$$

Энергетическая теория П. П. Баландина. При $2\mu=1$ получается параболоидная формула П. П. Баландина:

$$\tau = \sqrt{\frac{\sigma_T \cdot \sigma'_T}{3}} \quad (2.14)$$

Теория постоянной потенциальной энергии изменения формы Губера — Мизеса — Генки. Здесь за критерий появления текучести принимается величина той части энергии деформации, которая соответствует изменению формы тела. Условие прочности имеет вид

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3 \leq \sigma_T^2. \quad (2.15)$$

Условие Мизеса может быть записано в следующем виде:

$$T^2 = \frac{1}{2}\sigma_T^2 \quad (2.16)$$

где T^2 — интенсивность касательных напряжений в трехмерном

пространстве.

Полученные результаты по формулам энергетических теорий (для пластических материалов) хорошо согласуются с экспериментальными и поэтому они широко применяются в инженерной практике, а также для определения предела текучести при сдвиге.

5. Теория пластических деформаций. А. Надаи [23] показал, что в обычных условиях недр пластическая деформация играет большую роль. При деформации упругих тел часто отмечается небольшая остаточная деформация. В результате такой деформации между элементарными частицами деформируемого тела связи сохраняются, но его форма и размеры изменяются. Такое состояние тела называется пластическим. Это положение хорошо согласуется с поведением материала при высоких давлениях и наблюдениями над «линиями Людерса» [40]. Данное условие математически может быть записано в виде

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) = k_1, \quad (2.17)$$

где k_1 — постоянная величина, характерная для данного материала.

В обобщенном виде пластическая деформация определяется тремя условиями:

$$|\tau_1| \leq k \quad |\tau_2| \leq k \quad |\tau_3| \leq k \quad (2.18)$$

Предельная поверхность пластической деформации представляется выражением $f(\tau_1, \tau_2, \tau_3) = 0$. В системе координат (τ_1, τ_2, τ_3) эта поверхность представляет собой куб, грани которого параллельны координатным плоскостям, а центр находится в начале координат. Заменив куб сферой, Р. Мизес предложил уравнение $\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 = 2k^2$ или

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 8k^2. \quad (2.19)$$

Уравнение Мизеса в общем виде может быть представлено следующим образом:

$$\tau_{xx}^2 + \tau_{yy}^2 + \tau_{zz}^2 + \sigma(\tau_{xe}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) = 8k^2. \quad (2.20)$$

Выражение (2.12) является весьма важным инвариантом пластической деформации. Геометрический образ его имеет вид эллипсоида деформации. Если же исходить из кубической формы предельной поверхности, то в общем случае мы получим параллелепипедальную или даже многогранную форму деформации. Все эти формы в массиве горных пород представлены, в виде естественных блоков отдельностей. В этом заключается весьма важное применение теории пластичности в геомеханике.

Необходимо отметить также, что широко используемые в горном деле

теории Кулона, Мора, Прандтля и др. тесно связаны с изложенной выше теорией пластичности. Рассмотрим подробнее некоторые важные моменты указанных теорий.

6. Теория прочности Мора. По этой теории нарушение прочности материала путем пластического сдвига или хрупкого разрушения происходит при условии, когда касательное напряжение в плоскостях скольжения увеличивается до предельного значения или когда наибольшее растягивающее нормальное напряжение достигает предельного значения.

Мор пользовался графическим изображением напряженных состояний при помощи главных кругов напряжений. Круг Мора — это круговая диаграмма, дающая наглядное представление о напряжениях в различных сечениях, проходящих через данную точку (рис. 2.7).

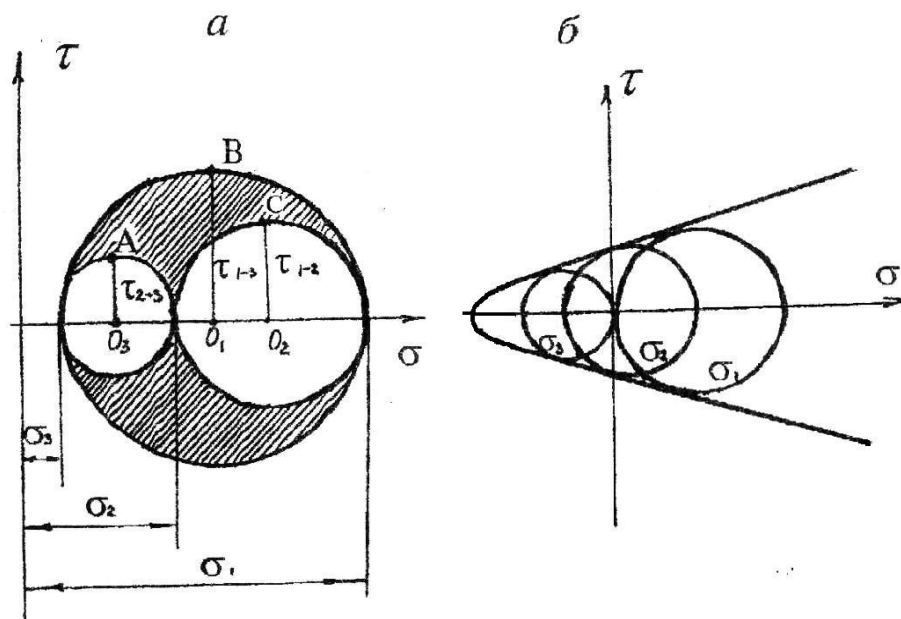


Рис.2.7. Круги прочности Мора

В любой точке тела, находящегося в объемном напряженном состоянии можно построить три взаимно перпендикулярные площадки на которых касательные напряжения равны. Главные нормальные напряжения обозначают $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, при этом всегда сохраняются следующие соотношения:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \quad (2.21)$$

где σ_1 — наибольшее; σ_3 — наименьшее, а σ_2 — среднее напряжения.

В соответствии с теорией прочности Мора напряжение τ должно быть функцией от напряжения σ , допускающей в плоскости τ, σ представление в виде кривой геометрического места точек $P(\tau, \sigma)$, фиксирующих предельные значения этих напряжений в плоскостях скольжения для различных типов напряженного состояния горных пород.

Функция $\tau = f(\sigma)$, являясь монотонной кривой, может быть выражена

уравнениями циклоиды, параболы, гиперболы, комбинацией циклоиды с прямой и т.д. Как было показано выше, в определенных границах напряжений эта функция может быть аппроксимирована уравнением прямой, хотя оно неправильно описывает поведения породы в области растяжения.

В общем случае уравнение огибающей в компонентах напряжений (σ_x , σ_y и τ_{xy}) будет иметь следующий вид:

$$2.22)$$

В качестве уравнения огибающей кругов Мора может быть использовано уравнение параболы второго порядка.

$$\tau_k = \sqrt[4]{\sigma_p (\sigma_{сж} + \sigma_p)} (\sqrt{\sigma_{сж} + \sigma_p} - \sqrt{\sigma_p}). \quad (2.23)$$

7 Теория пластичности Прандтля в своей основе опирается на метод Мора. Мор предположил, что на плоскостях скольжения касательное напряжение τ зависит от действующего здесь нормального напряжения

$$\tau = f(\sigma) \quad (2.24)$$

Прандтль предложил принять предельную кривую за прямую линию. В этом случае уравнение (2.1) заменяется уравнением прямой:

$$\tau = A - B\sigma \quad (2.25)$$

где A и B — постоянные.

В случае плоской задачи ($\sigma_1 > \sigma_2$) из условия касания круга Мора (с радиусом R и центром, лежащим на расстоянии P от начала координат на оси абсцисс) прямой (2.25) имеем соотношение $R = C_1 - C_2 P$, где $C_1 = \frac{A}{\sqrt{1+B^2}}$,

$C_2 = \frac{B}{\sqrt{1+B^2}}$. Из последних двух выражений определяем

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad P = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}; \quad (2.26)$$

и получаем условие пластичности Прандтля

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = C_1 - C_2 \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}; \quad (2.27)$$

$$\tau = C_1 - C_2 P,$$

которое при $C_2=0$ переходит в условие пластичности Сен-Венана. Случай

$C_1 = 0$ соответствует условиям грунта.

8 Теория прочности Кулона – появилась после дполнения и углубления теории наибольших касательных напряжений. Теорию Кулона в дальнейшем развил Мор. Поэтому эту теорию иногда называют теорией Кулона-Мора (рис. 2.8-сурет).

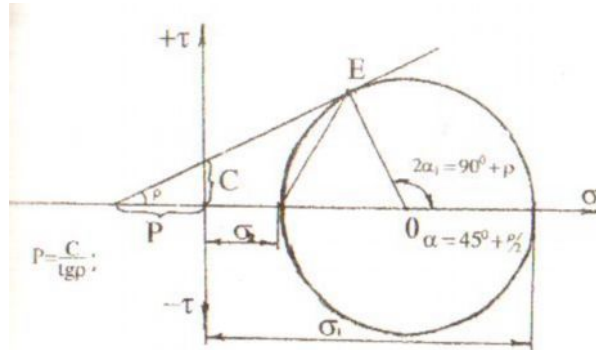


Рис. 2.8. Схема теории Кулона-Мора

Предельное условие нарушения прочности материала Кулон выразил следующей линейной зависимостью:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \rho + k, \quad (2.28)$$

где τ - касательное напряжение, необходимое для того, чтобы вызвать явление скольжения в породе;

σ - нормальное напряжение;

ρ - угол внутреннего трения;

$\operatorname{tg} \rho = f$ - коэффициент трения;

k - коэффициент сцепления.

Из экспериментов известно, что для песков, насыщенных водой, сцепление равно нулю, коэффициент трения 0,6—0,65, т. е. $\rho = 30—33^\circ$. Для тонкозернистых грунтов сцепление достигает 100 кг/см, а коэффициент трения — 0,20, т. е. $\rho = 10—12^\circ$. Вообще с сокращением размеров частиц грунта коэффициент сцепления увеличивается, а коэффициент трения уменьшается.

9. Теория ползучести Ержанова [24]. Ползучесть – способность горной породы длительно деформироваться во времени при постоянной нагрузке. Оценка ползучести производится с помощью соответствующего реологического уравнения, выражающего зависимость между тензором напряжений σ тензором деформаций ε и их производными во времени.

$$\varepsilon = f(\sigma, t), \quad (2.29)$$

где ε – деформация ползучести во времени;

σ – главное нормальное напряжение; t – время.

Типичная кривая ползучести представлена на рис. 2.9. Вертикальный отрезок OA изображает мгновенную деформацию в момент приложения

нагрузки; участок кривой AB дает рост деформации во времени при постоянной нагрузке: видно, что скорость деформирования $v(t)$, равная производной $d\varepsilon / dt$, убывает, AB – участок неустановившейся ползучести, после которой наступает установившаяся ползучесть с постоянной скоростью $d\varepsilon / dt = \text{const}$, которая существенно зависит от величины приложенного напряжения. Третий участок CD характеризуется возрастанием скорости и заканчивается разрушением образца, т.е. горные породы обрушаются, наступает процесс сдвижения и на земной поверхности появляются мульда сдвижения.

Явление изменения напряжения во времени называется **релаксацией**. В релаксирующем образце напряжение уменьшается с течением времени. Кривая зависимости напряжения от времени называется **кривой релаксации**.

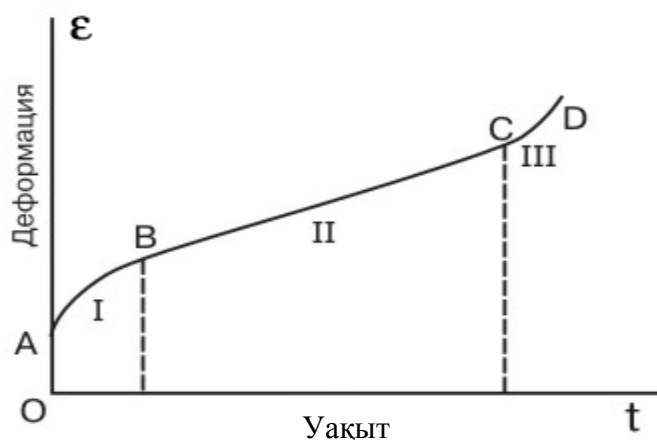


Рис. 2.9. Кривая релаксации

Такие закономерности деформирования горных пород широко применяются в инженерных расчетах. При изучении устойчивости подземных сооружений (горные выработки, метрополитен и др.) большую работу проделал академик НАН РК, выпускник КазНТУ, маркшейдер Ж.С.Ержанов. Он внес выдающийся вклад в проведение фундаментальных исследований по механике, создал теорию ползучести горных пород, широко используемую в практике горного и строительного дела.

2.3. Условия предельного равновесия горных пород

Член-корреспондент АН СССР В.В. Соколовский определил [5] плоское равновесие как равновесие бесконечно длинного цилиндрического или призматического тела под действием сил, перпендикулярных к образующими, распределенных в их направлении равномерно. При изучении плоского равновесия применяют прямолинейную систему координат x, y, z , ось z которой направлена параллельно образующей.

При плоском равновесии вместо напряжений в пространстве достаточно рассматривать распределение напряжений на плоскости xy . До тех пор, пока

внешние силы, действующие на данный элемент массива горных пород, не превысили некоторой величины, характеризующей сопротивление внутренних сил, сохраняется равновесие данного элемента относительно соседнего. При равенстве внешних и внутренних сил, действующих на данный элемент массива, наступает так называемое **предельное равновесие**.

Установлено, что в зоне предельного равновесия через каждую точку проходят две линии, которые составляют систему двух семейств и называются **линиями скольжения**.

Таким образом, предельное равновесие горных пород — состояние горного массива в котором напряжения в слагающих породах достигают предела его прочности и образуются одна или несколько поверхностей скольжения. Предельное равновесие (отрыв, скол, сдвиг) определяется видом напряжённого состояния, ориентировкой главных напряжений в массиве.

Основными уравнениями, которые определяют плоское предельное равновесие среды с трением и сцеплением (т.е. реального массива горных пород), являются следующие:

- дифференциальные уравнения плоского равновесия, которые записываются в виде

$$(2.30)$$

$$(2.31)$$

Где γ – объемный вес;

α – толық кернеу мен алаңша арасындағы бұрыш.

- условие предельного напряженного состояния:

$$1/4 (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2 = \sin^2 \varphi / [4 (\sigma_x + \sigma_y + 2H)^2], \quad (2.32)$$

где коэффициент H связан с напряжением σ_g и углом внутреннего трения следующим дифференциальным уравнением:

$$(2.33)$$

Система вышеприведенных уравнений (двух дифференциальных уравнений плоского равновесия и уравнения предельного состояния) является статически определимой и позволяет найти значения действующих напряжений. Методы решения этой системы предложены член-корреспондентом АН СССР В.В. Соколовским (численный метод) и проф. С.С. Голушкевичем [12] (графический метод).

Считается общепризнанным, что с появлением работ В.В. Соколовского были созданы теоретические основы решения различных задач о предельном равновесии грунтов и горных пород.

Численный метод В.В. Соколовского позволяет свести систему трех

уравнений к системе двух дифференциальных уравнений гиперболического типа, найти величины действующих напряжений и положение поверхностей скольжения в интересующих нас точках. Рассматривая слоистую среду, В.В. Соколовский ввел новое понятие «специальное предельное равновесие», т.е. равновесие по поверхности ослабления.

Выше было дано подробное описание всех существующих теории прочности и применение их при решении задач горно-маркшейдерского дела. При этом необходимо иметь в виду то обстоятельство, что эти теории применяются для определения прочности горных пород в куске - в образцах. Известно, что в горном деле нам необходимо определить прочность пород в массиве; вернее нам необходимо знать не прочность куска, а прочность массива.

Оба эти понятия далеко не являются идентичными. Поясним это на примере. В подземных выработках для поддержания кровли оставляются опорные породные или рудные целики. Эти породы разбиты системами трещин, то есть в массиве горные породы ослаблены механическими неоднородностями. Механические свойства пород в куске и в массиве резко отличаются. Одним из основных вопросов геомеханики и является определение механических параметров массива горных пород в условиях их естественного залегания. Для этой цели в настоящее время применяются различные методы натурных наблюдений.

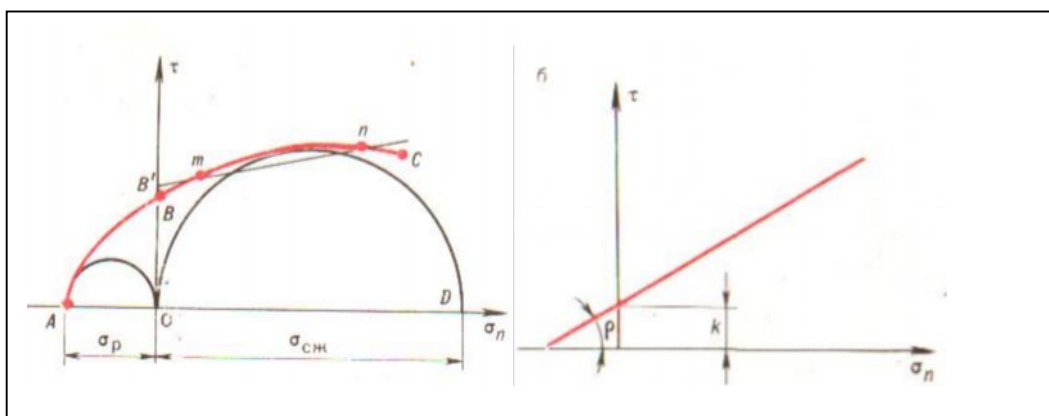
Основной смысл геомеханических исследований сводится к тому, что механические свойства массива горных пород должны быть изучены при помощи механики сплошной среды. В частности, наиболее приемлемым для горного дела является теория пластичности, методы А. Надаи, З.Прандтля, В.В. Соколовского и других. Сущность последних методов сводится к определению закономерности распределения напряжений в сплошной среде. Распределение напряжения изображаются двумя сопряженными системами линий скольжения аналогичным линиям Людерса.

В случае скально-трещиноватых массивов горных пород аналогичные сколовые системы представлены в виде сопряженных систем трещин. Иначе говоря, в последнем случае сама природа уже решала задачу распределения напряжения в массиве.

В трудах, указанных выше авторов, сплошная среда, т.е. массив горных пород рассматривается как однородная среда, не имеющая никакой структурной анизотропии. В трудах А.Н. Динника, В.В. Соколовского, В.В. Руппенейта, С.С. Голушкевича и других методом механики сплошной среды изучены многие важные вопросы горного дела: устойчивое предельное равновесие откосов карьера, сводов подземных выработок, распределение напряжения внутри целика в зависимости от соотношения размеров их, концентрации напряжений вокруг выреза горных выработок, распределения напряжений у подпорной стенки и др.

Насколько нам известно, казахстанские горняки и маркшейдеры были в числе первых, применивших эти теоретические методы для решения конкретных вопросов горных предприятий и руководил этими работами А.Ж.Машанов. Эти результаты дают хорошие результаты, если структурные особенности горных пород не играют существенную роль, писал своих трудах А.Ж.Машанов, а так же он отметил, что при скально-трещиноватых массивах эти методы нуждаются существенной поправки.

Определение устойчивых углов наклона бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия, согласно которой прочность горной породы характеризуется некоторой кривой (рис.2.10,а), построенной в координатах τ , $\sigma_{\text{нор}}$ (касательное и нормальное напряжения). Кривая ABC определяет собой предельное состояние горной породы в образце. Отрезок OB', отсекаемый кривой на оси τ , определяет величину сцепления, угол наклона к оси $\sigma_{\text{нор}}$ отрезка прямой mn, заменяющий на некотором интервале кривую ABC, называется углом внутреннего трения, а тангенс этого угла – коэффициент внутреннего трения. OA= σ_p – выражает временное сопротивление породы растяжению, а отрезок OD= $\sigma_{\text{сж}}$ численно равен временному сопротивлению породы сжатию.



О
бщий
вид
уравн
ения
криво
й
преде
льного
о
равно

востия $\tau = f(\sigma_{\text{нор}})$, однако в зависимости от типа горных пород (рис.2.10,б).

2.10-сурет. а – қисық сызықты және б- түзу сызықты орамалар.
Уравнение Кулона – это линейное уравнение:

$$\tau = k + \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho, \quad (2.34)$$

где τ - касательное напряжение по площадке сдвига, МПа;
 σ - нормальное напряжение по площадке сдвига, МПа;
 k – коэффициент сцепления пород, МПа;
 ρ – угол внутреннего трения, градус.

Эту формулу можно представить в следующем виде:

$$\tau = \tau_1 + k; \quad \tau_1 = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho. \quad (2.35)$$

Далее сцепление можно рассматривать как одну из двух систем скольжения, которые по направлению совпадают с направлением вертикальной оси, на которую проектируется другая система. Таким образом, выражение Кулона представляет собой уравнение линий двух сопряженных систем трещин скольжения.

Огибающие кривые предельных кругов Мора обычно рассматривают в виде кривых особого вида или второго порядка: гиперболы, параболы, эллипса, циклоиды. При описании прочности горных пород нельзя ограничиться каким-либо одним типом огибающей. Это объясняется, во-первых, разнообразием показателей прочности горных пород, а во-вторых, большим числом геомеханических задач, которые приходится решать в современном недропользовании. В одних задачах может потребоваться более точное описание механических свойств в области, близкой к растяжению, а в других - поведения пород при их сжатии. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо подбирать уравнение огибающей, которое бы наиболее точно описывало поведение породы в условиях данной конкретной геомеханической задачи.

2.4. Построение паспорта прочности горной породы

Паспорт прочности горной породы – совокупность показателей, характеризующих прочность горной породы, рассматриваемых в качестве критерия ее поведения под воздействием механических нагрузок. Паспорт прочности составляется по результатам испытаний образцов и позволяет оценить условия разрушения пород, как в одноосном, так и в плоском и объемном напряженных состояниях.

Для изучения грунтов и горных пород используются теории прочности Мора, Губера-Мизеса, Сен-Венана и др.

Например, в соответствии с теорией прочности Губера-Мизеса потеря прочности горной породы наступает тогда, когда в ней накопится необходимое для данного материала количество удельной энергии формоизменения. Но наибольшее распространение в практических расчетах получила теория Мора. По этой теории нарушение прочности материала происходит, когда касательное напряжение τ в плоскости скольжения увеличится до определенной величины, зависящей, вообще говоря, от величины действующего по тем же плоскостям нормального напряжения σ .

Иными словами, напряжение τ должно быть функцией от σ , т.е. $\tau = f(\sigma)$, допускающей в плоскости τ , σ представление в виде кривой -

геометрического места точек $P(\tau, \sigma)$, фиксирующих предельные значения обеих составляющих напряжения в плоскостях скольжения для различных напряженных состояний σ_1 , σ_2 и σ_3 материала.

Функция $\tau = f(\sigma)$, являясь монотонной кривой, может быть выражена уравнениями циклоиды, параболы, гиперболы, комбинацией циклоиды с прямой. Таким образом, паспорт прочности представляет собой график, на котором отражена функциональная зависимость между касательным и нормальным напряжениями. Построение паспорта прочности может быть осуществлено различными способами в зависимости от вида испытаний горных пород на прочность.

Наиболее простой из них заключается в следующем. На горизонтальной оси откладывают от 0 влево значение предела прочности на одноосное растяжение - σ_p , а вправо – значение предела прочности на сжатие - $\sigma_{сж}$. Для одноосного растяжения круг напряжений пройдет через начало координат, так как в этом случае σ_2 равно пределу прочности при растяжении, а $\sigma_1 = 0$, так как нормальное и касательное напряжения отсутствуют по площадкам, параллельным оси x (рис. 2.9). При одноосном сжатии получим круг 2 в силу того, что в этом случае σ_1 равно пределу прочности на сжатие, а $\sigma_2 = 0$, так как нагрузка по боковым граням отсутствует.

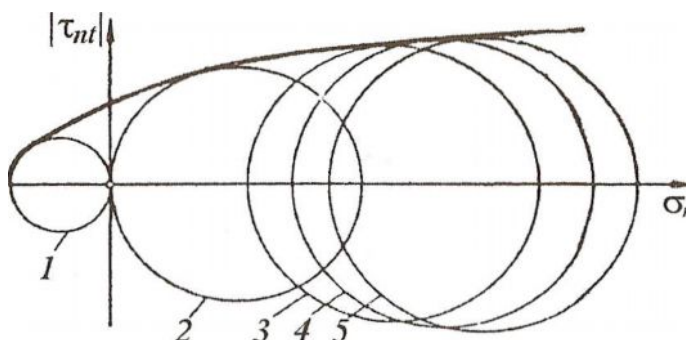


Рис. 2.9. Предельные круги напряжений:

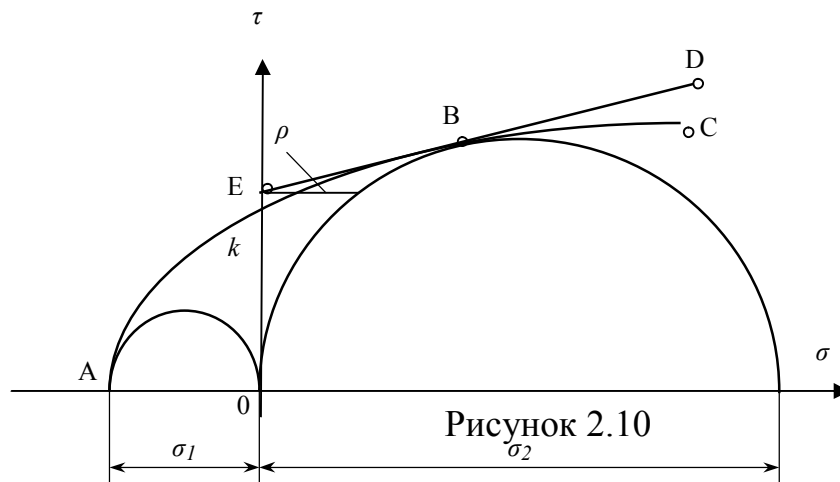
1 - при одноосном растяжении; 2 - при одноосном сжатии; 3, 4, 5 - при двухосном сжатии

Из экспериментов по двухосному нагружению можно получить серию сколь угодно близких один к другому кругов, расположенных в очень большом диапазоне. Центр каждого такого круга будет лежать на расстоянии $1/2 (\sigma_1 + \sigma_2)$, а его радиус будет $1/2 (\sigma_1 - \sigma_2)$.

Постепенно меняя абсолютные значения σ_1 и σ_2 и их отношение, в принципе возможно построить большое количество близких друг к другу кругов (круги 3, 4, 5 на рис. 2.9). Эти круги принято называть предельными кругами напряжения. Можно считать доказанным, что данная система предельных кругов напряжения имеет некоторую огибающую, т.е. линию, которой каждый из таких кругов касается, но не пересекает ее. Эту огибающую называют предельной кривой разрушения. Изложенный выше способ описания прочностных характеристик горных пород принадлежит

Отто Мору.

В определенных границах напряжений зависимость $\tau = f(\sigma)$ может быть аппроксимирована прямой $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + k$.



Величины сцепления и угла внутреннего трения породы на паспорте прочности определяются следующим образом. Из центра круга сжатия проводится радиус в точку касания круга и его огибающей. Угол между этим радиусом и перпендикуляром, восстановленным из центра круга к оси абсцисс, будет равен углу внутреннего трения пород ρ .

Различают три пары прочностных характеристик ρ и k [7]:

1. Угол внутреннего трения - ρ и сцепление пород в образце - k .
2. Угол внутреннего трения - ρ' и сцепление пород по поверхности ослабления - k' .
3. Угол внутреннего трения - ρ'' и сцепление пород в массиве - k'' , когда поверхность обрушения откоса не совпадает с поверхностью ослабления.

Все эти случаи могут иметь место как в одной, так и в разных геомеханических задачах.

Контрольные вопросы:

1. Что такое напряженно-деформационное состояние горных пород?
2. Что такое нормальное напряжение?
3. Что такое касательное напряжение?
4. Виды деформации.
5. Теории прочности, применяемые в геомеханике.
6. Что такое предельное равновесие горных пород?
7. Что такое паспорт прочности и как он строится?
8. Что такое сцепление горных пород?
9. Что такое угол внутреннего трения?
10. Что такое коэффициент трения?

3 СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

3.1. Структурно-тектонические особенности массива горных пород

3.1.1 Трещинная тектоника рудных полей и месторождений

В настоящее время для специалистов горнорудной промышленности становится все более ясным, что решение таких вопросов, как давление и сдвигение горных пород под влиянием подземных разработок, устойчивость бортов карьеров, немыслимо без учета структурных особенностей массива. Структурные особенности массива - один из важнейших факторов, определяющих геомеханический процесс.

В настоящее время большой и все возрастающий интерес проявляют исследователи сдвигения горных пород рудных месторождений к изучению трещинной тектоники. Группа ученых, возглавляемая проф.П.А.Рыжовым и член-корр.НАН РК А.Ж.Машановым, впервые обратила внимание на важность изучения трещиноватости для сдвигения горных пород и внесла существенный вклад в этом направлении. Большую работу в этой области провели Казахстанские ученые: А.Ж.Машанов, Ж.С.Ержанов, , И.И.Попов, Р.П.Окатов и др.

Наряду с казахстанскими учеными большую работу, связанной с трещинной тектоникой, проделали и московские ученые на рудниках Казахстана: П.А.Рыжов, В.Д.Борщ-Компониец, М.Е.Певзнер, В.Н.Попов и др. Основным достоинством упомянутых работ является то, что в них очень остро и весьма своевременно был поставлен вопрос об учете трещиноватости при деформации горных пород.

Изучение геомеханических процессов, происходящих в недрах земли, выходит за географические пределы одного месторождения и требует соответствующих обобщений, выявления закономерностей и параметров процесса сдвигения породных массивов аналогичных по геологической и тектонической структуре месторождений бассейна или региона. Поэтому на начальном этапе важнейшей задачей явилось установление для пород массива основных геомеханических закономерностей и их связи со структурами месторождений и крупными тектоническими разрывами, в пределах которых размещены изучаемые месторождения.

Структура и тектоника месторождения являются важнейшими показателями залежи и вмещающих ее пород. Они характеризуют форму залежей и условия их залегания. Массив горных пород характеризуется разнообразными видами структурных элементов, среди которых выделяют **трещинную тектонику** (первичные структуры осадочных пород, складчатые структуры, структуры смещения и трещиноватость).

Первичная структура осадочных пород характеризуется сложностью. Плоскости напластования слоев послужили тем ослабляющим элементом, по которому происходили различные смещения при тектонических процессах.

К образованию *складчатых структур* приводят как глубинные, так и поверхностные процессы. Возникающие при пластических деформациях формы и размеры изгибов горных пород зависят от многих условий, среди которых основное влияние оказывают механические свойства пород, характер напряжений в породах, возникающих под влиянием действующих нагрузок.

В зависимости от характера направления действующих нагрузок могут образоваться складки трех типов: продольного изгиба, поперечного изгиба и течения. В зависимости от геологической обстановки, в которой действуют силы, складчатость делится на эндогенную и экзогенную.

Широко распространенной формой залегания горных пород являются *разрывные структуры*. Смещение представляет собой деформацию разрывов. Разрывы проявляются в форме дизъюнктивов и трещиноватости. Разрывы в горных породах делятся на две большие группы. К первой относятся трещины, представляющие собой разрывы, перемещения по которым имеют очень незначительную величину. Ко второй группе относятся разрывы с заметными перемещениями пород, разъединяемых разрывами. Разрывы без перемещения (трещины) присущи всем видам структур, и распространены они повсеместно. Совокупность таких разрывов, разбивающих массив горных пород, носит название **трещиноватости**.

Далее будут изложены тектонические особенности горных пород на примере месторождений фосфоритоносного бассейна Каратау [18, 20] и полиметаллического месторождения Акжал [26].

В бассейне Каратау насчитывается более 40 отдельных месторождений. Они отличаются небольшой мощностью, имеет форму узкой полосы длиной 5-40 км, со скально-трещиноватыми вмещающими породами (рисунок 3.1).

Из рисунка видно, что месторождения бассейна Каратау разделены между собой крупными разломами, имеющую длительную историю развития и влиявшими на осадконакопление. Формирование тектонических элементов, прослеживаемых в пределах рудных полей и месторождений, находится в тесной связи с указанными разрывными нарушениями и складчатыми формами. Как во времени, так и в пространстве размещение рудных полей непосредственно связано с геомеханическими процессами, которые испытал регион под действием тектонических сил. Именно на участках, где имело место максимальная разрядка напряжений, появились явно выраженные тектонические деформации, приведшие к возникновению разного рода разрывных нарушений [20].



Свинцово-цинковое месторождение Ақжар характеризуется так же

спец **Рисунок 3.1. Геологическая схематическая карта** сеть
разр **фосфоритовых месторождений бассейна Каратау** всех
участках месторождений, в результате которых усиливается образование
многочисленных трещин во всех направлениях (рис.3.2).

Массивные известняки являются основным рудовмещающим горизонтом. Внешний вид известняков довольно разнообразен, причем разновидности сменяют друг друга как по простирацию, так и по падению без всякой закономерности. Мощность горизонта в пределах месторождения колеблется от 50-200м.

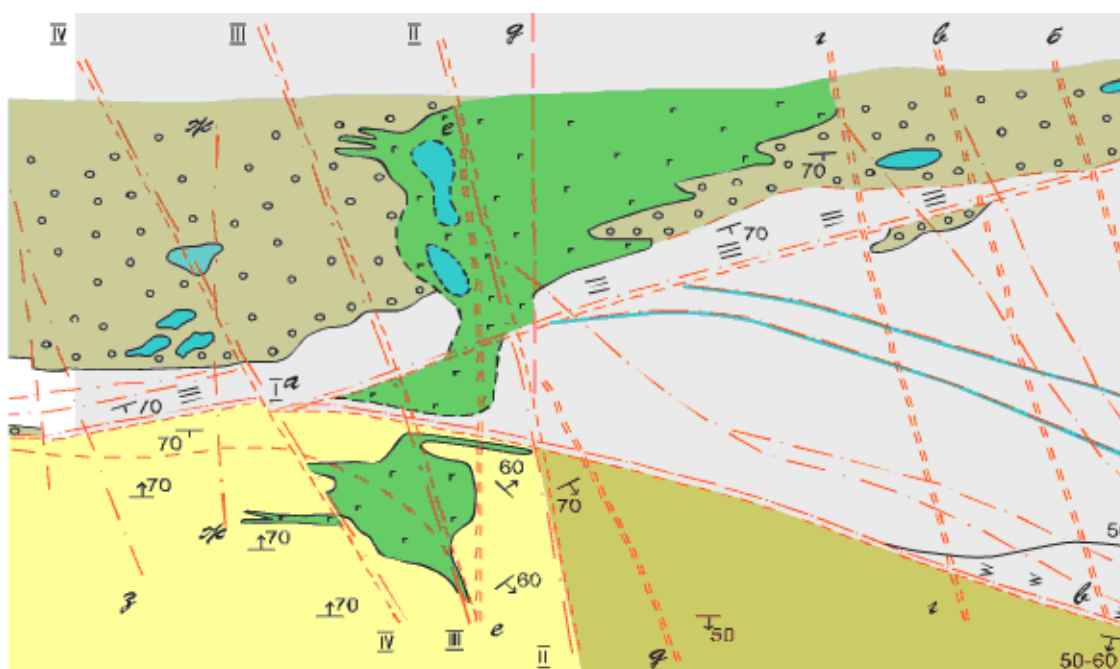


Рисунок 3.2 – Тектоническая карта Акжалского месторождения

Таким образом, формирование структуры рудных месторождений и полей непосредственно связано с тектоническими процессами, которые испытала та или иная горноскладчатая область. Естественно, что эти процессы отразились не только на характере тектонической структуры месторождений, но и на их напряженно-деформированном состоянии геомеханической структуре в целом.

Под геомеханической структурой месторождения мы понимаем совокупность природных геомеханических факторов, оказывающих существенное влияние на проявление сдвижения и горного давления при отработке рудных тел. Элементами геомеханической структурой являются:

1. Глубина залегания месторождения.
2. Угол падения рудного тела.
3. Мощность рудного тела.
4. Морфология рудного тела.
5. Механические свойства руды и вмещающих пород.
6. Тектоническая нарушенность.
7. Трещиноватость пород и руд.
8. Естественное напряженное состояние массива горных пород.

Исследуемые месторождения бассейна Каратау и Акжалское месторождение представлены достаточно крепкими породами и в результате процессов складкообразования оказались разбитыми большим количеством нарушений различной ориентации. Среди этих нарушений выделены следующие три тектонических элемента: I. Трещины кливажа.

II. Продольно-диагональные внутрипластовые перемещения.

III. Сбросы меридионального направления (крутопадающий разрыв).

Теперь рассмотрим подробнее каждый из этих элементов.

1. **Мелкая трещиноватость (кливаж)** проявляется довольно интенсивно во всех горизонтах продуктивной толщи, а также породах каройской и тамдинской серий, т.е. в кремнистых сланцах висячего бока и известняках лежачего бока (рисунок 3.3). Отличительной чертой трещин кливажа является отсутствие по ним перемещений.

Формы структурных блоков для различных пород отличаются между собой, размеры которых изменяются от 2х3 см до 15-20 см и имеют форму небольших плиточек или параллелепипед.



Рисунок 3.3. Мелкая трещиноватость

II. Продольные нарушения (рис.3.4) срезают фосфоритовую пачку, и в результате чего в некоторых блоках мощность пачки уменьшается 0,5 м. На некоторых участках рудное тело сдвоено, и в результате чего мощность достигает до 20-25 м. Вследствие этого на рудниках «Молодежный» и «Акса́й» часто встречаются безрудные участки.



Рисунок 3.4. Продольно-диагональные внутрипластовые нарушения

Азимут простирания близок к напластованию пород, $A=270-290^\circ$. Этот вид нарушения представляет особый интерес. Вследствие крутого падения ($\delta = 60-85^\circ$), они будут способствовать сдвигению массива по плоскостям напластования.

III. Сбросы меридионального направления (крутопадающие поперечные разрывы) ориентированы вкрест простирания пород (рис.3.5). Азимут простирания сбросов СЗ: $330-350^\circ$ и СВ: $15-25^\circ$ под углами падения пород $70-85^\circ$. Расстояния между поперечными нарушениями изменяется от 40 до 140 м, причем эти нарушения, как правило, служат границами очистных блоков. Длина очистных блоков соответствует расстоянию между нарушениями, обычно составляют 60, 90, 130 м.

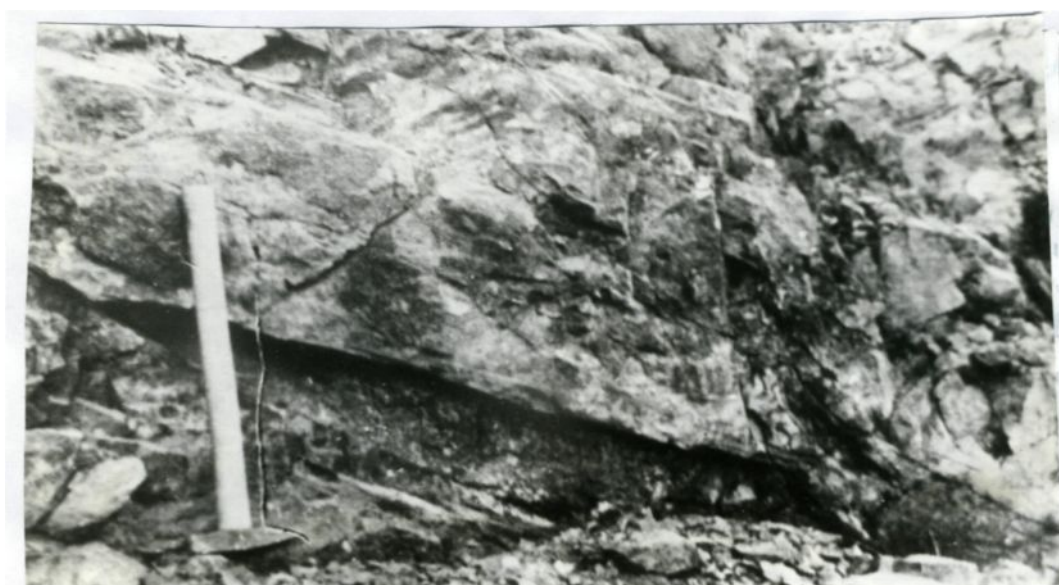


Рисунок 3.5. Сбросы меридионального направления

Из-за указанных тектонических нарушений рудное тело имеет весьма сложное строение, что отрицательно сказывается на потерях и разубоживании руды и усложняют отработку месторождения.

Анализ накопленных материалов по изучению форм и характера тектонических нарушений породного массива позволило выделить основные типы нарушений и сделать предварительные выводы о роли влияния каждого из них на геомеханические процессы (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Сводная таблица характеристик структуры месторождений бассейна Каратау

Группы	Тип нарушений	Породы, в которых проявляются нарушение	Элементы залегания		Структурные блоки		Влияние на процесс свивжения
			Азимуты простиран.	Углы паден.	Линейные размеры	Формы	
	Характеристика продуктивного пласта	Состоит из 3- пачек: фосфоритовая, фосфато-кремневая, верхняя фосфоритовая	270-285°. 88°, 115-120°	77-90° 7° 0-90°	-	-	-
I	Трещины кливажа	1.Основной фосфоритовый пласт 2. Сланцы 3. Нижние доломиты 4. Кремнистые сланцы 5. Известняки	160-190° 185-188° 160-190° 165-185° 175-188°	55-85° 80-85° 60-80° 60-80° 70-80°	15x20; 20x30 30x50 см 20x50, 50x70 от4x5 до15x20 от2x3 до 15x20 1x5 м	Мелко-- плитчатые, параллель- эпициаль- ные блоки Тонко- плиточные Крупноплитчатые	Будет способствовать дроблению массивов в процессе сдвижения и обусловит большую усадку подработанных пород
II	Продольно-диагональные внутрипластовые перемещения	Вся толща пород от кремнистых сланцев о известняков лежащего бока, включая рудный пласт	Азимут простиран. близок к Пластован. 270-290°	60-85°	Протяженность плоскостей перемещений от 1 м до 15 м.	Крупные блоки	Вследствие крутого падения будут способствовать сдвигению массива по плоскости напластования.
III	Сбросы меридионального направления	Вся толща нарушается от тамдинских известняков до нижних доломитов	330-350° 15-25°	70-89°	Расстояния между сбросами изменяется от 4 м до 140 м		Нарушения этого типа окажут влияние, если попадут в зону сдвижения.

Так как к важнейшей геомеханической характеристике скальных массивов относится степень трещиноватости, то особое внимание было уделено изучению тектонических элементов первой группы – мелкой трещиноватости.

3.1.2 Структурные особенности горного массива

К важнейшей геомеханической характеристике скальных массивов относится степень их трещиноватости. Сведения об условиях трещиноватости пород являются необходимыми исходными данными для определения коэффициентов структурного ослабления массива, входящих в расчетные формулы для оценки устойчивости уступов и бортов карьеров.

Трещиноватость оценивается количественно и качественно. Количественная оценка трещин в горных породах – ширина, длина, ориентировка, интенсивность трещин. Качественная характеристика трещинам дается по виду заполнителя, форме поверхностей стенок, составу пород, вмещающую трещину.

По степени проявления трещины делятся на скрытые, закрытые и открытые.

Скрытые трещины не видны невооруженным глазом и проявляются лишь при раскалывании образцов горных пород или их окрашивании. Закрытые трещины легко обнаруживаются в массиве невооруженным глазом, а для открытых трещин характерна хорошая видимая полость. Трещины также подразделяются: по протяженности, по элементам залегания, по форме и т.д.

За последние 40 лет опубликованы монографии и множество статей, посвященных геологическому изучению трещиноватости и техническим приложениям. За это время оформились научные школы и направления в изучении трещиноватости горных пород

На основе многолетних исследований по изучению трещиноватости горных пород на рудных месторождениях Казахстана, для того чтобы описывать и называть трещиноватость в процессе их изучения, возникла необходимость их систематизации или классификации. Очевидно, в основу такой классификации необходимо положить какой-нибудь характерный признак или принцип, позволяющий расположить рассматриваемые формы трещин в определенном порядке. Классификацию трещин, развитых в горных породах, проводят либо по условиям их образования, либо по ряду геометрических признаков.

Трещины нами классифицированы по следующим признакам: генетический (рисунок 3.6), геометрический (рисунок 3.7) и морфологический (рисунок 3.8). В геометрическую заложено пространственное положение и размер трещин, во вторую - происхождение, а в третью – форма и строение трещин.



Рисунок 3.6- Генетический вид трещин

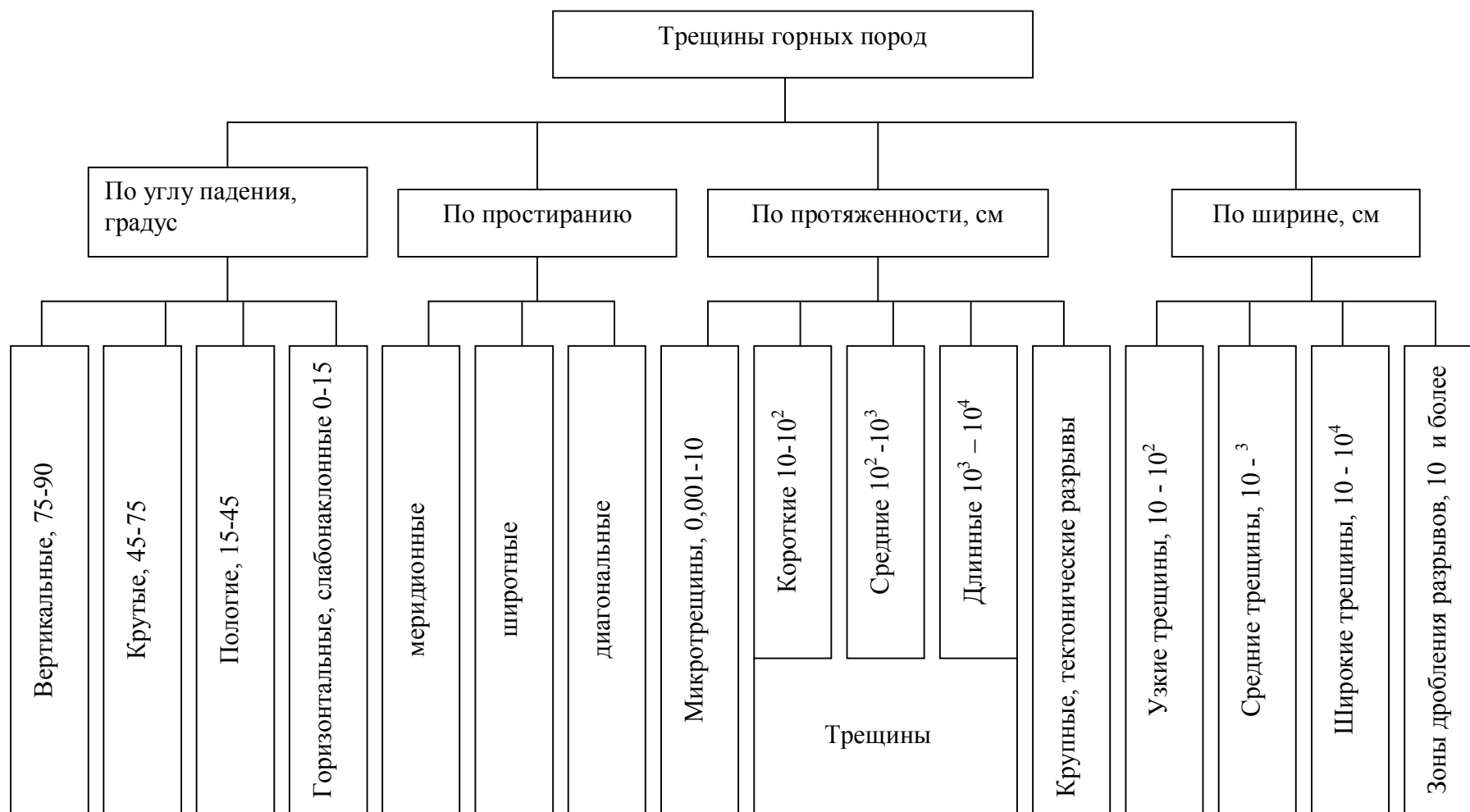


Рисунок 3.7- Геометрический вид трещин



Рисунок-3.8-. Морфологический вид трещин

По способу образования трещины делят на трещины скалывания, возникающие под действием максимальных касательных напряжений, и трещины отрыва, образующиеся перпендикулярно к направлению максимального растягивающего напряжения.

Для трещины скалывания характерна прямолинейность, ровность, притертость поверхностей, большая протяженность и сопутствие оперяющих трещин, наличие тектонической глинки и брекчии. В природе они занимают господствующее положение и распространяются на большие глубины.

Для трещины отрыва характерна криволинейность, неровность поверхности, они быстро выклиниваются по простиранию и падению, заполнены обломками вмещающих пород. Они развиты на поверхности земли и с глубиной исчезают. По технологическому фактору трещины разделяются на: продольные, диагональные и поперечные.

Трещины, появляющиеся в результате тектонических усилий называются экзогенными или тектоническими.

Тектонические трещины также образуются как трещины отрыва и скола. Трещины отрыва возникают только при наличии растягивающих напряжений. Трещины скола образуются под некоторым углом к направлению наибольших сжимающих усилий. По отношению к пласту такие трещины большей частью располагаются косо, поэтому получили также название кососекущих. Экзотрещины обычно не связаны с напластованием. Имеют хорошо выраженные поверхности, на которых обнаруживаются зеркала, скольжения, следы притирания. Трещины выветривания возникают благодаря химическому и физическому выветриванию горных пород. Проявляются они в основном на поверхности в зоне выветривания.

Трещины давления образуются под влиянием горного давления и взрывания при проведении горных выработок и выемке полезного ископаемого, когда возникающие на участках напряжения горных пород переходят предел упругости. Такие трещины обычно являются трещинами отрыва, поверхности их весьма неровны, извилисты. Распространение их неравномерно, они образуют систему параллельных трещин.

Таким образом, горные породы земной коры разбиты густой сетью трещин разнообразного генезиса, различных размеров, ширины, возраста и т.д.

Оценка устойчивости бортов карьеров должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, трещиноватости и структурных особенностей прибортового массива. Применение компьютерной технологий при обработке результатов массовых замеров трещиноватости прибортовых массивов позволит повысить точность оценки характера их распределения за счет более полного и многовариантного анализа исходных материалов и увеличить производительность при камеральной обработке.

3.2. Методы изучения структурных особенностей массива

В геомеханике массив рассматривается как единое целое, сложенное структурными блоками горных пород, ограниченных системами трещин. Если на массив горных пород будем смотреть издалека, скажем с птичьего полета, то никакой трещиноватости, никакой блоковой отдельности было бы не видно. Все системы трещин в массиве, независимо от генезиса, играют роль систем поверхностей ослабления и подлежат к учету при решении вопросов сдвижения горных пород и устойчивости откосов. Именно таких позиций изложено в работе горно-графическая методика изучения и прогнозирования трещиноватости скальных массивов.

Структурные особенности массива горных пород определенным образом влияет на его устойчивость.

Во-первых, трещины снижают прочность массива горных пород; оценка их влияния в этом случае сводится к определению прочностных характеристик как по поверхностям ослабления, так и самого трещиноватого массива горных пород.

Во-вторых, трещины создают условия для формирования массива как анизотропной или квазиизотропной среды.

С.Г.Авершин отмечает, что трещиноватость – это один из важных факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород [27]. В последнее время проводится интенсивное исследование трещиноватости пород на разных уровнях применительно к решению самых разнообразных задач геологического, гидрогеологического и горнотехнического плана. Одним из таких направлений является изучение связи трещиноватости с прочностными и деформационными свойствами горных массивов и устойчивостью выработок.

Изучение структурных особенностей массива горных пород имеет целью установить направление и характер основных поверхностей ослабления; определить протяженность и ориентировку в пространстве основных систем трещин; выделить участки карьера или подземного рудника с характерными структурными особенностями; установить закономерности развития интенсивности трещин в горных породах. Следовательно, изучение геомеханических проявлений должна выполняться на основе надежных и достоверных данных, характеризующих реальную геологическую ситуацию, в частности, структурных особенностей породного массива.

Результаты изучения трещиноватости горных пород подробно описаны в трудах В.И.Борщ-Компонице[28], И.В.Милетенко [29], А.Ж.Машанова, М.Б.Нурпеисова [25], М.Е.Певзнера [30], М.В.Раца [31], Ф.К.Низаметдинов[32] и других исследователей.

При изучении трещиноватости рекомендуется два различных метода съемки, а именно:

1) метод точечных массовых замеров элементов залегания поверхностей ослабления;

2) метод площадной структурной съемки.

Выбор того иного метода из этих методов определялось сложностью структуры породного массива изучаемого участка месторождения. Так, структура пород месторождения Чулактау и северного борта карьера Аксай, которая отличается более выдержанным характером, изучалась методом массовых точечных замеров элементов залегания трещин.

Точечный метод массовых замеров трещиноватости может дать положительные результаты в породах, имеющих простую структуру, характеризующуюся исключительной выдержанностью элементов залегания поверхностей ослабления как по площади, так и на глубину карьера, с количеством систем, не превышающим 3-4.

При сложной структуре массива, с невыдержанными элементами залегания, точечный метод изучения структуры не может быть использован для установления характера структуры в целом по месторождению, поскольку в этом случае не представляется возможным установить связь одной и той же системы по нескольким точкам замера.

Метод площадной структурной съемки применяется на месторождениях с невыдержанной и сложной структурой пород, при наличии тектонической нарушенности пород. Основная цель съемки – установить закономерность распределения и выдержанности основных систем или групп поверхностей ослабления, границ выветренных пород, дизъюнктивных нарушений и т.д.

Методика площадной структурной съемки основана на поинтервальной съемке структурных элементов в обнажении уступов по каждому горизонту карьера. Длина интервала, в зависимости от характера изменчивости структуры бывает различной. Съемка ведется с помощью рулетки и компаса. Для каждого интервала устанавливают основные системы трещин на основании точечного замера элементов залегания, размеры и формы структурных блоков, степень шероховатости поверхностей ослабления, протяженность трещин, материал заполнения поверхностей ослабления.

Методы измерения трещиноватости горных пород сводятся, в основном, к непосредственным измерениям в обнажениях на поверхности, на откосах в карьерах, по стенкам шурфов и горных выработках, наблюдениям по кернам геологических скважин. На открытых разработках при достаточно большой площади обнажений горных пород наиболее эффективен метод непосредственных измерений (массовых или по профильным линиям) с помощью горного компаса.

Размеры структурных блоков (расстояния между трещинами) замерялись обычной рулеткой, углы падения трещин и азимуты их простирания - горным компасом (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9- Съёмка трещиноватости горного массива на карьерах

Число необходимых замеров при съёмке связано со степенью изменчивости трещиноватости пород, наличием тектонических нарушений, количеством систем трещин, и в производственных условиях вопрос о количестве необходимых замеров на станции, как и о линейных размерах самой станции, где будет произведена съёмка, решается по обстановке и интуитивно. В таблице 3.2. приведен полевой журнал съёмки элементов трещин в подземных выработках рудника «Молодежный»,

Таблица 3.2 – Журнал съёмки трещин

Точ-ки	Места съёмки	Горные породы	Элементы залега-ния трещин		Интенсивн-ость трещи-н 1 п.м
			А	δ	
1	Маркшейдерская точка №28	Порфириты	260 ⁰	70 ⁰	8-10
2	5 м от маркшей-дерской точки №28	Порфириты	200 ⁰	75 ⁰	15
3	Место пересечения квершлага со штерком	Сланцы	240 ⁰	76 ⁰	10

Результаты определений интенсивности трещиноватости горных пород месторождения Аксай (табл.3.3) показывают, что для известняков и доломитов размеры структурных блоков изменяются в широких пределах – от 0,5 до 5,0 м. Кремнисто-глинистые сланцы характеризуются более выраженной интенсивностью трещиноватости.

Таблица 3.3. Интенсивность трещиноватости горных пород месторождения Аксай

	Кол-во	Размеры	Средний размер
--	--------	---------	----------------

Породы	наблюдений	структурных блоков	структурного блока
Известняк, доломиты	265	0,5 ÷ 5,0	2,0
Суглинки6 супеси	71	0,01 ÷ 0,4	0,1
Кремнисто- глинистые сланцы	36	0,2 ÷ 0,4	0,3

Структура массива гонных пород месторождения Жанатас исследовалась на участке Тогузбай на разных горизонтах(таблица 3.3). Площадки для съемки трещин размещались через 50-80 м покаждому горизонту. Длина площадки 10-15 м вдоль простирания уступа. Замеры элементов трещин (азимут простирания –А и угол падения - δ) выполнялись по стенке уступа на доступной высоте (в среднем 2-4 м. Всего было замерено 2400 трещин. На участках северного борта попадают нарушения вкрест простирания, заполненные глинистым материалом. Эти участки очень неустойчивые и повержены к обрушению/

Таблица 3.3. Параметры систем трещин участка Тогузбай месторождения Жанатас

Индекс	Северный борт карьера						По участку		Частота трещин,% к общему числу
	гориз.670 м		гориз.680 м		гориз.690 м				
	A,°	δ,°	A,°	δ,°	A,°	δ,°	A,°	δ,°	
I	80	50	90	66	90	72	30	73	20
II	211	30	230	30	170	74	150	50	38
III	350	70	350	70	252	70	220	30	33
IV	-	-	-	-	350	70	350	70	9

Примечание: А – азимут простирания, град; δ – угол падения, град.

Хотя эта методика изучения структуры горных пород успешно апробирована на многих отечественных карьерах и рудниках, для нее характерен весьма существенный недостаток, а именно: замеры трещиноватости и других структурных элементов массива производится в нижней части откоса (как правило, не выше 3 м от нижней бровки уступа), что не позволяет объективно учесть все структурные особенности горных пород. Поэтому разное время использовались различные способы (масштабное фотографирование; тахеометра и лазерной рулетк; наземной фотограмметрии; электронной тахеометрии с функцией безотражательной дальнометрии; GPS съемок; цифровой фотограмметрии и др) съемки структуры горных пород.

В настоящее время появились новые методы изучения горного массива, которые могут быть с успехом применены для исследования структуры

горных пород. К ним следует отнести методы лазерного сканирования и геотомографии.

Изучение систем трещин с помощью лазерного сканера [33]. Определение элементов залегания трещин и размеров структурных блоков возможно при отстоянии прибора от приборного массива не более 300м. Эффективная съемка возможна с помощью приборов дистанционного типа, в частности с использованием систем лазерного сканирования специально разработанных для условий открытых горных работ швейцарской фирмой «Leica», хорошо зарекомендовавших себя, пригодных для использования в суровых климатических условиях.

Это в полной мере относится к системе HDS 8800, которая отличается высокой скоростью сканирования, простой в управлении, удобной в использовании. Система кроме высокоскоростного сканера с углом обзора в 80° (рис.3.10) так же включает: цифровую панора-мную фотокамеру с разрешением 70 мПкс, позволяющей получать снимки с высококачественным изображением; планшетный полевой компьютер(ППК),хорошо защищенный от внешних негативных воздействий; оптический трегер, обеспечивающий стабильную устойчивость прибора во время работ.

Одним важнейших достоинств этого метода съемки является возможность получения информации о положении элементов залегания трещин без непосредственного контакта с массивом исполнителя работ.

. Другим важным достоинством предлагаемой методики изучения трещиноватости горных пород является высокая информативность. То, что

невозможно было снять горным компасом из-за невозможности доступа, лазерным сканером успешно решается. В десятки-сотни раз повышается производительность работ и объемы съемки. Следует отметить, что на железорудных карьерах горным компасом невозможно произвести съёмку, тогда как лазерный сканер с этим справляется успешно (рис.3.12- 3.14).

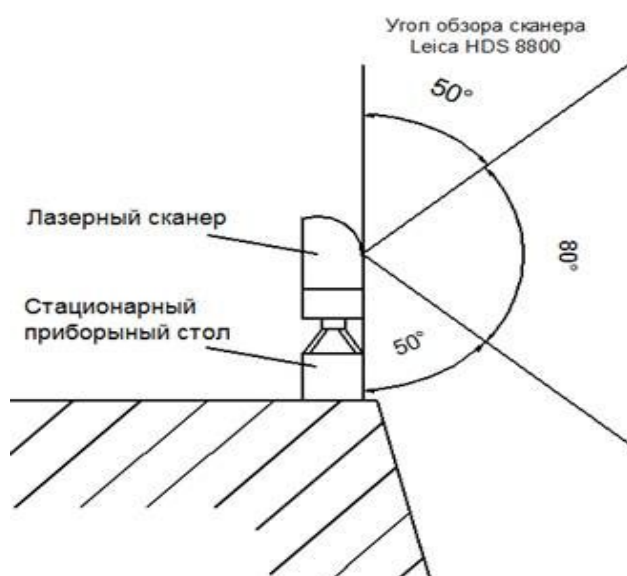


Рис. 3.10 - Угол обзора сканера

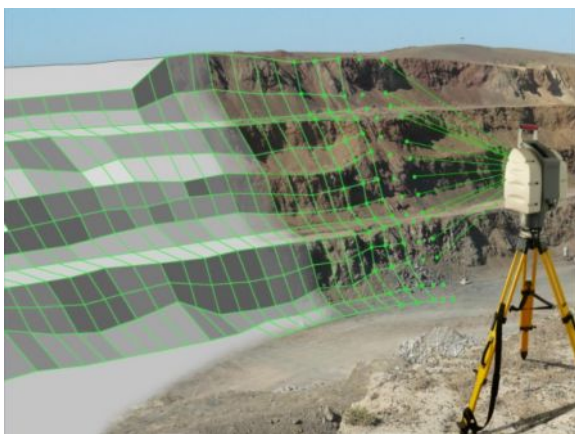
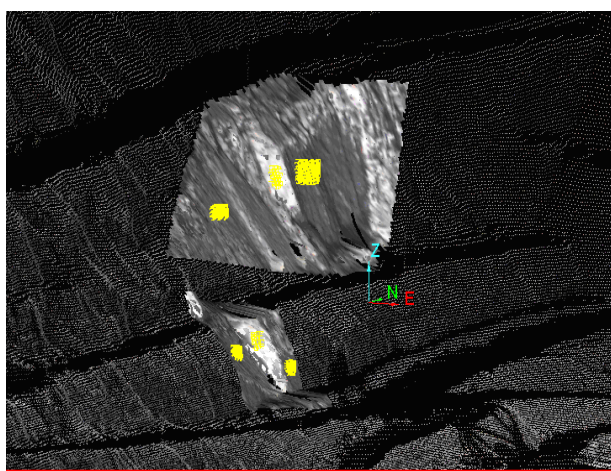


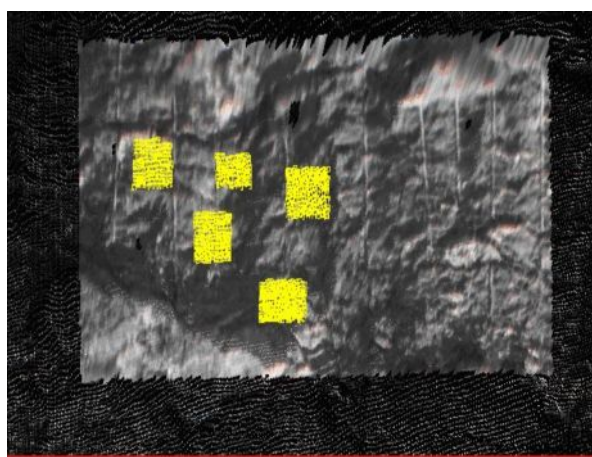
Рис. 3. 12 – Лазерный сканер Leica HDS3000



Рис.3.13– Лазерный сканер Leica HDS4400



а) определение элементов залегания трещин



б) определение элементов залегания заоткошенного уступа

Рис. 3.14 – Определение элементов структуры горного массива по 3D-модели

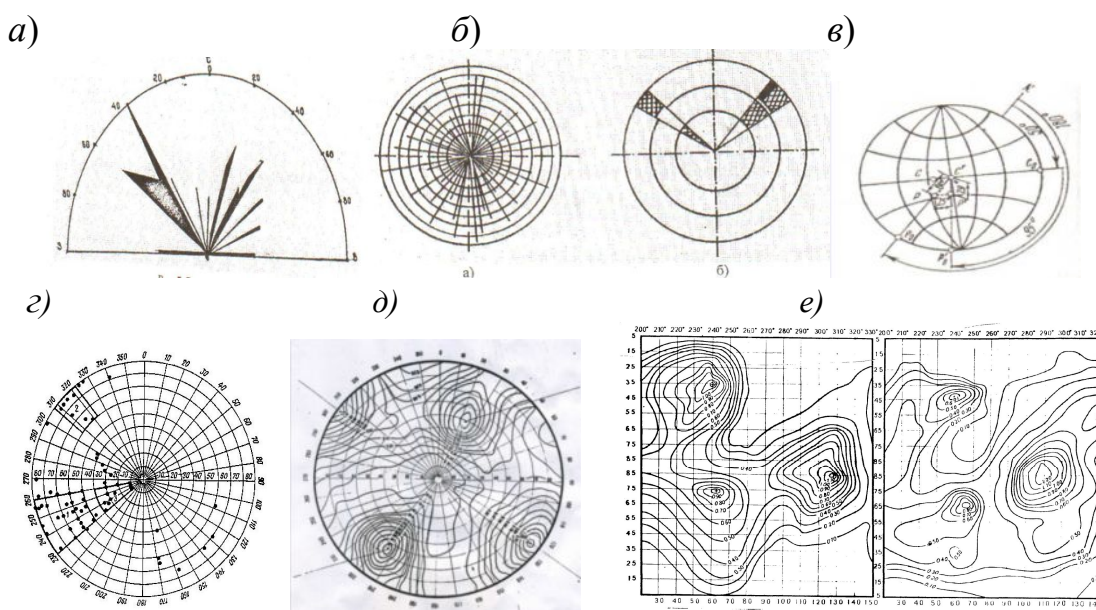
Большие объёмы электронной информации, полученной лазерным сканированием карьерных откосов, позволяют в камеральных условиях установить все существующие на карьере структурные элементы: трещины, нарушения, границы раздела литологических разностей, деформации и т.д., получить их модели в цифровом виде и вставить их в расчетные схемы геомеханических моделей прибортовых массивов.

При помощи технологии лазерного сканирования решается широкий круг задач горного дела: составление пространственных моделей горных выработок в системе координат шахты; определение их геометрических параметров и объёмов; учёт на основе этих данных потерь, разубоживания, состояния и движения запасов полезного ископаемого; подготовка в электронном виде трёхмерных моделей для последующего их использования. Необходимо отметить, что все измерения, производимые при помощи лазерных сканеров, позволяют получить модели в той системе координат, в которой ведётся горно-графическая документация, и проводятся все маркшейдерские работы.

3.3 Обработка результатов съемки трещиноватости массива

3.3.1 Выделение активных систем трещин на диаграммах

При изучении трещиноватости горного массива накапливается большое количество данных полевых замеров, в результате их обработки будут определены основные системы трещин, их ориентировка и максимумы концентрации трещин каждой системы. Обработку и обобщение массовых замеров элементов залегания трещин производят различными методами. Эволюция методов обработки съемки трещин приведена на рис. 3.11.



а) Ефимовтың «роза тәрізді диаграммасы»; б) Соколов пен Смирновтың сәулелі диаграммалары; в) Вульф пен Каврайскийдің экваториалдық торы; г) Хабаковтың нүктелік дөңгелек диаграммалары; д) Сухоручкиннің полярлық ортографиялық диаграммасы; е) Борщ-Копониецтің тік бұрышты диаграммасы)

Рисунок 3.15- Эволюция методики обработки материалов замеров трещин

Розы диаграммы. При этом на графике показываются классы трещин определенного простирания, затем для каждого основного направления простирания строится роза падения. Если мы строим розы трещин по углам наклона, то не отражаем азимуты падения и наоборот.

Лучевые диаграммы А.Е.Ефимова. На диаграмму наносятся азимуты простирания трещин по ходу часовой стрелки, а углы падения изображаются длиной радиусов кругов, построенных с делением через 10° .

Диаграмма Д.С.Соколова и А.А.Смирнова. Здесь трещины делятся на три подгруппы по крутизне падения. Подсчитывается количество трещин определенного направления, вычисляют их процентное содержание к общему числу, и результаты наносит в виде трапеции на круговую диаграмму.

Точечные круговые диаграммы Чертится круг произвольного радиуса, радиус круга делится на девять равных частей, через которые проводятся концентрические окружности. Через 10° проводятся радиусы, представляющие собой проекции меридианов, и предназначенный для нанесения азимутов

Экваториальная сетка Вульфа. Этой сеткой пользуются как прибором и все построения производят на кальке.

Экваториальная сетка В. В. Каврайского. В отличие от сетки Вульфа она дает одинаковую точность по всей сетке. Сетка Каврайского позволяет определять элементы залегания рудного тела и углы между плоскостными элементами.

Сетка Вальтера-Шмидта. Для построения диаграммы по этому методу (1953) необходимо изготовить из картона трафарет. При отсутствии готовой сетки можно обойтись упрощенной, на которой пока; лишь окружность и верхний радиус. Радиус окружности при изготовлении трафаретов рекомендуется брать равным 10 см. Окружность делится на градусные интервалы, располагаемые против часовой стрелки, начиная от верхнего радиуса, принимаемого за нулевой.

Полярная ортографическая сетка В.В.Сухоручкина. При ее построении замеры трещин наносят в виде точек. Полученную точечную диаграмму подвергают статистической обработке методом скользящего окна. Результаты подсчета записывают на кальке и проводят изолинии средних значений концентрации трещин.

Круговые и прямоугольные диаграммы позволяют определить количество систем трещин, как на замерной станции, так и по карьере в целом, преобладание тех или иных систем трещин, их элементы залегания. Стереографические сетки Вульфа, Каврайского и другие позволяют определять угловые соотношения между трещинами, выявлять положение трещин по отношению к откосу. Полевые наблюдения сводятся к точечным замерам элементов залегания трещин, изучению интенсивности трещиноватости массива и структурным съемкам вкрест простирания бортов карьера. Интенсивность трещиноватости характеризует форму и размеры элементарных структурных блоков породы и оценивается тремя коэффициентами: линейным, площадным и объемным. Линейный коэффициент равен отношению единицы длины к среднему расстоянию между трещинами; площадный - отношению единицы площади к площади, заключенной между двумя парами трещин двух систем; объемный – отношению единицы объема к объему усредненного структурного блока.

Другими словами при формировании геологической структуры массива, отмеченные выше структурные блоки - как кирпичики в массивах не деформируются. Деформация массива осуществляется взаимными перемещениями указанных блоков относительно друг друга. Всю эту структурную иерархию в геомеханике называют гармонией недр. Понятие

принадлежит В.И. Вернадскому и П.К. Соболевскому, которые всегда утверждали, что в недрах строгий порядок и полная гармония.

В трудах А.Ж.Машанова [18]. предлагается и теоретически обосновывается метод изучения структуры по трещинной тектонике на основе метода геометрии недр П.К.Соболевского и П.А.Рыжова. Методика изучения структуры при решении вопросов геомеханики выдержала испытания на следующих объектах Казахстана: Миргалимсай, Зыряновск, Лениногорск, Текели, Коунрад, на месторождениях ПО Каратау и Акбакай.

Аналогичные работы были проведены на других объектах московской школой геомехаников: П.А.Рыжов, В.И.Борщ-Компониец, М.А.Иофис и другие.

Все стереографические сетки неудобны тем, что очень трудно расшифровывать системы трещин, сосредоточенные в центре сеток. Кроме того, на стереографических сетках из-за разновеликости площадей трапеций затруднено проведение сглаживания. Эти недостатки не присущи прямоугольной сетке.

Прямоугольная сетка(В.И.Борщ-Компониец и другие). Замеры трещин в виде точек наносятся на прямоугольную сетку. По оси абсцисс откладывают азимуты падения, а по оси ординат – углы наклона. В пределах окна подсчитывают количество замеров, результаты записывают в его центре и проводят изолинии плотности трещин. Опыт работ показал большое преимущество прямоугольных сеток по сравнению с другими сетками в смысле простоты обработки и наглядности изображения.

В результате обработки данных съемки трещиноватости получены:

1. Карты трещиноватости (рис. 3.16)
2. Структурный разрез по бортам карьера (рис.3.17)
3. Круговая диаграмма трещиноватости (рис.3.18).
4. Прямоугольные диаграммы трещин по горизонтам (рис.3.15,е)
5. Полигональные кривые распределения систем трещин (рис. 3.19).

Для выявления общего характера расположения трещин по материалам разведки и съемки трещин составлены структурно - тектонические карты или карты трещиноватости карьеров Аксай (рис. 3.16) и структурные разрезы (рис. 3.17).

На картах трещиноватости, трещины изображаются векторами, направленными по азимуту их простирания. Длина вектора в масштабе соответствует количеству единичных замеров трещин. Рядом с вектором проставляется число, характеризующее величину среднего угла падения системы трещин.

Следовательно, конструкция бортов карьеров и их устойчивость зависят от прочности породного массива, ориентировки тектонических разломов и трещиноватости, прочностных характеристик зон разломов по трещинам. Очевидно, что как конструкции, так и их устойчивость будут отличаться на различных участках карьерного поля.

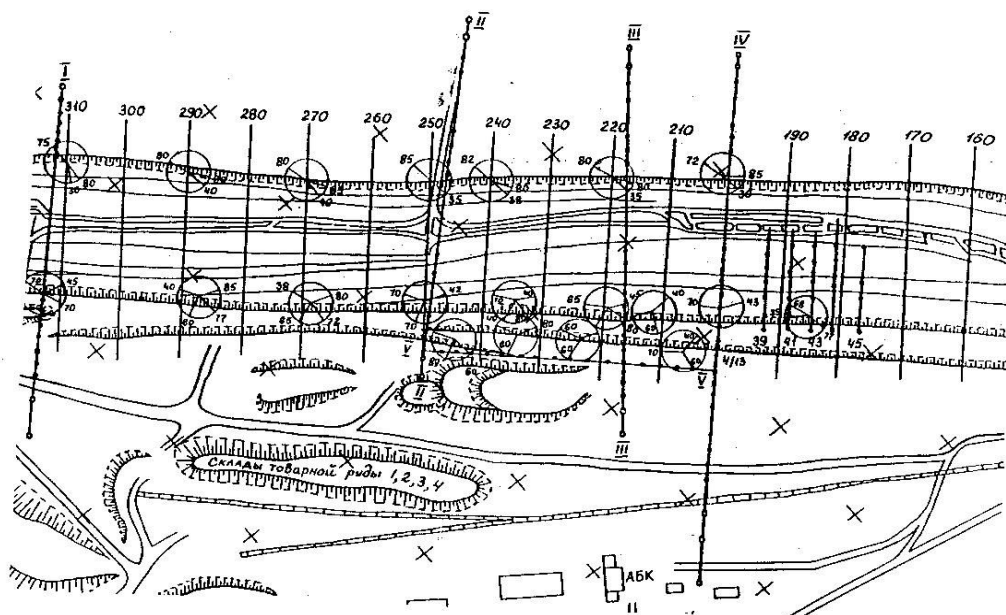
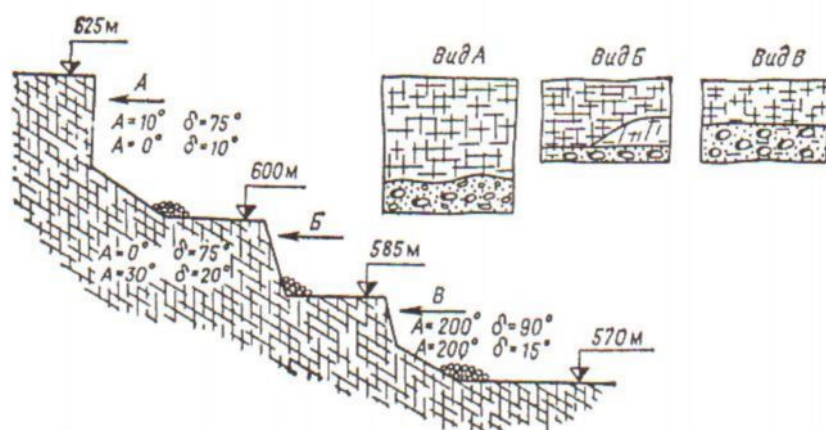


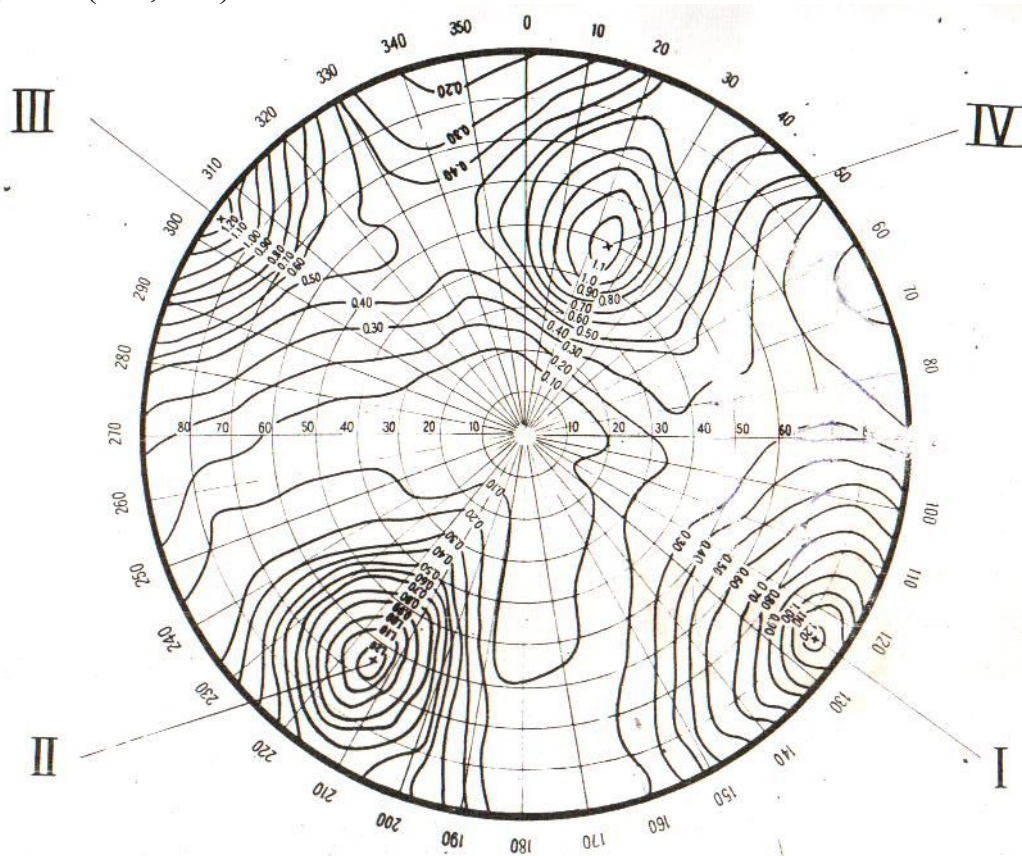
Рисунок 3.17. Карта трещиноватости месторождения Аксай

При решении ряда задач, в основном связанных с вопросами устойчивости откосов на карьерах, требуется изобразить структуру массива на разрезах в соответствии с установленной ориентировкой и частотой. Такого рода график называется структурным разрезом или решеткой трещиноватости. Его основная цель – оценить системы трещин с точки зрения влияния их на условия работы или поведения массива.



Рисун
ок 3.18
Структурны
й разрез
северного
борта
карьера
Аксай

На рисунке 3.19 приведена круговая диаграмма трещиноватости горных пород месторождения Акжал. Анализ данных съемки на карьере Акжалского месторождения показал, что наибольшие распространения получили четыре системы трещин со средними значениями элементов залегания (азимут и угол падения трещин): I (125°, 85°), II (215°, 70°), III (305°, 88°) и IV (25°, 50°).



Система трещин	По карьеру		Кремни		Кремнисто-глин. сланцы		Доломитизированные известняки		Частота, % к общему числу
	А	δ	А	δ	А	δ	А	δ	
I	125	85	120	85	125	85	130	80	44,5
II	215	65	20	70	215	70	215	70	18,3
III	305	88	30	90	265	60	300	70	30,7
IV	25	50			25	50	20	50	6,5

Рис. 3.19. Круговая диаграмма трещиноватости месторождения Акжал

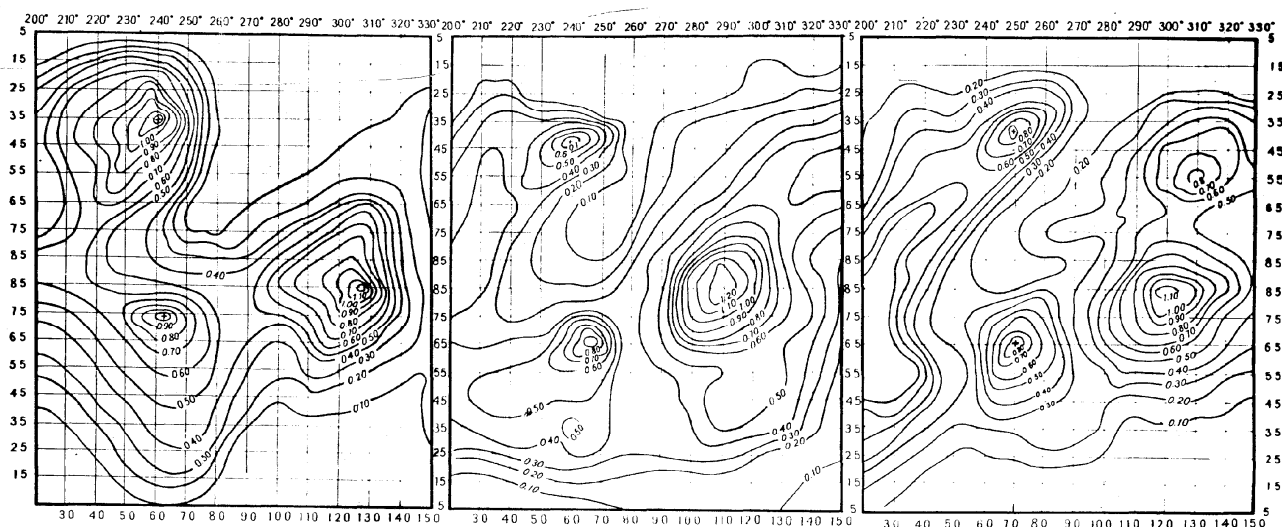


Рисунок 23 -.Прямоугольная диаграмма трещиноватости Тишинского месторождения

Полигональные кривые показывают, что самое большое распространение получили трещины с крутыми углами падения ($\delta=80^\circ$, $\delta=80^\circ$), следовательно, на верхних горизонтах углы сдвижения будут крутые, а нижних горизонтах сдвижение произойдет более пологим углом (рис.3.20).

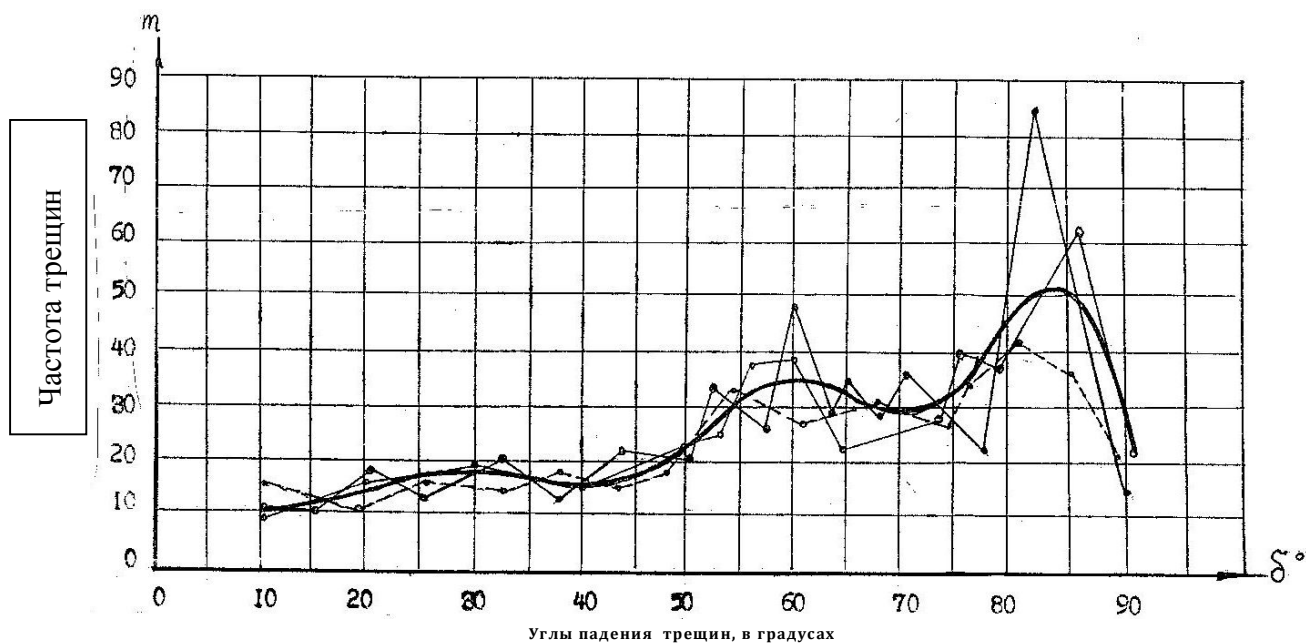


Рис.3.20. Полигональные кривые распределения трещин по углу падения

В настоящее время, благодаря широкому внедрению в практику компьютерной техники, решен вопрос обработки результатов массовых замеров элементов залегания трещин.

3.3.2 Метод построения диаграмм трещиноватости с помощью компьютерной техники

В настоящее время в связи с появлением компьютеров с большим объемом оперативной памяти и быстродействием, существует ряд компьютерных реализации по обработке результатов массовых замеров трещиноватости. Одним из них является предлагаемая нами методика построения диаграмм трещиноватости.

Разработанная нами методика автоматизированного построения «Диаграммы трещиноватости» является компьютерной технологией моделирования структурных особенностей. Речь идет не только о простом так называемом «машинном счете», а о таких программных модулях, которые позволяли бы производить адекватный анализ исходных данных.

При этом методе, отношение между объектами анализируемого множества (точек наблюдений) Z определяется прямоугольной диаграммой трещиноватости (XOY). По оси OX откладываются значения азимута простирания (A), по OY - угол наклона (δ), а положение точки наблюдения может быть однозначно представлено регулярной дискретной функцией следующего вида:

$$Z = f \cdot (\alpha, \gamma, n) \quad (64)$$

где X, Y - текущие значения азимута простирания и угла наклона точки наблюдения Z ; n - количество трещин, зафиксированных в данной точке наблюдения, то есть коэффициент значимости (плотности).

Далее этот параметр для краткости будем называть значимостью точки наблюдения. t отражает фактическое количество следов трещин со значениями азимута простирания, равному X и углу наклона Y , которые были зафиксированы в ходе полевых наблюдений.

Основная идея алгоритма заключается в следующем. На первом этапе отыскиваются области наибольшего сгущения точек наблюдений, и эти области служат для поиска оптимального варианта разбиения исходного множества на системы трещин. Далее на основе адаптивной корректировки координат центра системы трещин и состава объектов, включенных в нее, осуществляется поиск "истинного" положения этих классов на координатной плоскости - оптимизация параметров системы трещин.

Статистическая обработка замеров трещиноватости производится программой в три этапа. На первом этапе производится отсев «случайных» замеров, которые не попадают в скопления замеров, а значит, не относятся к системам трещин,

На втором этапе путем группировки оставшихся замеров производится выделение систем трещин и отнесение конкретных замеров к той или иной системе. На третьем этапе получают величины, описывающие статистические характеристики систем трещин.

Далее путем интерполяции между узловыми точками сетки строят ломанные линии, которые сглаживаются с помощью сплайнов (кривых, проходящих через все заданные точки плотности).

Комплект реализован с помощью программы Golden Software Surfer 8.0. Программа Golden Software Surfer 8.0 предназначена для работы с геологическими, топографическими картами, а мы использовали ее для моделирования структурных особенностей массива горных пород.

Таким образом, программа «Диаграмма трещиноватости» предназначена для ввода первичной информации замеров трещиноватости, их статистической обработки, построения и вывода на принтер диаграмм трещиноватости об объекте изучения для последующей их интерпретации и использования для расчета устойчивых параметров бортов карьеров.

Результаты обработки могут быть распечатаны непосредственно из программы или сохранены на диске в предлагаемом формате для дальнейшего использования.

Сохранить файл нужно в формате Microsoft Excel или в собственном формате Surfer DAT файле. Файл данных содержит три столбца. Первые два столбца являются координатами X и Y, а третий столбец t коэффициент значимости или плотности трещин. Программа отыскивает координаты X, Y, t в столбцах A, B, C соответственно. Этот файл можно создать не только в Microsoft Excel, но и в самом Surfer.

В таблице 3.6 приведены данные полевых замеров по месторождению Акжал, которые были введены в программу для автоматизированного построения диаграмм трещиноватости.

Таблица 3.6 – Исходные данные

№ точки	X,град	Y,град	Z высота	№ точки	X,град	Y, град	Z высота
1	180	50	1	46	240	80	2
2	190	30	1	47	24	50	11
3	190	30	3	48	50	65	4
4	200	60	6	49	118	85	10
5	200	70	7	50	145	70	5
6	195	90	5	51	310	60	5
7	215	65	12	52	315	90	10
8	217	75	11	53	90	30	2
9	220	80	10	54	130	30	2
10	218	85	8	55	185	85	2
11	230	80	5	56	50	20	2
12	70	50	4	57	50	86	3
13	230	50	5	58	110	80	8
14	250	50	2	59	130	80	10
15	255	35	1	60	65	70	2
16	260	50	1	61	320	65	5
17	250	90	1	62	305	85	12
18	258	86	1	63	225	20	1
19	265	75	1	64	8	55	7
20	270	65	1	65	139	85	8
21	280	45	1	66	20	72	8
22	315	28	1	67	42	60	7

23	340	22	1	68	330	86	5
24	360	20	1	69	0	32	5
25	205	86	6	70	345	28	2
26	305	80	10	71	0	65	5
27	265	90	2	72	330	35	3
28	0	25	2	73	350	35	4
29	25	40	7	74	355	40	5
30	125	83	12	75	348	50	5
31	80	80	2	76	356	62	5
32	70	85	1	77	358	70	4
33	65	81	1	78	340	65	4
34	348	45	5	79	335	86	4
35	282	90	5	80	345	85	2
36	295	86	10	81	20	15	1
37	25	82	7	82	90	20	1
38	82	48	3	83	120	12	1
39	65	60	3	84	160	38	1
40	110	60	5	85	180	60	1
41	60	40	4	86	140	52	3
42	325	53	5	87	150	75	4
43	110	50	3	88	80	60	3
44	220	86	6	89	135	68	7
45	160	85	2	90	96	65	3

Для создания диаграммы нужно запустить файл создания (рисунок 3.21).

Grid Data - C:\WINDOWS\Рабочий стол\Нурпеисова\Инструкция\danniye.xls [?] [X]

Data Columns (90 data points)

X: Column A [Данные Фильтра...]

Y: Column B [Данные Вида]

Z: Column C [Статистика]

[OK] [Отмена]

☒ Отчет

Вид сетки: Kriging [Дополнительные настройки...] [Проверка пересечения...]

Выходной файл сетки: C:\WINDOWS\Рабочий стол\Нурпеисова\Инструкция\danniye.grd [Иконка папки]

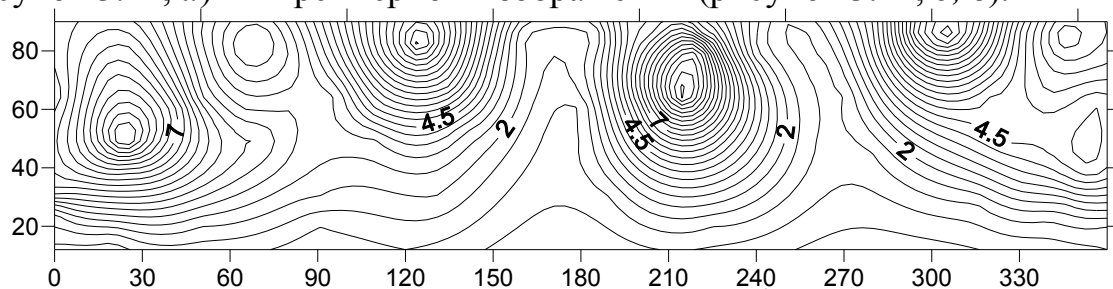
Геометрия Линии координатной сетки

	Минимум	Максимум	Интервал	# линий
X Направление:	0	360	3.636363636	100
Y Направление:	-90	86	3.666666667	49

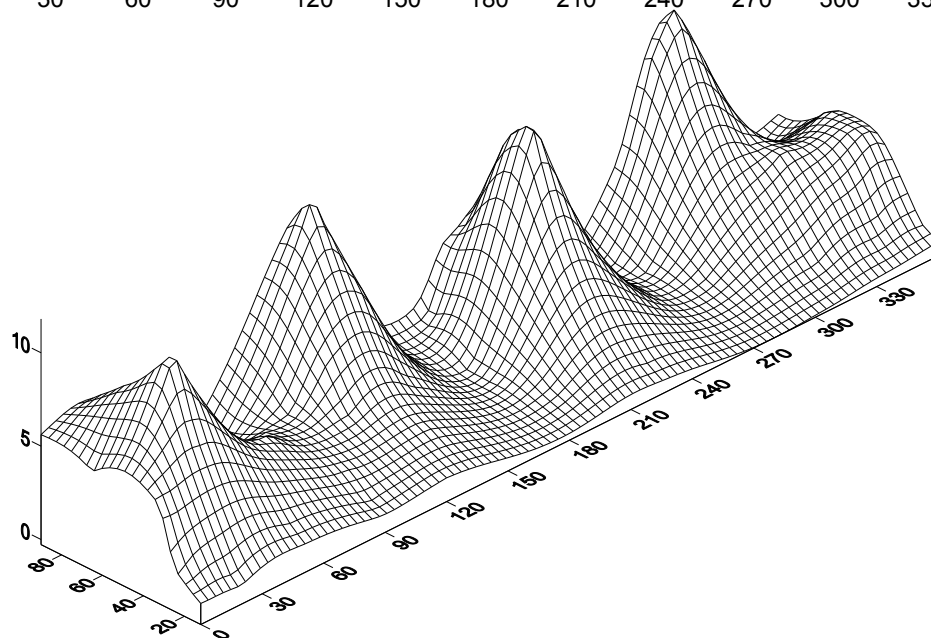
	А	В	С
1	180	50	1
2	190	30	1
3	190	30	3
4	200	60	6
5	200	70	7
6	195	90	5
7	215	65	12
8	217	75	11
9	220	80	10
10	218	85	8

Рисунок 3.21 - Внешний вид редактора журнала обработки

. Полученное изображение (диаграмма) в виде изолинии сохраняется вместе с задачей и обновляется всякий раз, при новых данных структурных особенностей массива. Результаты представляются в двух видах в изолиниях (рисунок 3.22, а) и в трехмерном изображении (рисунок 3.22, б, в).



б)



а)

в)

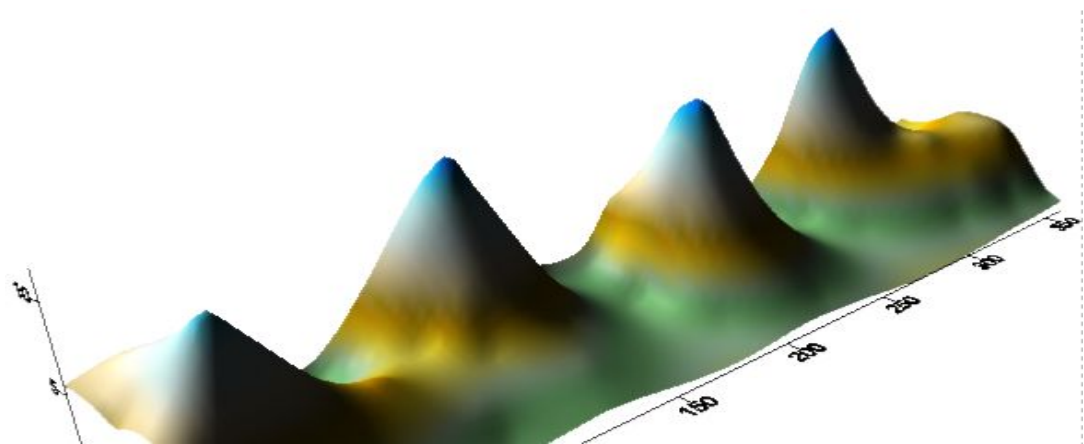


Рисунок 27 – Форма результата

Рисунок 3.22 – Форма результата

Таким образом, в результате автоматизированного построения диаграмм трещиноватости установлено, что для месторождения Акжал характерно наличие 4-х основных систем трещин со средними значениями элементов залегания (азимут, угол падения): I (30° , 55°), II (125° , 81°), III (220° , 75°) и IV (310° , 89°).

Оценка достоверности результатов. Оценка достоверности выделения активных систем трещин производилось путем сравнения двух методов обработки результатов массовых съемок элементов трещин. Результаты сопоставления двух методик выделения систем трещин (круговых диаграммах и на компьютере) сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7- Результаты сравнения систем трещин

Выделенные на компьютере, град.		Выделенные на круговых диаграммах, град.		Отклонение параметров систем трещин, град.	
A	δ	A	δ	A	δ
30	55	30	55	0	0
125	81	125	85	0	+4
220	75	215	74	-5	-1
310	89	305	88	-5	-1

Обработка замеров съемки на круговых и прямоугольных сетках очень проста и относительно не трудоемка.

3.4 Влияние структурных особенностей массива на процесс сдвижения.

Изучение процесса сдвижения горных пород позволило установить, что на этот процесс существенное влияние оказывают механические свойства массива, в особенности трещинная тектоника. Как в свое время отметил С.Г.Авершин, что трещиноватость – это один из важнейших факторов, определяющих процесс сдвижения горных пород. Поэтому исследование структурных особенностей и трещиноватости входит основным пунктом почти в каждую научно-исследовательскую работу по сдвижению горных пород.

Безусловно, что системы трещин оказывают влияние на параметры сдвижения. Во-первых, все они значительно снижают прочность породного массива, а во-вторых, часть из них при определенных условиях могут реализоваться в площадки скольжения, при деформации прибортового массива. Эти условия реализуются только при согласном залегании трещины и поверхности откоса.

Например, при закладке вертикального ствола шахты, ведении подземных выработок, при выборе ВВ, трещиноватость может оказать существенное влияние на желаемые результаты.

Нередки случаи, когда ствол шахты, пересекавший тектоническую трещину через некоторое время, стал деформироваться, когда для взрывания пород с большей трещиноватостью применялись дорогостоящие ВВ, закладывались выработки в неустойчивом направлении горных пород и т. п.

Сопоставление замеров поверхностей отдельности массива горных пород с замерах трещин отдельности в выработках показывает, что при сдвигении и деформации пород, возникающих вследствие горных работ, новых поверхностей отдельности в породах, как правило, не возникает. Сдвигение пород происходит по уже имеющимся поверхностям ослабления. По вновь образующимся трещинам сдвигение пород наблюдается весьма редко и зависит от соотношения прочности пород в массиве, сил трения и сцепления, действующих на поверхностях ослабления массива пород. При этом сдвигение элементарных блоков по поверхности ослабления носит избирательный характер.

Исследования процесса сдвижения горных пород в подземных выработках показали, что частота активных поверхностей ослабления увеличивается в направлении от очага сдвижения. Это означает, что дискретными в массиве горных пород при деформациях вне зоны беспорядочного обрушения являются элементарные структурные блоки породы, оконтуренные поверхностями ослабления (поверхностями отдельности) массива пород. В зоне беспорядочного обрушения углы сдвижения вначале более крутые (иногда вертикальные), чем в вышележащих зонах прогиба пород, и совпадают с соответствующими плоскостями ослаблений пород. Особенно часто это наблюдается при системах разработки с обрушением. В дальнейшем здесь наступает замедленная стадия процесса сдвижения и углы сдвижения выполаживаются.

Отдельные сдвиги элементарных блоков отдельности по поверхностям ослабления относительно друг друга создают общую картину сдвижения горных пород от подземных выработок до земной поверхности. Результирующая этих сдвигов на границе части пород, затронутых сдвижением, представляет собой поверхность, ограничивающую смещенную часть массива пород по нетронутой его части.

Значения углов сдвижения могут быть определены теоретически на основе изученности строения массива горных пород и учета физической сущности процесса их сдвижения.

Многолетний опыт изучения влияния трещиноватости на деформацию приоткосных массивов показывает, что наиболее опасными являются продольные согласно падающие трещины и практически не опасны крутопадающие трещины. Анализ зависимости угла откоса от угла падения трещин показывает, что падение трещин в сторону карьера в значительной степени влияет на угол откоса уступа, причем, эта зависимость линейная, прямая, т.е. крутое падение трещин обуславливает и крутой угол, а пологое падение - пологий угол откоса уступа (рисунок 4.13).

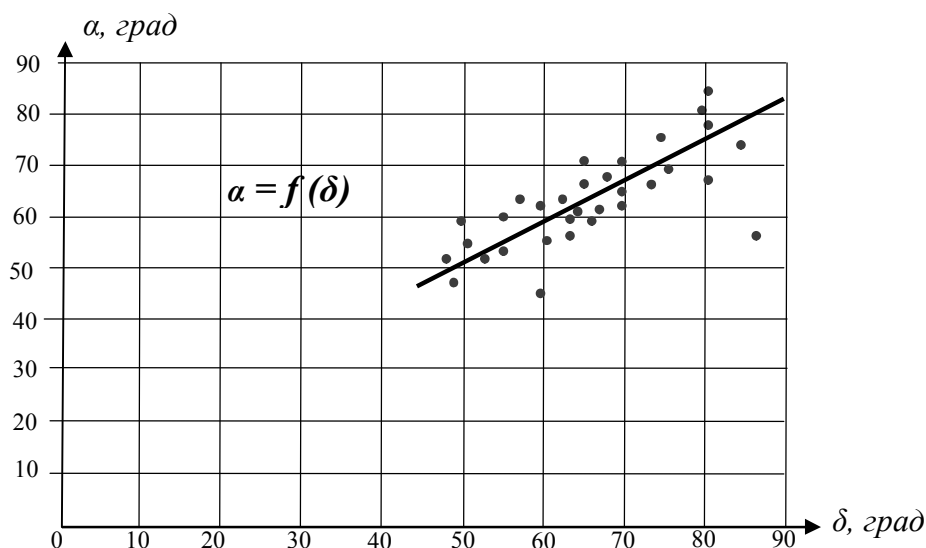


Рисунок 3.23- Зависимость угла откоса уступа от угла падения трещин

Такая зависимость наблюдается при падении трещин в сторону карьера в диапазоне 40° - 80° .

На рисунке 3.24 приведены диаграммы трещиноватости пород по горизонтам рудника «Молодежный». Из диаграммы трещиноватости по горизонтам видно, что с увеличением глубины отработки интенсивность трещин горных пород уменьшается, следовательно, на процесс сдвижения будут оказывать влияние те системы трещин, которые прослеживаются с поверхности до интересующей глубины, а также то, что с углублением горных работ углы падения систем трещин выполаживаются.

Установлено, что на руднике Молодежный углы сдвигов горных пород равны углам падения систем трещин, т.е. при образовании провалов и воронок на дне карьера углы разрыва были равны к величине 90° а при образовании трещин на земной поверхности - близки к величине $45^\circ + \rho/2$.

И это видно из диаграммы трещиноватости, где углы падения систем трещин на карьере крутые, а нижележащих горизонтах – пологие. Следовательно, по мере углубления горных работ сдвигения произойдет под более пологим углом.

В висячем боку рудного тела довольно четко выделяется система трещин (II) с углом падения $75-80^\circ$ и азимутом простирания 275° . Принимая во внимание северное падение этой трещины и отсутствие других систем, падающих к рудному телу, можно полагать, что именно поэтому углы разрыва в висячем боку имеют большую величину ($\beta' = 75^\circ-80^\circ$).

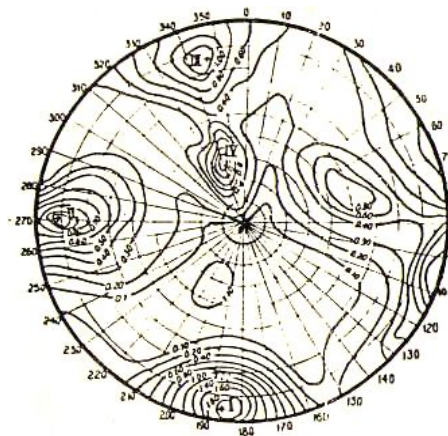
Системы трещин, выявленные с помощью круговых диаграмм на различных горизонтах рудника «Молодежный» приведены на рис. 3.24.

Карьер

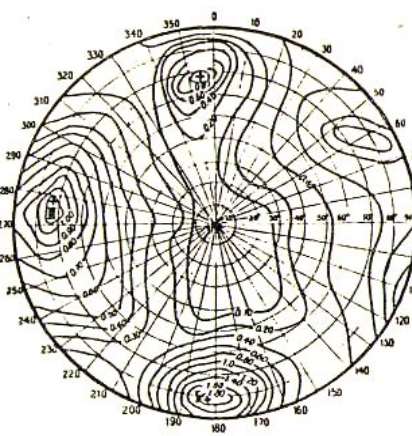
Гор.+491м

Гор.+431 м

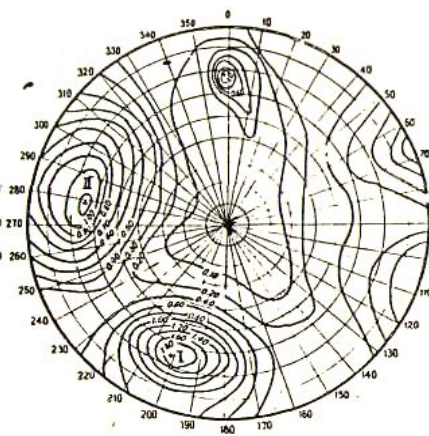
Гор.+371 м



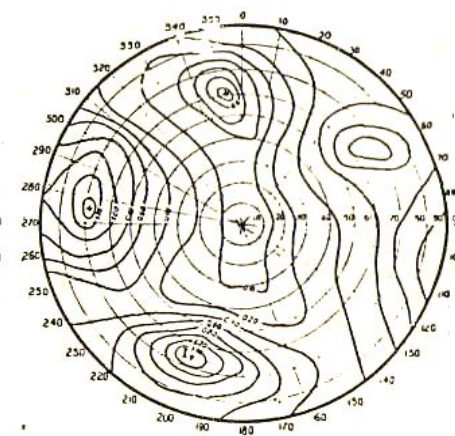
Система трещин.	A, град.	δ, град.
I	185	88
II	270	85
III	345	70
IV	345	30



Система трещин.	A, град.	δ, град.
I	185	85
II	275	80
III	350	65
IV	-	-



Система трещин.	A, град.	Δ, Град.
I	200	80
II	278	75
III	345	64
IV	-	-



Система трещин.	A, град.	Δ, град.
I	200	75
II	275	70
III	345	62
IV	-	-

Рисунок 3.24– Диаграммы трещиноватости горных пород месторождения Чулактау по горизонтам

Для установления характера влияния трещиноватости пород на параметры (углы разрыва) сдвижения необходимо сравнить эти параметры, т.е. сравнить углы разрыва с углами падения систем трещин. Если будет установлено равенство углов разрывов с углами падения систем трещин, это даст основание полагать, что сдвижение происходит в форме сдвига по плоскостям ослабления.

В качестве примера влияния трещиноватости на параметры сдвижения можно называть работу А.Г.Акимова [33], Ж.С.Ержанова [24], М.А.Кузнецова[34] где установлена связь между углами разрыва и ориентировкой систем трещин для рудников РФ и Казахстана.

Совпадения углов разрыва с углами падения систем трещин получено на Туимском, Успенском, Чорух-Дайронском, Текелийском, Каратауских и Акбакайском рудниках(табл.3.8), где углы разрывов по углам падения господствующих систем трещин отличаются от фактических не более чем на $\pm (2 - 5^\circ)$, т.е. точность их определения примерно та же, что и углов, полученных в результате инструментальных маркшейдерских наблюдений.

Таблица 10 – Углы разрывов рудных месторождений

Рудники, Профиль- ные линии	Исходные параметры			Характеристики пород		Углы паден. трещин, град		Углы разрывов β''		
	Н, м	α , град	γ , т/м	ρ , град	κ , т/м ³	δ_1	δ_2	По трещи- нам	Факт- ичес- ский	
Салаир, профиль 1-1	240	70	2,5	25	40	75	63	63	65	+2 °
Салаир, профиль П	300	70	2,5	25	40	75	63	75	80	+5 °
Таштоголь, Профиль Д	320	90	2,5	25	40	60	50	50	48	-2 °
Чорух- Дайрон, 1-1	210	850	2,8	305	40	80	70	75	75	0
Успенский, профиль III	250	90	2,7	30	40	85	50	80	84	+4 °
Золотушинск профиль 2	192	78	2,5	25	40	60	45	60	64	+4 °
Текли, Профиль 2-2	300	70	2,8	32	37	60	55	55	60	+5 °
Молодежн. профиль II-II	340	82	2,8	33	46	75	60	75	75	0
Молодежн. проф. IV- IV	340	82	2,8	33	46	75	60	75	72	- 3 °
Аксай, Профиль 3-3	180	70	2,7	30	40	70	60	70	72	+2 °
Акбакай, профиль II-II	300	82	2,7	34	50	85	80	85	85	0

В породном массиве месторождений бассейна Каратау в большой степени развиты только крутопадающие трещины (рис.3.24), то с большой степенью вероятности следует ожидать углы разрывов и углы сдвижения также будут крутыми.

Таким образом, сдвижение происходит в форме сдвига, что следует из характера деформирования прибортового массива и из совпадения направлений векторов сдвижения реперов с направлением трещиноватости.

Контрольные вопросы:

1. Что такое трещинная нарушенность массива?
2. Что такое структурна массива горных пород?
3. Классификация трещиноватости ?
4. Для какой цели изучают структурные особенности массива?
6. Методы изучения трещиноватости?
7. Что снимают горным компасом?
7. Съёмка трещин лазерным сканером.
8. Методы обработки результатов массовых замеров съёмки трещин?
9. Что такое система трещин?
10. Влияние систем трещин на процесс сдвижения.

4 ГЕОМЕХАНИКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

4.1. Основные причины и виды деформаций горных пород

Сдвигание горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых снижает основные преимущества открытых работ, наносит значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушая правильное и безопасное ведение горных работ, вызывая потери полезного ископаемого. В настоящее время в Республике около 80% всех объемов добычи осуществляется с применением более экономичного и безопасного открытого способа разработки, и эта отрасль развивается за счет использования высокопроизводительной технологии и увеличения глубины карьеров с применением новых технологических решений. Воздействие на окружающую среду современных карьеров и техногенных массивов приобретает масштабный характер.

Увеличение глубины и объемов открытых горных работ, усложнение инженерно-геологических условий разработки определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов глубоких карьеров. От него зависит безопасность работ на карьерах и объемы потерь готовых к выемке запасов полезных ископаемых, объем вскрыши и основные экономические показатели горного производства. В частности, увеличение общего угла наклона борта только на 1° при глубине карьера 300 м приводит к сокращению объема вскрыши почти на 3 млн.м³ на каждый километр протяженности борта. В настоящее время годовой объем пустых пород, перемещаемых в отвалы, в нашей стране составляет несколько миллиардов кубометров. При дальнейшем развитии открытых работ, и особенно при увеличении глубины карьеров, вопрос устойчивости и бортов приобретают все большее значение.

Многие открытые горные работы разработки Казахстана сопровождаются деформациями прибортовых массивов. Деформационные процессы представляют собой продолжительные по времени последовательные события, начиная от их возникновения и кончая результатами. Для решения этой проблемы необходимо изучить причины деформаций прибортовых массивов и все разнообразие их проявлений.

На карьерах различают следующие основные виды нарушений устойчивости уступов: *осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины*.

Осыпи - постепенное скатывание отдельных кусков и сыпучих масс к основанию откоса. Они характерны для всех видов горных пород. Такое перемещение происходит в том случае, когда угол откоса больше угла естественного откоса и отсутствии сцепления пород.

Обрушения - быстрое смещение породных масс по поверхностям скольжения, которыми могут являться поверхности, ослабленные тектоническими нарушениями и трещиноватостью. Активная стадия обрушений протекает практически мгновенно, поэтому они очень опасны для людей и механизмов, работающих на нижележащих уступах.

Оползни- медленное смещение породных масс по пологой поверхности. Оползание массива происходит по поверхности скольжения в виде плавной кривой в нижней части, а вверху заканчивающейся вертикальной трещиной отрыва глубиной H_0 . При этом сползший блок обычно полностью разрыхляется и приобретает способность к поглощению воды, и в дальнейшем может перейти в оплывину.

Просадки - вертикальное опускание прибортовых участков рыхлых породных масс без образования сплошной поверхности скольжения. Они возникают в результате уплотнения отвальных пород, их увлажнении атмосферными осадками.

Оплывины происходят в породах, способных насыщаться водой и в результате этого переходить из твердого в текучее состояние. Чаще всего оплывины наблюдаются при насыщении влагой рыхлых отложений (пески, глины и др.) Устраняют оплывины проведением дренажа.

При разработке рудных месторождений полезных ископаемых Казахстана, практически на каждом карьере можно встретить наличие вышеперечисленных видов деформаций карьерных откосов (табл.4.1).

Таблица 4.1 Виды деформаций карьерных откосов месторождений
Центрального Казахстана

Месторождения (карьеры)	Осыпи	Обрушения	Оползни	Просадки	Оплывины
М е д н о р у д н ы е					
1. Саякское (Саяк)	имеются	локальные	-	-	-
2. Коунрадское (Коунрад)	имеются	локальные	-	-	-
3. Жезказганское (Златоуст-Беловский, Акчий_Спаский)	имеются	локальные	-	оснований отвалов	-
П о л и м е т а л л и ч е с к и е					
4. Карагайлинское (Главный, Дальний)	имеются	локальные	верхних глинистых откосов	оснований отвалов	-
5. Акжалское (Акжалский)	имеются	локальные	-	-	-
6. Жереское (Жерек)	имеются	локальные	локальные	-	-
7. Родниковское (Родниковый)	имеются	локальные	локальные	-	-
Б о к с и т о в ы е					
8. Тургайское (Аркалык I- III)	имеются	-	локальные	-	-
Н е р у д н ы е					
9. Южно-Топарское известняковое (Топарский)	имеются	локальные	верхних глинистых откосов	оснований отвалов	места подпитки глинистых откосов родниковыми водами
10. Алексеевское доломитовое (Алексеевский)	имеются	локальные	-	-	-

4.2. Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров

Устойчивость бортов карьеров определяется соотношением сил, удерживающих откос, и сил, стремящихся его сдвинуть. На величину отмеченных сил оказывают влияние многие факторы.

Определение устойчивых углов наклона бортов карьеров (откосов) по существу является задачей теории предельного равновесия. Ниже в общем виде рассматривается условие равновесия горных пород прибортовой части карьера. С помощью многочисленных данных, полученных на практике, установлено, что нарушение массива горных пород при оползнях происходит по круглоцилиндрической поверхности ADC (рис.4.1). Для упрощения предположим, что оползание происходит по плоскости AC под углом β к горизонту.

Рассмотрим условие равновесия оползневого клина ABC.

Сила тяжести этого клина Q_i может быть разложена на нормальную $N=Q \cdot \cos\beta$ и касательную $S=Q \cdot \sin\beta$ составляющие. Составляющая S стремится сдвинуть блок по плоскости CA.

Однако сдвигению этого блока спрпятствует удерживающая сила T , направленная противоположна силе S и состоящая из силы сцепления $k \cdot l$ и силы трения $N \cdot \operatorname{tg} \rho = N \cdot f$, где k -сцепление горных пород; ρ -угол внутреннего трения пород и f_i ,- коэффициент внутреннего трения.

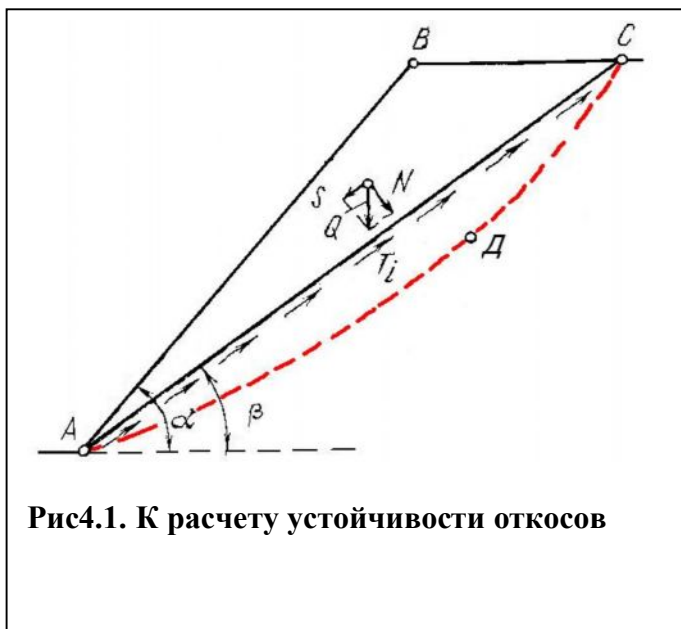


Рис4.1. К расчету устойчивости откосов

Следовательно, общая удерживающая сила в плоскости AC, препятствующая сдвигению клина AB по этой плоскости

$$S_{\text{уд}} = k \cdot l + N \cdot f. \quad (4.1)$$

Устойчивость откосов обычно характеризуется **коэффициентом запаса устойчивости откоса n** , являющимся отношением суммы всех сил сопротивления сдвигу ΣT к сумме сдвигающих сил ΣS , действующих вдоль наиболее слабой поверхности:

$$(4.2)$$

где ΣS – сумма удерживающих сил, МПа;
 ΣT – сумма сдвигающих сил, МПа;
 Q – вес сдвигающегося клина, МПа

N – вес нормального составляющего, МПа;

S - вес касательного составляющего, МПа;

ρ – угол внутреннего трения, градус;

k - сцепление пород, МПа;

l - длина поверхности оползня, м.

$\Sigma F_{\text{тр}} = f \cdot \Sigma N$ – сила трения, МПа·

$\Sigma F_{\text{сц}} = k \cdot L$ - силы сцепления, МПа.

Слишком большое значение коэффициента запаса - n приводит к чрезмерному выполаживанию откоса, т.е. увеличению объема вскрыши на карьере. Проектирование откосов скальных пород производят в основном при значении коэффициента запаса устойчивости $n \geq 1,3$.

Применительно к открытому способу разработки **деформация горных пород** - процесс перемещения некоторой части массива горных пород, происходящий в определенных условиях под влиянием природных экзогенных и горно-технических факторов и приводящий к изменению формы инженерного сооружения (борта карьера, уступа, отвала, дорожного основания и др.). Деформации горных пород наносят большой ущерб народному хозяйству, так как нарушают нормальный режим горного предприятия и ведут к дополнительным материальным затратам.

На геомеханические процессы существенное влияние оказывают *геологические* и *гидрогеологические условия*, в которых функционирует карьер и две группы факторов (*природных* и *горно-технических*).

Геологические условия включают состав, строение и свойства горных пород. Они характеризуют особенности деформаций массива и выбор расчетных схем устойчивости, противодеформационные мероприятия и величину показателей, закладываемых в расчеты.

В геологических условиях выделяют:

- наличие мощной толщи вскрыши, представленной глинистыми породами. Этот компонент обуславливает необходимость выполюкивания бортов и применения малоэффективных систем разработки, ограничивает проходимость горно-транспортного оборудования в период строительства карьера;

- неблагоприятно ориентированную структуру массива горных пород. Этот компонент осложняет строительство и эксплуатацию карьеров, ухудшает условия устойчивости откосов;

- неблагоприятные показатели свойств вскрышных пород (низкая водопроницаемость пород, склонность пород к набуханию, низкую несущую способность пород, низкое сопротивление сдвигу)

Все эти компоненты осложняют и удорожают строительство карьеров, ограничивают применение горно-транспортного оборудования с большим удельным давлением на грунт, приводят к многочисленным деформациям откосов.

Гидрогеологические условия воздействуют как на прочность массива горных пород, так и на условия их деформирования. Эффективность влияния

этой группы условий зависит от характеристик подземных и поверхностных вод и условий среды.

в гидрогеологических условиях выделяют:

- поверхностные воды, пересекающие карьерное поле или находящиеся в непосредственной близости от него. Этот компонент приводит к фильтрации воды в карьер, возникновению фильтрационных деформаций, осложняет строительство и эксплуатацию карьеров, ухудшает условия устойчивости откосов;

- водоносные горизонты в массиве горных пород. Этот компонент приводит к возникновению фильтрационных деформаций откосов, увеличению влажности полезного ископаемого, увлажнению основания внутренних отвалов, развитию процессов растворения, выщелачивания и набухания пород и руд, фильтрации воды в карьер. В результате осложняется строительство и эксплуатация карьеров, ухудшается качество полезного ископаемого, ухудшаются условия устойчивости откосов, снижается производительность горно-транспортного оборудования;

- обводненность контактов слоев и структурных нарушений. Этот компонент приводит к деформации откосов и может вызвать внезапный прорыв воды в карьер;

- карст. Этот компонент приводит к просадке и обрушению уступов, ухудшению их устойчивости и может вызвать аварии горно-транспортного оборудования.

Все эти компоненты также весьма негативно сказываются на устойчивости карьерных откосов и могут вызвать их интенсивные деформации.

В группу **природных факторов** входят атмосферные осадки, температурный режимы района и силы ветра. Атмосферные осадки при отсутствии регулярного их стока приводят к обводнению песчано-глинистых пород и насыщению их влагой, снижая силы сопротивления сдвигу и тем самым уменьшая устойчивость откосов. Влияние на устойчивость горных пород оказывают температурный режим и ветры, зачастую способствующие ускорению выветривания.

Природные факторы должны учитываться при разработке мероприятий по уменьшению сроков стояния уступов и бортов (атмосферные факторы), в расчетах устойчивости уступов (температурный режим) и при прогнозировании некоторых видов оползневых деформаций (количество и периодичность атмосферных осадков).

Существенно на устойчивость прибортовых массивов влияют **горно-технические факторы**, среди которых наибольшее значение имеет способ производства взрывных работ, так как после взрыва в некоторой части массива его прочность не превышает 20-25% естественной. Для избежания оползней или обрушений при этом приходится изменять сторону снижения эффективности параметры систем разработки (ширину площадок и берм, высоту и угол откосов, уступов и т.д.).

Необходимость проведения детальных исследований в этом направлении

диктуется тем обстоятельством, что этой группой факторов возможно управлять и тем самым снижать их вредное воздействие на массив горных пород.

4.3. Маркшейдерские наблюдения за деформациями карьерных откосов

4.3.1 Создание единой системы геомеханического мониторинга

Исходя из задач и функций управления устойчивостью породных массивов, особенно карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризующихся разнообразием и изменчивостью геологического строения, необходимо постоянно проводить исследования, направленные на получение достоверной информации о структурных особенностях прибортового массива, его прочностных свойствах, гидрогеологических условиях и т.д. Такие исследования должны проводиться на всех этапах формирования карьерных откосов (строительство карьера, освоения проектной мощности, начало оформления постоянных бортов карьера на предельном контуре, доработка карьера) в рамках единой системы.

Критерием правильности ранее принятых технологических решений по параметрам карьерных откосов является маркшейдерский инструментальный контроль за состоянием бортов карьеров и отвалов, поэтому его также необходимо включить в единую систему маркшейдерских наблюдений и исследований. В результате комплексных исследований можно проводить оценку и прогноз геомеханических процессов, происходящих в прибортовых массивах карьера и разработку рекомендаций по параметрам карьерных откосов с целью повышения эффективности и безопасности ведения горных работ. На основании вышеизложенного данную систему можно охарактеризовать единым названием - *геомеханический мониторинг*.

Мониторинг, согласно энциклопедическому определению, это комплексная система регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды с целью выявления негативных изменений и выработки рекомендаций по их устранению или ослаблению.

В соответствии с этим определением, геомеханический мониторинг - это комплексная система, включающая в себя [143]:

- периодические маркшейдерские и инженерно-геологические наблюдения за состоянием откосов;
- исследования инженерно-геологических характеристик состава и свойств горных пород; изучение структурных особенностей прибортового массива;
- оценку и прогноз геомеханических процессов, происходящих в массиве;
- определение параметров устойчивых откосов на основе создания адекватной геомеханической модели массива;

- разработку рекомендаций по оперативному изменению параметров бортов карьера и отвалов с целью повышения эффективности и безопасности ведения горных работ.

Главной целью мониторинга является надежное обеспечение устойчивости уступов и бортов карьеров при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, сложенных скальными, полускальными, глинистыми и песчано-глинистыми породами, характеризующихся сильной дизъюнктивной и пликативной нарушенностью и интенсивной трещиноватостью горного массива, структурная схема которого приведена на рис.4.2.

Геомеханический мониторинг включает оперативное определение инженерно-геологических характеристик, вещественного состава и оценку экологической и геомеханической опасности

1. В состав геомеханического мониторинга входят:

- получение комплексных инженерно-геологических характеристик состава и физико-механических свойств пород на карьерах, отвалах и их основаниях для расчета устойчивости и прогнозирования надежности управления состоянием массива;

2- геомеханическое обоснование и исследование структурных и тектонических особенностей разрабатываемых месторождений для расчета устойчивости карьерных откосов и управления состоянием прибортового массива;

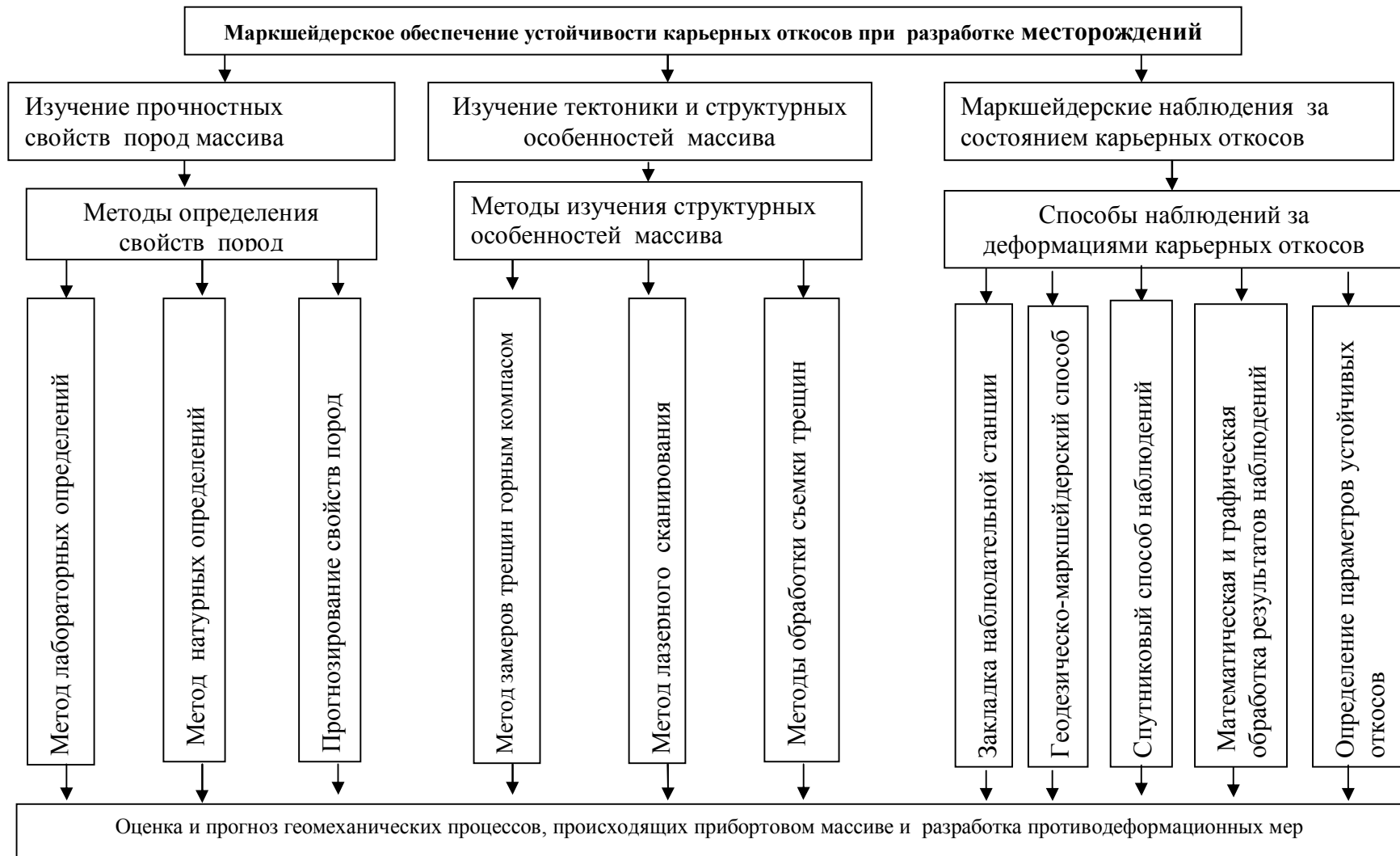
3- изучение динамики развития геомеханических процессов в карьерных откосах и отвалах;

4- геомеханическое обоснование и назначение противодеформационных мероприятий прибортового массива, которые базируются на анализе влияния гравитационных, тектонических, фильтрационных, сейсмозрывных и температурных сил и синтезе их суммарного воздействия;

5- инженерно-геологический и геомеханический комплекс работ по изучению, прогнозу и контролю состояния и свойств карьерных и отвальных массивов, позволяющий управлять параметрами карьерных откосов в период проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации, а также обеспечивающий промышленную и экологическую безопасность горных работ;

6- разработка принципов построения системы геомеханического мониторинга на месторождениях, разрабатываемых открытым способом, который позволит оценить устойчивость и несущую способность сооружений по результатам наблюдений за деформированием этих сооружений;

7- обоснование технологических схем отвалообразования для конкретных горно-геологических условий с учетом обеспечения промышленной и экологической безопасности ведения горных работ.



Риснок 4.2. Геолого - маркшейдерское обеспечение устойчивости карьерных откосов

2. Способы и средства мониторинга:

- выполнение маркшейдерских, инженерно-геологических и инженерно-геофизических наблюдений за состоянием техногенных массивов;
- проведение комплексных маркшейдерских наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов, обеспечивающих непрерывные наблюдения за параметрами состояния карьерных откосов;
- оценка и прогноз гидрогеологического состояния прибортового массива;
- изучение инженерно-геологических условий карьеров и отвалов;
- изучение особенностей технологии на карьерах и влияние их на геомеханические процессы;
- обоснование параметров карьерных откосов с учетом временного фактора и реологических характеристик пород, слагающих прибортовой массив;
- установление основных факторов, определяющих состав, состояние и свойства пород карьеров и отвалов;
- разработка методики и программного обеспечения для обоснования параметров устойчивых бортов карьеров и отвалов.

3. Разработка методических основ маркшейдерского мониторинга устойчивости откосов на карьерах. В рамках этой проблемы необходимо решить следующие задачи:

- изучить состояние устойчивости откосов на карьерах Казахстана и разработать, исходя из этого, типовые схемы месторождений по условиям управления устойчивостью;
- разработать задачи и функции геолого-маркшейдерского обеспечения мониторинга управления устойчивостью откосов в зависимости от этапа развития горных работ на карьерах;
- обоснование, контроль и прогноз устойчивости откосов на основе систематического изучения деформаций при развитии горных работ;

4. Разработка методики управления устойчивостью бортов и уступов карьеров, которая должна включать следующие задачи:

- 1- оценка устойчивости откосов при проектировании и корректировке устойчивых параметров при развитии горных работ в плане и по глубине;
- 2- оценка фактического состояния откосов и прогноз их устойчивости в процессе эксплуатации; охрана объектов, жизненно важных для горного предприятия;
- 3- разработка методики систематического контроля и целенаправленного воздействия на условия и факторы, определяющие устойчивость горных пород в откосах;
- 4 геомеханическое обоснование мер по ликвидации нарушений устойчивости, контроль за их реализацией и оценка их эффективности;
- 5- осуществление оперативного контроля за состоянием уступов и бортов карьеров и прогноз нарушений устойчивости откосов от начала строительства до погашения или консервации карьера;

6- внедрение рекомендаций по устойчивым параметрам бортов карьеров в производство на этапе проектирования открытых горных работ на базе геолого-маркшейдерской информации.

Реализация данной методики на карьерах позволяет обеспечить безопасные условия труда и бесперебойный режим работы горнодобывающего предприятия.

4.3 Маркшейдерские наблюдения за деформациями карьерных откосов

4.3.1 Общая методика маркшейдерских наблюдений .

В соответствии с Положением о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр, в функции маркшейдерской службы, в частности, входит ведение мониторинга состояние недр, включая процессы сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханических и геодинамических процессов при недропользовании в целях предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях бортов карьеров и отвалов и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости. Наблюдения, анализ и интерпретация результатов наблюдений позволяют:

- 1) определить величины смещений, деформаций, скоростей развития процесса деформирования и границы распространения деформаций;
- 2) установить тип разрушающих деформаций прибортового массива пород;
- 3) установить взаимосвязь между факторами, определяющими устойчивость прибортового массива, и процессом деформирования бортов карьеров и откосов отвалов и определить количественные соотношения между ними;
- 4) осуществить контроль за ведением горных работ на деформирующихся участках бортов и отвалов;
- 5) определить эффективность противодеформационных мероприятий.

Рекомендации по созданию наблюдательных станций и методикам наблюдений изложены в разработанной ВНИМИ «Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости» [20].

В зависимости от целей и задач, а также условий отработки месторождения наблюдения проводят в различном объеме и в различные по продолжительности времени периоды. Наблюдения за оползнями разделяют на два этапа: разведка и выявление оползневых очагов; наблюдение и разработка мероприятий по ликвидации оползневых явлений.

Для проведения наблюдений за сдвижением горных пород на борту карьера закладывают наблюдательные станции, на которых периодически через определенные промежутки времени производят инструментальные

наблюдения. Наблюдательные станции представляют собой систему реперов, закладываемых по линиям, перпендикулярным к простиранию борта карьера (рис. 4.3.). Чтобы учесть влияние различных факторов на устойчивость бортов, профильные линии наблюдательной станции обычно закладывают в различных горногеологических условиях.

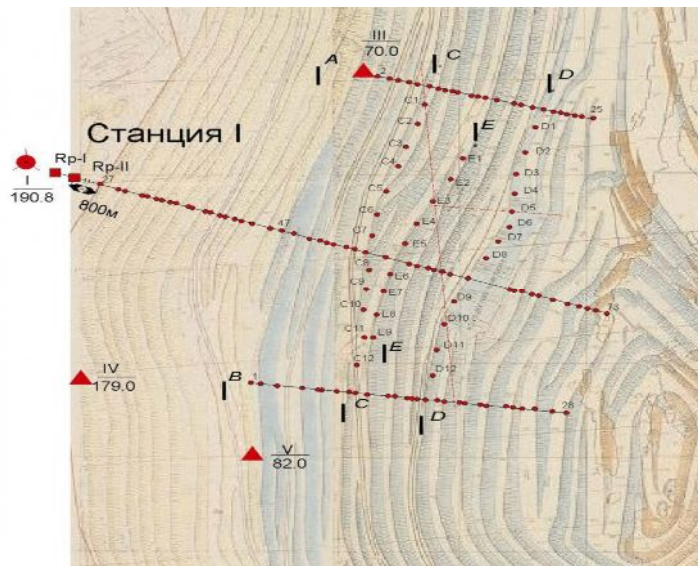
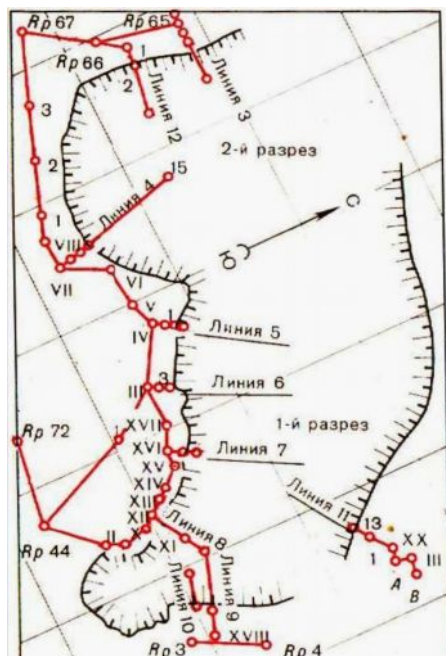


Рис.4.3.Планы наблюдательных станций:
а – на угольном разрезе; б- на рудном карьере

Длина профильных линий должна быть такой, чтобы оба или один ее конец были вне зоны ожидаемых сдвижений. При небольшой глубине профильные линии могут быть проведены через весь карьер. Расстояние между рабочими реперами зависит от их расположения на профильной линии. На каждой площадке (берме) уступа или яруса отвала заложены не менее двух реперов - один вблизи бровки уступа, другой - у подошвы вышележащего уступа. Реперы закладывались так, чтобы была обеспечена безопасность наблюдателя при работе на этих реперах.

На концах профильных линий имеются опорные реперы. При сооружении наблюдательной станции закладывают не менее трех исходных реперов таким образом, чтобы была гарантия их сохранности. К исходным реперам привязываются опорные реперы всех линий.

Конструкция реперов выбираются в соответствии с Инструкцией ВНИМИ, т.е. она должна быть простой и способ закладки реперов должен обеспечить прочную связь их с горной породой, чтобы сдвижения репера точно соответствовали сдвижениям пород; сохранность и неизменность положения реперов на весь срок их службы, а также удобство пользования ими.

В соответствии с выше изложенным, закладку исходных и рабочих реперов осуществляли следующим образом: в пробуренной скважине диаметром 160 мм

Предотвращение оползней и обрушений откосов на карьерах, разработка мероприятий, снижающих вредное воздействие сдвижения горных пород на устойчивость уступов и бортов карьеров является необходимым условием

бесперебойной работы горнодобывающего предприятия. Непрерывная технологическая подвижность откоса накладывают на организацию наблюдений определенные особенности. Заложенные на откосах точки не могут долго сохраняться (особенно на уступах рабочего борта). Поэтому наблюдения нужно организовать так, чтобы относительно небольшие сроки они были закончены.

Маркшейдерские наблюдения на станции складываются из: нивелировании всех реперов, включая опорные; измерения всех расстояний между реперами; инструментальной съемки отдельных уступов, навалов пород, элементов залегания пород, трещиноватости, образовавшихся смещений и т.д.

В результате выполнения наблюдений должна быть составлена следующая графическая документация: план наблюдательной станции (рис.4.3); вертикальные разрезы по каждому профилю; графики векторов смещений реперов в вертикальной плоскости (рис.4.4) и др.

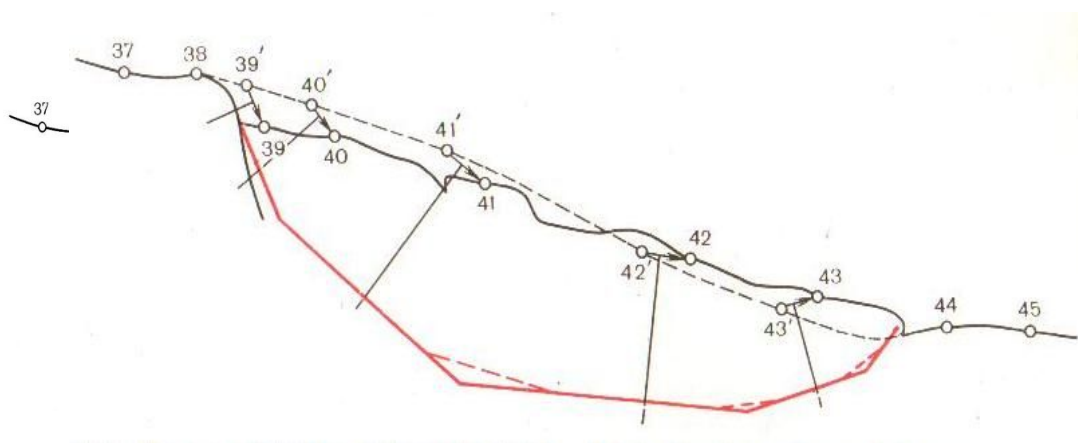


Рисунок 4.4. Схема определения положения линии скольжения по данным наблюдений за перемещениями реперов

Информация о скорости угловых деформаций может служить основой для оценки состояния прибортовых массивов и разработке мероприятий по предупреждению возможных деформаций и стабилизации откосов.

Анализ методов инструментальных наблюдений за состоянием карьерных откосов показывает необходимость их дальнейшего совершенствования с использованием современных геодезических средств на примере лазерного сканирования, электронной тахеометрии, фотограмметрии, глобальных спутниковых систем, современных информационных технологий и радарной интерферометрии.

В настоящее время выделяют два метода радарной интерферометрии: спутниковая и наземная. В силу различных причин в Казахстане метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Технология применения наземной радарной интерферометрии для определения смещения земной коры

применяется только несколькими научно-исследовательскими институтами и организациями в мире.

Широкое внедрение в практику маркшейдерско-геодезических работ электронных тахеометров и спутниковых GPS приборов, дает уникальную возможность быстро и точно определить параметры сдвижения массива горных пород и вести регулярные, непрерывные наблюдения за изменением этих параметров во времени. Среднеквадратические погрешности ошибок маркшейдерских наблюдений представлены в таблице 4.1

Таблица 4.1 Среднеквадратическая погрешность ошибок измерения

Но- мер	Метод маркшейдерских наблюдений	Расстояние от опорных реперов до рабочих, м	СКО определения положения точек, м	
			в плане $m_{x,y}$	по высоте m_z
1	Тахеометрический	100	0,250	0,020
2	Геодезические наблюдения по профильным линиям и нивелирование III класса	100	0,010	0,002
3	Фототеодолитная с графомеханической обработкой снимков	100	0,030	0,010
4	Метод конвергентной фото-теодолитной съемки с дифференциальным определением смещений точек	100	0,008	0,004
5	Метод воздушной стереофотограмметрической с графо-механической обработкой	100	0,030	0,030
6	Аэрофотогеодезический с аналитической обработкой снимков	100	0,007	0,011
7	Лазерное сканирование	100	0,050	0,050
8	Интерферометрия: спутниковая наземная	1 Пиксель	0.500 0.001	0.500 0.001
9	GPS: статика кинематика	100	0.010 0.020	0.010 0.020

Среди современных методов маркшейдерских наблюдений широкое распространение получил метод лазерного сканирования, здесь можно выделить: наземное, воздушное сканирование и лазерную батиметрию.

Лазерное сканирование позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Для наблюдений за деформациями рекомендуется использовать архитектурный сканер типа Leica HDS3000 с точностью сканирования 6 мм. Для исследования структуры целесообразно использовать горный сканер типа Leica HDS4400, имеющий высокую производительность и специальное программное обеспечение для изучения элементов залегания. Для повышения эффективности наблюдений можно совместно использовать GPS-системы и 3D – сканер.

4.3.2. Наблюдение за устойчивости откосов на основе электронных тахеометров

Существующие традиционные способы инструментальных наблюдений имеют ряд серьезных недостатков. Во-первых, они не отражают реальных процессов, происходящих в массиве горных пород и, следовательно, прогнозные оценки, базирующиеся на данных инструментальных наблюдений, недостаточно надежны.

Во-вторых, они очень трудоемки, что не позволяет получать данные о деформациях земной поверхности и прибортовых массивов в необходимых объемах и с требуемой периодичностью.

Применение электронных тахеометров значительно сокращает время на производство полевых работ и камеральную обработку результатов измерений, соответствует требованиям времени по внедрению современных технологий в производство маркшейдерских и геодезических работ. Многолетний опыт маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием прибортовых массивов карьеров на ряде месторождений Казахстана позволил внедрить высокопроизводительную методику наблюдений с использованием современного электронного оборудования (рисунок 4.5).

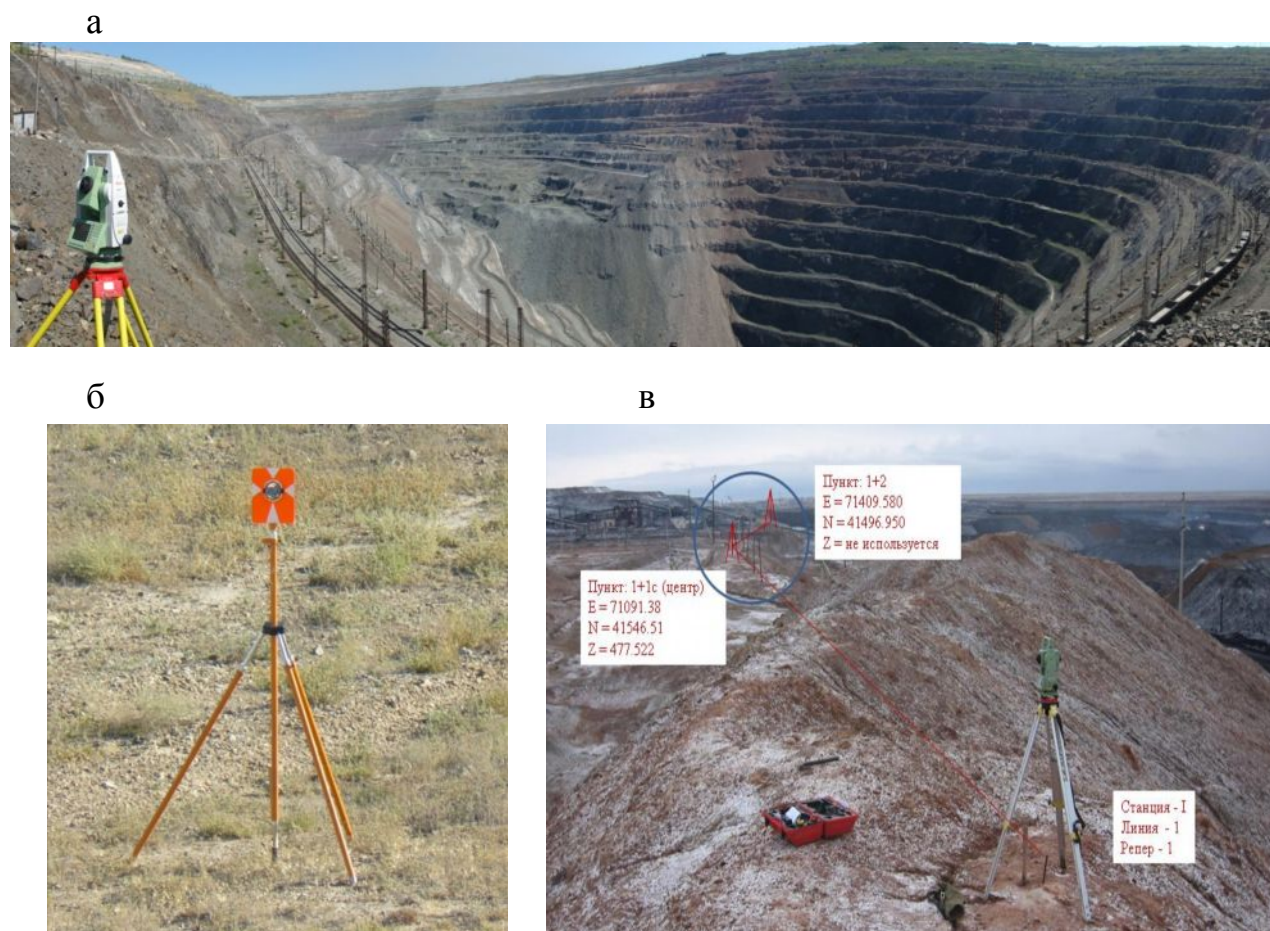


Рис.4.5 - Производство измерений с помощью электронного тахеометра:

а - общий вид съемки карьера; б- отражатель на репере; в – тахеометр на опорной точке

Данные с тахеометра могут быть встроены в любую существующую технологическую цепочку обработки геодезических данных. Полевые измерения могут быть легко переданы в различные программы обработки и уравнивания геодезических измерений: Liscad, CREDO-DAT, RGS, AutoDesk Survey. Далее уравненные трехмерные координаты точек передаются в программы CREDO-MIX, CAD-Relief, TOPOCAD, AutoDesk Land Development Desktop для построения трехмерной модели местности, отрисовки горизонталей и нанесения ситуационного плана..

Для исследования состояния приборного массива на карьерах были применены усовершенствованные методики инструментальных наблюдений с помощью электронных тахеометров, GPS-систем и новые методы изучения структуры горного массива с помощью 3D –сканера «Leica» (Швейцария) и георадара «Mala» (Швеция).

4.3.3 Использование спутниковых систем в маркшейдерских наблюдениях

В настоящее время существует две глобальные спутниковые системы: первая глобальная система позиционирования (The Global Positioning System – GPS), созданная и управляемая Департаментом Обороны США и вторая глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС, управление и эксплуатация, которой возложены на Министерство обороны Российской Федерации (Управление космических средств РВСН).

Глобальная система позиционирования GPS. Глобальная система позиционирования (The Global Positioning System – GPS) основана на использовании специальных спутников, которые управляются Департаментом Обороны США. Система обеспечивает возможность определения пространственного положения любой точки на поверхности земного шара. Точность определения координат составляет от десятков метров до миллиметров в зависимости от применяемого оборудования и используемой методики измерений.

Глобальная система позиционирования состоит из трех сегментов: космического, управляющего и пользовательского.

Космический сегмент состоит из 24 навигационных спутников NAVSTAR, которые вращаются вокруг Земли на высоте около 2 тыс. км с периодом обращения 12 часов. Параметры спутниковых орбит подобраны таким образом, что в любой точке земного шара обеспечивается возможность одновременного приема радиосигнала как минимум от четырех спутников. Каждый спутник имеет на борту четыре высокоточных атомных часов, и постоянно посылает радиосигналы, используя собственный уникальный идентификационный код.

Управляющий сегмент состоит из большого числа наземных мониторинговых станций, расположенных в разных частях земного шара. Мониторинговые станции принимают радиосигналы от спутников и по ним отстраивают орбитальные модели для каждого спутника. Полученные данные

передаются на главную управляющую станцию, которая один раз в сутки передает коэффициенты коррекции часов на спутники.

Пользовательский сегмент состоит из большого числа гражданских и военных GPS-приемников, которые конвертируют спутниковые радиосигналы в пространственные координаты, скорость перемещения приемника и сигналы точного времени. Для расчета четырехмерной координаты местоположения приемника (X, Y, Z, Time) требуется принять радиосигнал как минимум от четырех спутников. GPS-приемники используются для целей навигации, определения пространственных координат, определения точного времени и для других исследований. Обеспечение навигации в трехмерном пространстве является основной функцией GPS, для этой цели созданы приемники для самолетов, кораблей, автомобилей, индивидуальные ручные приемники. GPS сигналы используются также для определения точных координат (геодезические приемники), для астрономических наблюдений, для измерения параметров атмосферы и др.

Спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. Глобальная Навигационная Спутниковая Система ГЛОНАСС - это сумма уникальных технологий, плод многолетнего труда российских конструкторов и ученых.

ГЛОНАСС является государственной системой, которая разрабатывалась как система двойного использования, предназначенная для нужд Министерства обороны и гражданских потребителей. Для определения пространственных координат и точного времени требуется принять и обработать навигационные сигналы не менее чем от 4-х спутников ГЛОНАСС.

Основная идея технологии выполнения GPS съемок состоит в том, что один из приемников (базовый приемник) помещается на точку с заранее известными координатами, так называемую базовую станцию, и ведет непрерывные спутниковые наблюдения весь сеанс GPS съемки. В результате такого наблюдения определяется величина ионосферной поправки, равная разнице заранее известных координат точки и ее координат, полученных в результате сеанса спутниковых наблюдений. Полученная величина ионосферной поправки вводится в результаты спутниковых наблюдений на определяемых точках. При этом главным условием работы в режиме GPS является обеспечение одновременного приема сигнала от общих спутников базовым и полевым приемниками. Так как величина ионосферной поправки является постоянной на довольно обширных территориях, то технологию GPS возможно использовать без снижения точности определения координат для наблюдения базовых линий длиной от 1 м до 100 км. Ионосферная поправка учитывается во время обработки результатов измерений в камеральных условиях.

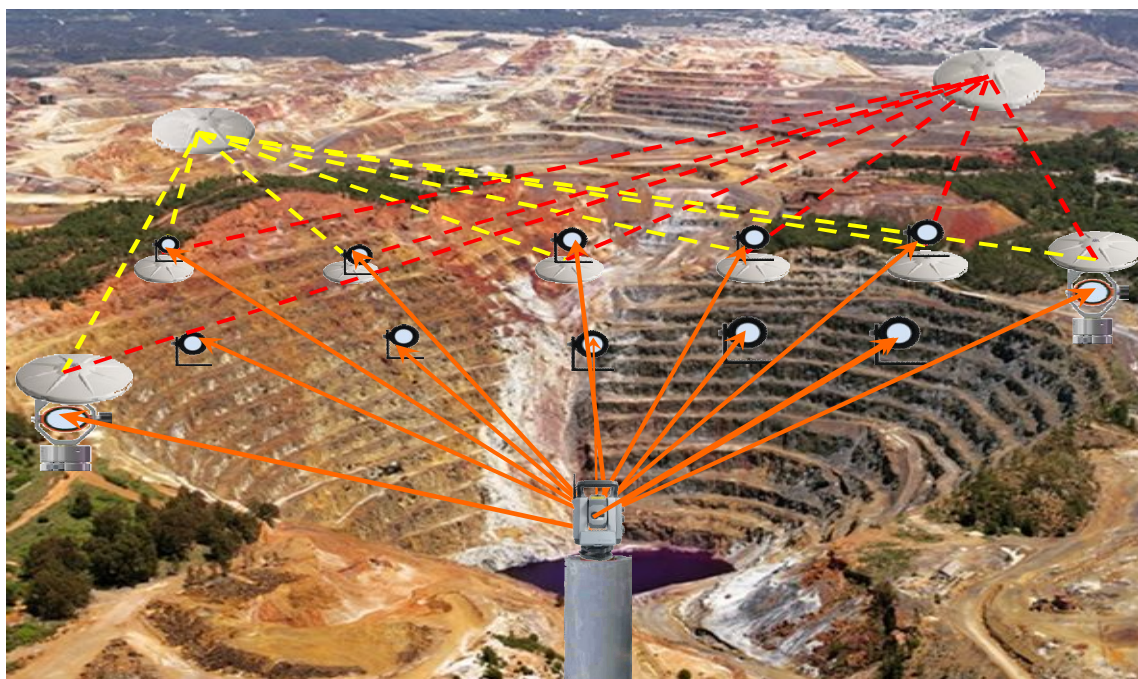
За последние несколько лет системы GPS вошли в маркшейдерскую практику во всем мире. Применение спутниковой системы в маркшейдерии идет по четырем основным направлениям.

Первое направление связано с построением и реконструкцией опорных маркшейдерских сетей на земной поверхности и участках от крытых горных

работ. Для спутниковой геодезии эти задачи являются традиционными и основными, вместе с тем в условиях работающих горных предприятиях особое значение приобретает необходимость: а) GPS-определений на поверхности с координатными определениями в подземных горных выработках и б) необходимость приведения результатов G-определений системе координат, в которой работает данное предприятие (рис.4.6).

Второе направление – выполнение маркшейдерско-геодезических съемок поверхности и коммуникаций на месторождениях скважинной добыче углеводородов, открытых горных выработок, отвалов, хвостохранилищ, а также съемок инженерных сооружений.

Отметим, что в труднодоступных, малообжитых, отдаленных районах, а также в районах с пониженной плотностью государственной геодезической сети (ГГС) системы GPS являются подчас единственно возможным средством производства маркшейдерско-геодезических работ.



Р
ис.4.6
Схем
а
систе

мы GPS на карьере

Третье направление - выполнение систематических маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности и деформациями элементов зданий и сооружений. Здесь особое значение приобретает высотные определения, которые совмещаются с геометрическими, тригонометрическими и гравиметрическими. В настоящее время GPS-мониторинг успешно ведется на ряде крупных предприятий горнодобывающего комплекса РК, как Соколов-

Сарбайский, «Корпорация Казахмыс», «Шубарколь комир», «Корпорация Казахмыс», «Васильковский ГОК» и другие.

Четвертое направление связано с созданием автоматизированной системы слежения за состоянием уступов и бортов карьеров и управления грузопотоками горного предприятия.

Таким образом, применение комплекса спутниковой геодезии для наблюдений за процессом сдвижения земной поверхности на горных предприятиях позволит проводить исследования на качественно более высоком уровне. Измерения позволяют охватить не только ближайшую зону техногенного воздействия добычи полезных ископаемых, наблюдения в которой производились достаточно длительный период с использованием традиционных геодезических методов, но и удаленную зону, в которой ранее измерения либо не проводились совсем, либо проводились в недостаточных объемах по причине высокой трудоемкости подобных работ.

4.3.4 Автоматическая наблюдательная станция на карьере

Карьеры ряда месторождений полезных ископаемых Казахстана достигли глубины разработки более 300м.: Качарский, Акчий-Спасский, Коунрадский, Николаевский, Соколовский, Сарбайский и другие. Разработкой этих карьеров занимаются крупные горнодобывающие предприятия, такие как АО «ССГПО» и ТОО «Корпорация Казахмыс» (рисунок 4.7).



Рисунок 5.7 – Карьер Соколовский

В этих условиях остро встает проблема обеспечения и контроля устойчивости откосов уступов и бортов. Ее решение обеспечивается комплексными исследованиями состояния прибортовых массивов карьеров. Маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов, откосов уступов на карьерах значительной глубины выполняются с использованием электронных приборов и программных продуктов, что позволяет внедрять полуавтоматическую и автоматическую систему наблюдений.

Автоматическая системы – это современная программа системы мониторинга геомеханического состояния массива. Помимо программного обеспечения для эффективного использования автоматизированной системы необходимо выполнить ряд технических условий (рисунки 4.8, 4.9):

- выбор место расположения и установки измерительной будки;
- конструкция стойки для инструмента;
- расположить правильно наблюдаемые и контрольные точки.

Измерительная будка применяется для защиты инструмента и помогает поднять точность измерений за счет устранения негативного влияния окружающей среды (рисунок 4.8).

Наблюдательный инструментальный столбик (рис.4.9) представляет собой металлический или бетонный столб длиной от 2,2 до 2,5 метра, забетонированный на глубину до 1,0 метра. На верху столба устраивается горизонтальная площадка со станovým винтом, для закрепления на нем трегерной подставки прибора и призменного отражателя. Нижняя часть столбика (трубы) в скважине бетонируется, далее скважина заполняется шлаком и вверху бетонируется.

а



б



Рис 4.8 – Карьер Васильковский

а- наблюдательный пункт; б-позиционирование стройки, место для стола

На всех рабочих реперах профильных линий карьера, расположенных на каждой площадке (берме) уступа, проектируется установить стационарный призменный отражатель. Конструкция рабочего репера с постоянно установленным отражателем, возвышающимся над уровнем площадки на высоту 0,3 – 0,5 м, позволяет использовать его при инструментальных наблюдениях, а так же при полуавтоматической и автоматической системе наблюдений.

4.4 Результаты мониторинга деформаций пород прибортовых массивов на карьерах Казахстана

Наблюдения за абсолютными деформациями бортов на исследуемых объектах проводились на профильных линиях наблюдательной сети. Для производства наблюдений сначала был составлен проект наблюдательной станции, закладка на карьере наблюдательной станции, затем были проведены систематические маркшейдерские наблюдения, обработка результатов измерений на компьютере и анализ результатов наблюдений.

Составлены по каждой профильной линии ведомости: вертикальных смещений реперов, горизонтальных смещений реперов вдоль профильной линии, горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий), величин сдвигов, скоростей смещения реперов по направлению векторов смещения.

А также составлены и ежегодно пополнены графические материалы; на плане наблюдательной станции и вертикальные разрезы по каждой профильной линии с уточнением литологии пород и положения горных работ на момент закладки станций и на момент наблюдения появившихся трещин и заколов, графиков вертикальных и горизонтальных деформаций по каждой профильной линии, графиков скоростей смещения реперов по направлению векторов.

За 2003-2007 годы были проведены 9 циклов наблюдений на станции карьера «Центральный» и 5 циклов наблюдений на коротких профильных линиях карьера месторождения Акжал, результаты которых, приведены в таблицах 4.2 и 4.3, а график оседаний – на рисунках 4.9 и 4.10.

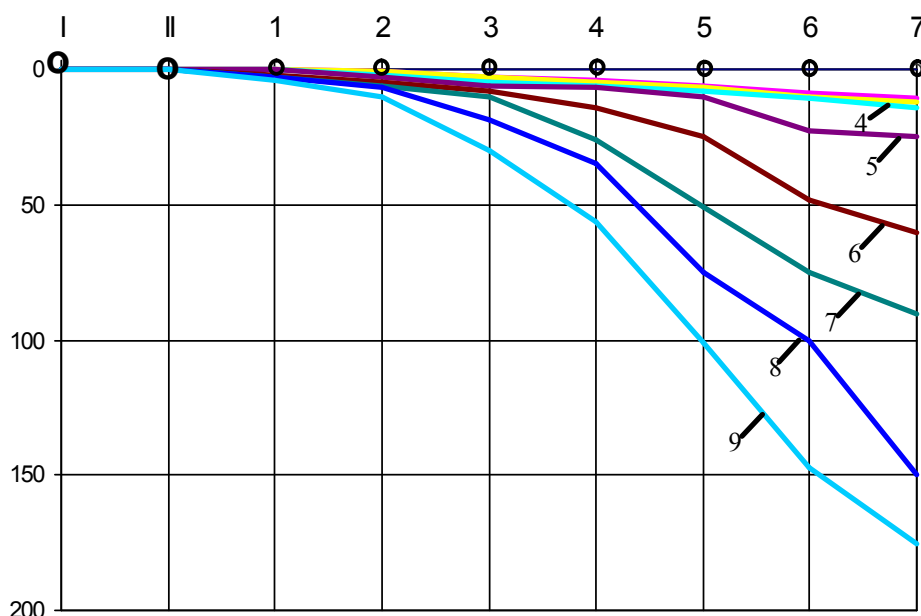
Для получения оперативной информации в короткие сроки и с минимальными затратами были проведены визуальные наблюдения за относительными деформациями. Визуальные наблюдения проведены на коротких профильных линиях с помощью геофизических приборов и устройств за развитием трещин.

Таблица 4.2 – Ведомость оседаний реперов по профильной линии 1-1

	1-наблю- дение, м (25.04.03)	2-наблю- дение, м (20.08.03)	1-2, мм	3-наблю- дение, м (26.05.04)	1-3 мм	4-наблю- дение, м (20.09.04)	1-4 мм	5-наблю- дение, м (14.05.05)	1-5 мм
I	642,745	642,745	0	642,745	0	642,745	0	642,745	0
II	640,115	640,115	0	640,115	0	640,115	0	640,115	0
1	638.608	638.608	0	638.608	0	638.607	1	638.607	1
2	640,113	640,112	1	640,112	1	640,111	2	640,110	3
3	627,261	627,258	3	627,258	3	627,256	5	627,255	6
4	627,786	627,782	4	627,781	5	627,780	6	627,779	7
5	611,001	610,995	6	611,994	7	611,993	8	611,991	10
6	612,557	612,548	9	612,547	10	612,546	11	612,544	23
7	636,797	636,786	11	636,785	12	636,783	14	636,780	25

Продолжение таблицы 4.2

	1-наблю- дение, м (25.04.03)	6-наблю- дение, м (30.08.05)	1-6 мм	7-наблю- дение, м (19.04.06)	1-7 мм	8-наблю- дение, м (12.09.06)	1-8 мм	9-наблю- дение, м (20.09.07)	1-9 1-9 мм
I	642,745	642,745	0	642,745	0	642,745	0	642,745	0
II	640,115	640,115	0	640,115	0	640,110	0	640,110	0
1	638.608	638.606	2	638.605	3	638.605	3	638.604	4
2	640.113	640.608	5	638.607	6	638.606	7	638.603	10
3	627,261	627,253	8	627,251	10	627,242	19	627,231	30
4	627,786	627,772	14	667,760	26	627,751	35	627,730	56
5	611,001	611,975	26	610,940	51	610,936	75	610,900	101
6	612,557	612,537	48	612,532	75	612,530	100	612,410	147
7	636,797	636,771	60	636,767	9	636,759	150	636,622	175

**Рисунок 4.9- Графики оседаний реперов по профильной линии I-II**

Наблюдений: 1- весна 2003 г.; 2- осень 2003 г.; 3- весна 2004 г.; 4-е осень 2004 г.;

5-е весна 2005 г.; 6-осень 2005 г.; 7- весна 2006 г.; 8- осень 2006 г. и 9 – осень 2007 года

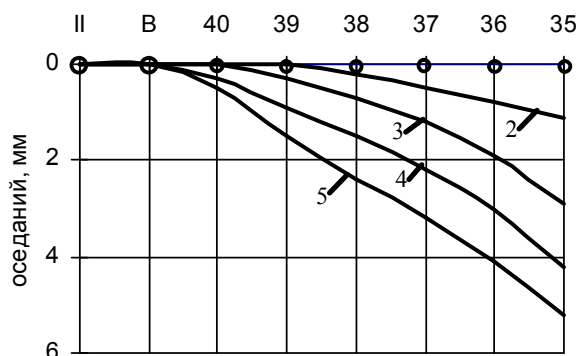
При исследовании процесса сдвижения пород прибортовых массивов их вертикальную составляющую получают по результатам повторных высокоточных измерений электронным тахеометром или цифровым нивелиром. Нивелирование II- класса производилось цифровым лазерным нивелиром фирмы LEIKA WILD NA 3003 с инварными рейками по методу двойного нивелирования в прямом и обратном направлении. Для нивелира был установлен допуск точности 0,4 мм, что соответствует допускам нивелирования I – класса. Принцип нивелирования и работа электронным тахеометром основаны на обработке закодированного сигнала (полученного с рейки через

объектив). Микропроцессор вычисляет показания рейки и соответствующее горизонтальное расстояние между рейкой и прибором.

Таблица 4.3 – Вedomость оседаний реперов по профильной линии -II-V
карьера «Центральный»

	1-наблю- дение, м (25.04.03)	2-наблю- дение, м (20.08.03)	1-2, мм	3-наблю- дение, м (26.05.04)	1-3 мм	4-наблю- дение, м (20.09.04)	1-4 мм	5-наблю- дение, м (14.05.05)	1-5 мм
II	637,725	637,725	0	637,725	0	637,725	0	637,725	0
V	640,675	640,675	0	640,675	0	640,675	0	640,675	0
40	630,525	630,525	0	630,525	0	630,525	0,3	630,524	0,5
39	630,233	630,233	0	630,233	0,3	630,232	0,9	630,259	1,5
38	620,261	620,260	0,2	620,260	0,7	620,260	1,5	620,259	2,4
37	619,860	619,859	0,5	619,859	1,2	619,858	2,2	619,857	3,2
36	610,510	610,509	0,8	610,508	1,9	610,507	3	610,506	4,10
35	610,507	610,506	1,1	610,504	2,90	610,503	4,2	610,502	5,2

а)



б)

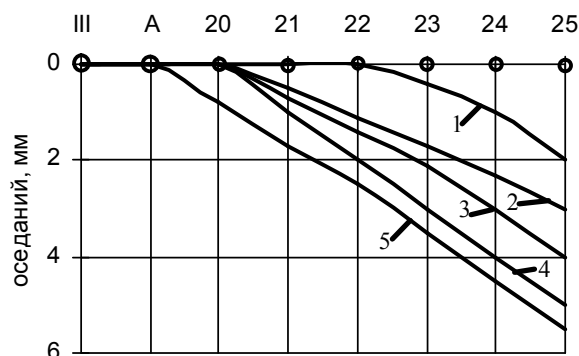


Рисунок 4.10. Графики оседаний реперов по профильным линиям:

а – профильная линия II-II и б – профильная линия III-III

1-е наблюдение, весна 2003 г.; 2-е наблюдение, осень 2003 г.; 3-е наблюдение, весна 2004 г.;
4-е наблюдение, осень 2004 г. и 5-е наблюдение, весна 2005 года

Результаты измерений электронным тахеометром хранятся в РЕК модуля WILD GRM 10 с последующей передачей данных в компьютер и обработкой данных по специальной программе. Преимуществом такой системы является простота вычисления высот во время измерения и регистрации данных [231]. Высокоточные повторные наблюдения производились в два цикла (осенний и весенний периоды), иногда по производственной необходимости производились дополнительные измерения.

Инструментальные наблюдения за деформациями бортов карьеров, а также визуальные обследования позволили выявить неустойчивые участки бортов и определить их категории по степени экологической опасности,

используя в качестве основных критериев величину и скорости смещения деформирующего массива.

В таблице 4.4 представлена классификация деформаций откосов, где в качестве признаков приняты стадия разрушения, время развития, характер деформирования, величина смещения, запас устойчивости откоса и категория по степени экологической опасности.

Таблица 4.4 – Классификация деформации откосов

Стадия	Продолжительность развития	Характер деформирования	оседание	Скорость смещения	Запас устойчивост.	Категория по степени опасности
Скрытая	Десятки лет- годы	Микротрещины	От долей до десятков милл.	Постоян. скорость	1,3 и выше	Неопасная
Промежуточно-активная	Месяцы – годы	Макротрещины, обнаруживаемые визуально осыпи, вывалы, оплывины	Десятки миллиметров и выше	Нарастан. скорости	1,3-1,2	Потенциально опасные
Активная	Месяц-недели, часы-минуты	Сдвигающийся массив, оконтуренными трещинами с последующим полным отрывом и перенесением к основанию откоса	Метры и десятки метров	Нарастан. укорения	1,1-1,0	Опасные

Деформация откосов во времени нами разделен на три стадии.

Первая стадия – скрытая, может продолжаться десятки лет, деформации носят характер микротрещин. Деформации неопасные, коэффициент запаса устойчивости откоса $n > 1,3$.

Вторая стадия – промежуточная. Она может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет. Данная стадия деформирования пород прибортового массива зафиксирована на месторождениях Акжал, Аксай и Аксбакай, где происходили интенсивные осыпи и вывалы. А на карьере Жерек, где прибортовой массив представлен глиняными породами зафиксированы оплывины. Эти деформации фиксированы визуально. По степени опасности они относятся к потенциально опасным. Запас устойчивости откоса в некоторых участках снижается от 1,3 до 1,1.

Третья стадия может продолжаться от нескольких недель и даже месяцев (в глинистых породах) до минут (обрушения скальных трещиноватых откосов). Деформации обусловлены завершением формирования зоны предельно напряженных пород, Фиксируется визуально и относятся к опасным деформациям. Запас устойчивости снижается до 1,1 - 1,0. Участки потенциально опасные и опасные наносят на план карьерного поля и разрабатывают меры по укреплению или упрочнению нарушенных откосов и мероприятия по обеспечению экологической безопасности работ в карьере.

4.5 Графический способ определения поверхности скольжения

При проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров важное значение имеет правильный выбор методики расчета углов наклона борта, которая должна обеспечить: устойчивость уступов и бортов карьеров; размещение на бортах съездов и берм; экономичность горных работ.

Линия погашения борта может быть конструктивной, когда она соответствует профилю, отстроенному по горнотехническим условиям. Она может быть устойчивой, когда борт карьера имеет минимально достаточный запас устойчивости для данных особенностей горных пород, и конструктивно устойчивый, когда оба вышеуказанных профиля совпадают или очень близки между собой.

В настоящее время известно большое число расчетных методов устойчивости бортов карьеров, в которых для суждения об устойчивости откосов используют коэффициент устойчивости, понимаемый как отношение суммы всех удерживающих сил к сумме сил, сдвигающих оползневой клин:

(4.3)

где $\sum F_{\text{тр}} = f \sum N$ (силы трения); $\sum F_{\text{сц}} = kL$ (силы сцепления); $\sum F_{\text{сдв}} = \sum T_i$ (силы

сдвигающие); f — коэффициент внутреннего трения пород; k — коэффициент сцепления, определяемый силой, приходящейся на единицу площади расчетной поверхности; A и B — другие удерживающие и сдвигающие силы. В верхней части откоса в результате действия растягивающих усилий образуются вертикальные трещины разрыва, за счет чего уменьшается длина поверхности, скольжения. Высота этой трещины определяется по формуле

(4.4)

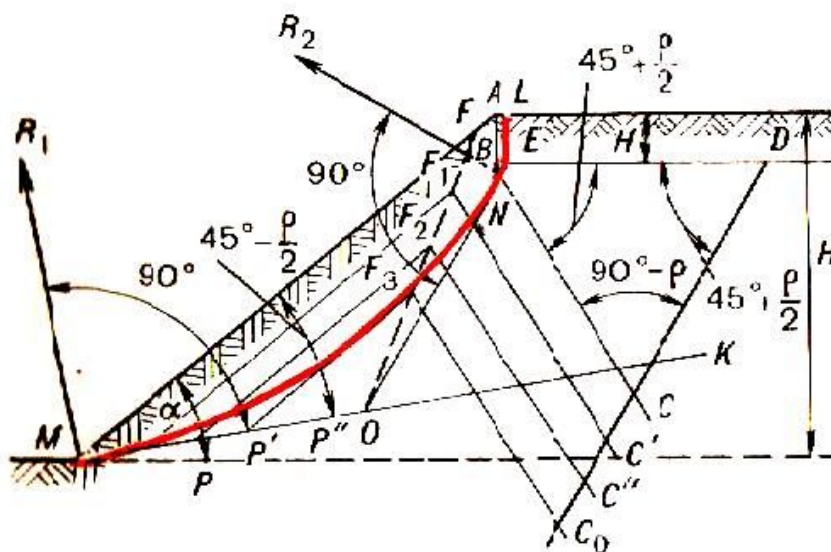
где k и p — соответственно сцепление и угол внутреннего трения пород;
 γ — средняя плотность пород.

При расчете устойчивого положения бортов разрезов по круглоцилиндрической поверхности скольжения большую сложность представляет отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения. Рассмотрение условия равновесия оползневого клина дает лишь одно уравнение, не позволяющее решать задачу сразу однозначно, и поэтому отыскание центра наиболее опасной дуги скольжения осуществляют путем подбора, что сопряжено с кропотливыми и утомительными вычислениями.

Г. Л. Фисенко предложил способ определения поверхности скольжения, при котором сразу определяется ее положение с наименьшим запасом устойчивости. Для этого (рис. 4.11):

1) на откоса линии

откоса H_{90} , и



чертеже проводят BD , отстоящую от поверхности на расстоянии линии AB ;

Рис. 4.11. Схема определения положения поверхности скольжения по Г.Л.Фисенко

2) на линии BD выбирают произвольную точку D и через нее проводят линию DC под углом $45^\circ + p/2$ к линии BD . Здесь p — угол внутреннего трения. Под этим же углом из точки B проводят линию B .

3) из нижней точки откоса M под углом $45^\circ + p/2$ к линии откоса строят линию MK ;

4) на линии MK от точки M откладывают равные отрезки $MP, PP', P'P''$, а на линии DC от точки C вниз отрезки $CC', C'C''$ и $C''C_0$;

5) из точек P, P', P'' проводят прямые линии, параллельные линии откоса MA , а из точек C, C'' и C_0 — линии, параллельные BC . Пересечение этих линий даст точки F, F_1, F_2, F_3 . Через полученные точки проводится прямая FO до пересечения с линией MK ;

6) из точки O проводят прямую, параллельную DC , до пересечения с линией BD в точке;

7) из точки N восставляют перпендикуляр к линии OE , а из точки M перпендикуляр к линии $МК$. Пересечение перпендикуляров даст положение центра окружности, проходящей через точки M и E .

После проделанных операций производят проверку устойчивости откоса. Для этого в крупном масштабе строят оползневой клин и вертикальными линиями разбивают его на ряд призм (рис.4.12).

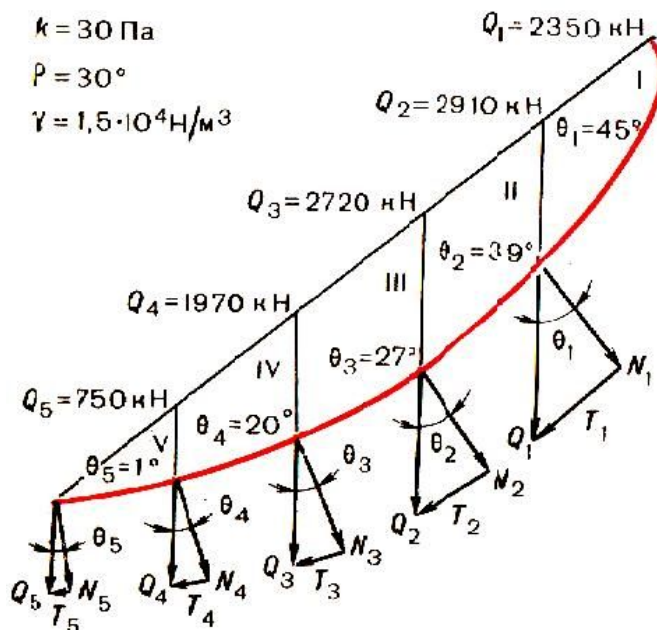


Рис.4.12. Схема оползневого клина к расчету устойчивости борта карьера.

Измеряют площадь каждого блока S_i определяют массу породы в каждой призме на 1 м фронта карьера по формуле

$$Q_i = S_i \cdot \gamma \quad (4.5)$$

Вертикальные линии, являющиеся призм, продолжают вниз на расстояния, соответствующие в выбранном масштабе массе призм. Из точек пересечения этих линий с поверхностью скольжения восставляют перпендикуляры. Определяют N_i и T_i по формулам

$$N_i = Q_i \cos \theta_i \quad \text{и} \quad T_i = Q_i \sin \theta_i \quad (4.6)$$

Вычисленные значения N_i и T_i приведены табл. 4.5.

Между Q_i и N_i измеряют угол θ_i , находят длину поверхности скольжения L .

Табл. 4.5 Результаты N_i и T_i , ычисленные по формулам (4.5) и (4.6)

	Q_i , МН	θ_i , град	N_i , МН	T_i , МН
I	2,33	45	1,65	1,65

II	2,91	39	2,26	1,83
III	2,72	27	2,43	1,24
IV	1,97	20	1,85	0,67
V	0,75	7	0,74	0,09
		$\Sigma=$	8,93	5,48

После вычислений определяют коэффициент устойчивости по формуле (4.3) или (4.7)

$$n = \frac{\operatorname{tg} \rho \Sigma N_i + kL}{\Sigma T_i} = 8,93 / 5,48 = 1,6 \quad (4.7)$$

где ρ — угол внутреннего трения, градус;

k — коэффициент сцепления породы;

L — длина поверхности скольжения, м

Проектирование откосов производят в основном при значении коэффициента запаса устойчивости $n \geq 1,3$ или согласно табл.4.4. Если полученный коэффициент устойчивости больше или равен заданному, то построенный борт считается устойчивым, если меньше -неустойчивым. При неустойчивом случае необходимо предусмотреть или выполняживание борта, или проведение искусственных мероприятий по увеличению устойчивости горных пород.

4.6. Противооползневые мероприятия

4.6.1 Общие сведения об управлении состоянием карьерных откосов

Оползни горных пород на карьерах причиняют огромный материальный ущерб предприятиям, нарушают нормальный технологический процесс, нередко ведут к большим потерям вскрытых и готовых к выемке запасов полезного ископаемого и вызывают необходимость многократной перевалки оползающих масс, а иногда и их отгрузки.

Если параметры рабочего борта и уступов рассчитаны правильно, то их общая устойчивость должна быть обеспечена. Однако не исключено, что на отдельных участках могут возникнуть оползневые очаги, ликвидацию которых экономически целесообразно предотвратить противооползневыми мероприятиями, среди которых получили распространение: выполняживание угла откоса уступа или борта; оставление целиков породы или полезного ископаемого в районе оползневого очага; снятие нагрузки с откоса с целью уменьшения сил, создаваемых призмой активного давления и отгрузку очага оползня; искусственное упрочнение горных пород массива.

Развитие и совершенствование общей теории напряженного состояния массива горных пород и деформационных процессов, развивающихся в нем в период строительства и эксплуатации горного предприятия под влиянием природных и горнотехнических факторов, позволило заложить научные основы решения проблемы устойчивости карьерных откосов. Вместе с тем конечной

целью большинства работ в этой области являлось определение параметров откосов, при которых обеспечивается их устойчивость на необходимый период времени. Такой подход при всей его важности в теоретическом и практическом отношении следует считать до некоторой степени **пассивным**. Большое значение имеет **активный** подход к решению проблемы на основе управления состоянием массива горных пород, впервые сформулированный в начале 1970-х годов академиками АН СССР Н.В.Мельниковым и В.В.Ржевским.

Н.В. Мельников назвал эту проблему в числе важнейших, стоящих перед горной наукой, и отметил, что управление откосами включает два последовательно выполняемых этапа: во-первых, правильный расчет углов откосов с надежным, но не преувеличенным запасом прочности и, во-вторых, создание крупных по масштабу методов и средств искусственного полного и локального укрепления их. В.В. Ржевский подчеркнул, что задача сегодняшнего дня - научиться управлять карьерными откосами для достижения лучших экономических результатов и сохранения сельскохозяйственных угодий.

Под управлением деформационными процессами горных пород на карьерах следует понимать *комплекс мероприятий*, направленных на достижение такого напряженно-деформированного состояния горных пород в природном или техногенном массиве, при котором обеспечивается безопасное и экономически эффективное ведение горных работ (рис.4.13).



4.13-сурет. Карьердегі геомеханикалық процестерді басқару тәсілдерінің жіктемесі

Для того, чтобы решить ту или иную задачу управления, она должна быть формализована, т.е. с достаточной точностью описана математическими зависимостями. При формализации объекту управления ставится в соответствие его математическая модель - совокупность математических зависимостей, отражающих те черты (особенности) объекта, которые существенны для управления им.

Природные условия и горно-технические факторы, создающие входные воздействия, разделены на управляемые, неуправляемые и параметры. Неуправляемые воздействия и параметры - природные условия или горно-технические факторы, оказывающие значительное влияние на напряженно-деформированное состояние откоса, но не поддающиеся управлению на данном уровне развития науки и техники. Неуправляемые воздействия входят в состав модели в форме переменных величин, а параметры рассматриваются как постоянные.

Методы управления разделяются на две группы:

- 1) связанные с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ.;
- 2) не требующие изменений схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ - укрепление горных пород.

Рекомендуемый для практического использования метод управления должен удовлетворять четырем условиям: технической надежности; технологичности; универсальности; экономической целесообразности.

Техническая надежность - необратимое достижение заданных количественных характеристик состояния массива на весь период эксплуатации инженерного сооружения.

Технологичность характеризуется сравнительно простой технологией работ, небольшим сроком исполнения, быстрым получением требуемого результата, преимущественным использованием имеющихся на предприятии оборудования и материалов.

Универсальность заключается в возможности использования методов для решения не одной, а нескольких (комплекса) задач, связанных с управлением деформационными процессами.

Экономическая целесообразность характеризуется максимальным экономическим эффектом, который достигается при использовании данного метода по сравнению с другими возможными техническими решениями.

При этом требование технической надежности рекомендуемого метода должно удовлетворяться во всех случаях. Для экономической целесообразности этот показатель при сравнении вариантов может быть и не выдержан, если по условиям производства работ технологичности метода отдается предпочтение.

4.6.2 Методы управления деформационными процессами связанные с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ

В современной научно-технической литературе достаточно подробно рассмотрен ряд методов управления деформационными процессами, связанных с изменением схемы вскрытия, системы разработки и режима горных работ на карьерах.

Наибольшее распространение в горной практике получили:

- 1) снижение воздействия массовых взрывов в приконтурных зонах; область применения - скальные и полускальные трещиноватые породы;
- 2) оставление предохранительных целиков; область применения - необходимость сохранения промышленных сооружений, размещенных в пределах карьерного поля; отработка месторождения комбинированным (открытым и подземным) способами;
- 3) выполаживание угла откоса уступа или борта; область применения - отработка краевых участков месторождения, стабилизация временно нерабочих бортов смежного карьерного поля;
- 5) отгрузка очага оползня.

Рассмотрим более подробно некоторые из этих методов, получивших наибольшее распространение в практике открытых горных работ.

Снижение воздействия массовых взрывов. Способы снижения вредного воздействия взрывов на устойчивость откосов могут быть разделены на две группы. Первая группа способов предполагает изменение параметров взрывных работ в приконтурных зонах при неизменном порядке их отработки. Во вторую группу включены способы, в которых меняется порядок отработки приконтурных зон при неизменных параметрах взрывных работ.

Наиболее распространены методы первой группы: изменение конструкции; массы заряда; контурное взрывание. Различают два вида контурного взрывания: «гладкое взрывание», когда заряды контурного ряда взрываются после основных зарядов дробления; «предварительное щелеобразование», когда заряды контурного ряда взрываются первыми.

Опыт показывает, что метод снижения сейсмического эффекта взрыва с помощью создания в откосе отрезной щели обладает высокой эффективностью.

Выполаживание угла откоса. Сущность способа заключается в том, что в целях предупреждения оползня уменьшают угол наклона борта или уступа до какой-то определенной величины, при которой оползня не произойдет. Расчет этого угла откоса производится последовательно для нескольких углов наклона борта.

Снятие нагрузки с призмы активного давления. При ведении горных работ в зоне действующих глубинных оползней или в зоне их возможного образования целесообразно управление устойчивостью откоса путем разгрузки призмы активного давления и, наоборот, увеличение массы призмы упора отсыпной дамбы в ее нижней части. Эффективность метода определяется тем обстоятельством, что при небольших углах наклона борта карьера развитие оползня происходит медленно и это позволяет произвести значительные

работы по перемещению горных масс с активной призмы в район пассивной призмы (призмы упора).

Отгрузка очага оползня. Данный способ дает хорошие результаты в тех случаях, когда падение слоев направлено в сторону выработанного пространства и угол наклона не менее $18\text{--}20^\circ$. При подрезке слоев горными работами неизбежно скольжение пород по плоскостям напластования и поэтому для предотвращения оползня целесообразно заранее снять часть пород и тем самым повысить устойчивость.

Создание предохранительных валов для защиты от деформаций горных пород. При разработке месторождений нагорного типа, имеющих небольшие размеры по простиранию, ведение горных работ одновременно на нескольких горизонтах затруднено, так как возникает опасность падения кусков породы с верхних горизонтов.

Параметры предохранительного вала зависят от массы кусков породы и скорости их движения. А скорость определяется формой и размерами кусков, геометрией борта, отдельных уступов и другими факторами.

5.6.3. Искусственное укрепление массива горных пород

Изучение способов укрепления горных пород следует проводить на основе их классификации, позволяющей систематизировать данную область знаний и выявить внутренние закономерные связи между классифицируемыми подразделениями. В настоящее время разработан ряд классификаций способов укрепления горных пород, основанных на различных принципах.

В соответствии с классификацией методы разделены на три группы.

В первую группу включены методы, применение которых не вызывает изменения состава, строения и свойств пород. В эту группу входят методы укрепления с использованием штанговой крепи, гибких тросовых тяжей, железобетонных свай и др.

Во вторую группу включены методы, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород. Отнесены методы уплотнения пород, поверхностные покрытия и др.

Третья группа охватывает методы, применение которых приводит к существенному изменению состава, строения и свойств пород. В эту группу включены методы, связанные с инъецированием укрепляющих агентов (силикатизация, цементация, электрохимическое укрепление и др.)

Способы укрепления, не вызывающие изменения состава строения и свойств пород.

Штанговая и анкерная крепь.
Сущность способа укрепления

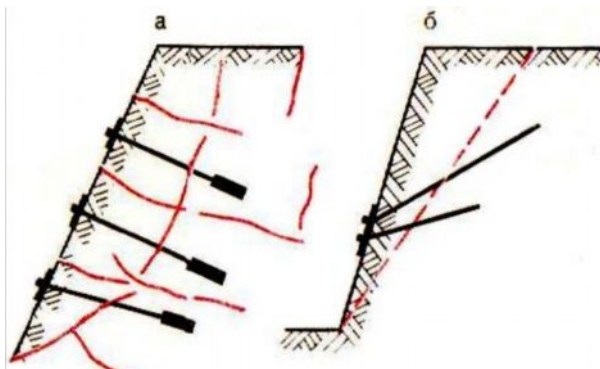


Рис. 4.14 Схемы укрепления откосов:
- анкерной крепью; б- гибкими тросами

штангами заключается в бурении скважин в массиве горных пород и установке в них металлических штанг, которые скрепляют отдельные блоки пород между собой. Пространство между штангами и стенками скважин затем цементируется.

Анкерная крепь - система закрепления в шпурах металлических, железобетонных, деревянных или полимерных анкеров, расположенных определенным образом в кровле и боках выработки и предназначенных с поддерживающими элементами для упрочнения массива пород и повышения устойчивости обнажений благодаря скреплению слоев и структурных блоков.

Анкерную крепь обычно применяют в породах крупноблочной (рис.4.14, а) и сланцевой структур.

Способ укрепления откосов гибкими тросами (рис. 4.14,б) можно рассматривать как разновидность анкерного крепления.

Железобетонные сваи. Сущность способа заключается в бурении скважин в массиве горных пород, установке в них металлической арматуры (гибкой, жесткой, стальных канатов и др.) и последующем бетонировании или цементации скважины. Образованные в породном массиве сваи увеличивают его сопротивление сдвигу и несущую способность.

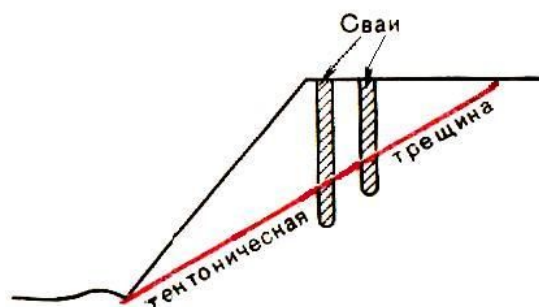


Рис.4.14. Укрепление откоса железобетонными сваями

Область применения - массив горных пород, ослабленных слоистостью, тектоническими трещинами или нарушениями. Так, железобетонные сваи надежно закрепляют участки, имеющие выраженные плоскости ослабления: тектонические трещины, слоистость, зоны нарушений и т. п. (рис. 4.14).

При укреплении участков, сложенных сильнотрещиноватыми породами, целесообразно наряду со сваями производить нагнетание в массив укрепляющего цементного раствора.

Способы укрепления, вызывающие частичное (локальное) изменение состава, строения и свойств пород. Во второй группе наиболее распространенным является способ инъекций цементного раствора. Эффективными в ряде случаев могут быть инъекции жидких полимерных смол.

Бетонные покрытия. Этот вид покрытий выполняется чаще всего с помощью набрызга, заключающегося в том, что на породу с помощью сжатого воздуха наносится раствор из смеси цемента, заполнителей и воды, который прочно схватывается с поверхностью и затвердевает. Если заполнитель одержит мелкие фракции (до 8мм), то в результате набрызга образуется торкретбетон, а при наполнителе с включениями крупных фракций (до 25мм) – шприц-бетон. Торкретбетон состоит из цемента, песка и воды, а шприц-бетон состоит из смеси гравия или щебня, песка, воды и специальной добавки, ускоряющей схватывание и твердение покрытия.

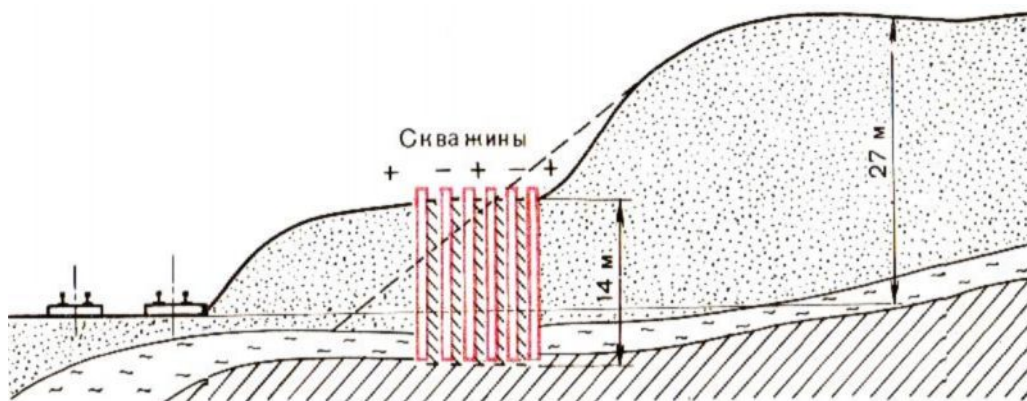
Покрывтия из химических материалов. Этот способ основан на управлении свойствами и структурой грунта в укрепляемом поверхностном слое с помощью введения в него различных вяжущих веществ. В качестве структурообразователя могут быть использованы: цементный раствор; неорганическое вяжущее вещество; синтетические смолы.

Биологический способ предусматривает посадку (посев) культурных или дикорастущих растений в поверхностный слой укрепляемых пород или внесение в этот слой культур микроорганизмов.

Способы укрепления, вызывающие существенное изменение состава, строение и свойств пород.

Цементация применяется для повышения устойчивости откосов и устройства противодиффузионных завес. Сущность способа заключается в нагнетании в массив горных пород через иньекторы, установленные в буровых скважинах, цементного раствора, который, заполняя пустоты и трещины, схватывается с породами, твердеет и повышает их водонепроницаемость и устойчивость.

Смолизация. Сущность способа заключается в том, что в массив горных пород вводится (с поверхности или через иньекторы) синтетическая смола, связывающая минеральные частицы и придающая породам прочность и водонепроницаемость. Современная отечественная и зарубежная химическая промышленность выпускает достаточно большой ассортимент различных смол, полимеров и других химических веществ, позволяющих использовать их в качестве компонентов вяжущего материала для оструктурирования различных грунтов.



Электрохимическое укрепление применяют для повышения устойчивости уступов и бортов карьеров, стабилизации деформационных процессов, создания водонепроницаемых экранов, повышения несущей способности пород для обеспечения проходимости тяжелого горно-транспортного оборудования, укрепления слабых оснований отвалов (рисунок 4.16).

Сущность способа заключается в том, что наложение на массив песчано-глинистых пород постоянного электрического поля вызывает в массиве явление электропереноса - направленного перемещения между разноименными полюсами поля частиц - носителей электрического заряда (ионов, дисперсных частиц и молекул воды).

Рис.4.16. Схема упрочнения пород борта карьера при помощи постоянного электрического поля

Сущность способа заключается в том, что наложение на массив песчано-глинистых пород постоянного электрического поля вызывает в массиве явление электропереноса - направленного перемещения между разноименными полюсами поля частиц - носителей электрического заряда (ионов, дисперсных частиц и молекул воды).

Возникающие при этом электрокинетические и электрохимические процессы вызывают коагуляционно- кристаллизационные явления, снижающие влажность пород и увеличивающие их плотность и, естественно, прочность.

На практике использование метода упрочнения постоянным электрическим полем выглядит следующим образом. В укрепляемом борте бурят кусты скважин, в которых анодные скважины располагают вокруг одной катодной скважины. Длина скважин на 10—15% больше мощности оползневых пород. Расстояние между кустами скважин выбирают таким образом, чтобы была обеспечена устойчивость откоса.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные причины и виды деформаций горных пород?
2. Какие факторы влияют на устойчивость бортов карьеров?
3. Состав удерживающих и сдвигающих сил бортов карьера
4. Что такое сцепление горных пород?
5. Что такое угол внутреннего трения горных пород?
6. Как определяется коэффициент запаса устойчивости ?
7. Создание геомеханического мониторинга за состоянием прибортовых массивов.
8. Что входит в состав геомеханического мониторинга?
9. Методы и средства ведения мониторинга.
10. Использование электронных тахеометров при мониторинге.
11. Использование лазерных сканеров при мониторинге.
12. Преимущество спутниковых систем наблюдения.
13. Обработка результатов наблюдений за состоянием массива.
14. Графический способ определения поверхности скольжения .Метод

Г.Л.Фисенко.

15.Методы управления геомеханическими процессами

5. ГЕОМЕХАНИКА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

5.1. Сдвигание горных пород и земной поверхности при подземной разработке месторождений полезных ископаемых

5.1.1 Общие понятия о процессе сдвижения

Проблемы сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок охватывает широкий круг вопросов, сущность которых заключается в следующем. При проведении подземных горных выработок (особенно очистных), образуются большие полости, вызывающие нарушение естественного равновесия вышележащих слоев пород, которые деформируются и перемещаются в сторону выработанного пространства, стремясь заполнить его.

В результате происходит обрушение пород кровли и боков выработок, раздавливание целиков, разрушение выработок, массовые сдвигания и обрушение вмещающих пород и земной поверхности. Горные выработки, залежи, сооружения и другие объекты, оказавшиеся в зоне сдвижения горных пород, претерпевают деформации, нередко приводящие к разрушению этих объектов. Этот процесс принято называть *сдвижением горных пород*.

Сдвигание горных пород приводит к деформации крепления выработок, уменьшению их сечения, а частности к завалам, в результате чего затрудняется, а иногда становится совершенно невозможной добыча полезного ископаемого. В зависимости от состава горных пород, условий их залегания, систем разработки и других причин сдвигание горных пород на руднике проявляется в виде опускания кровли выработок, появления трещин в кровле и в подошве, расслаивания пород и их обрушения.

При разработке месторождений слоистого строения сдвигание пород начинается обычно с прогиба кровли выработок, пройденных по пласту или залежи полезного ископаемого. По мере увеличения площади выработанного пространства прогиб пород растет, в сдвигание вовлекается все большее число слоев, происходит сдвиг пород по плоскостям напластования, в толще появляются секущие трещины и трещины расслоения, при этом слои непосредственной кровли разбиваются обычно на отдельные блоки и обрушаются.

Под влиянием горных работ в движение приходят также породы почвы, испытывающие поднятие. Поднятие почвы и выдавливание ее в сторону выработанного пространства объясняется снятием с нее нагрузки от вышележащих пород и перераспределением **горного давления**. Горное давление – силы, возникающие в массиве, окружающем горную выработку.

В процессе сдвижения происходит изменение объема пород: в зоне повышенного (опорного) давления породы уплотняются, а в зоне обрушения разрыхляются. Разрыхленная порода, увеличиваясь в объеме, заполняет выработанное пространство и создает подпор вышележащим слоям.

Обрушение пород в угольных шахтах может проявляться в виде выпадания небольших кусков породы из кровли, обвалов значительных

участков кровли, например завалов лав, и, наконец, так называемых **горных ударов**. Горные удары – явление катастрофическое, напоминающее небольшие землетрясения.

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом в задачу геомеханики входит решение вопросов управления давлением и сдвижением горных пород, взаимодействия массива горных пород с крепями и обделкой горных выработок, охраны зданий и сооружений, попадающих в зону влияния горных работ, устойчивости целиков и выработанных пространств, предотвращения катастрофических прорывов воды в горные выработки, борьбы с динамическими проявлениями горного давления - горными ударами, внезапными выбросами. Значительная часть этих вопросов решается на основании закономерностей и параметров сдвижения горных пород, установленных в различных горногеологических условиях разработки месторождений полезных ископаемых. Наиболее полно изучены процессы сдвижения горных пород и земной поверхности при разработке месторождений со слоистым строением толщи пород. Благодаря многочисленности таких месторождений, относительной простоты их залегания и высокой степени изученности, для них удалось разработать достаточно надежные инженерные методы расчета деформаций горных пород и земной поверхности. Для прогноза деформаций чаще всего при разработке месторождений ограничиваются определением зон влияния горных работ на земную поверхность и подземные выработки, что необходимо для построения предохранительных, барьерных и других целиков.

Такое положение объясняется также применяемыми системами разработки рудных месторождений. Так, при достаточно распространенной камерно-столбовой системе разработки оседания земной поверхности при устойчивых целиках не превышают обычно 20-30 мм, т.е. не достигают величин, представляющих опасность для подрабатываемых объектов. И наоборот, при разрушении целиков на земной поверхности образуются провалы, вызывающие разрушение любых подрабатываемых объектов. Поэтому расчет деформаций земной поверхности не имеет практического смысла ни в первом, ни во втором случае. Отсюда задачи по охране объектов, расположенных на земной поверхности, от вредного влияния горных разработок в этих условиях сводятся к определению вероятности образования провалов и их местоположения. Пути решения таких задач рассмотрены ниже. Там же приведены предложения отдельных ученых по прогнозу сдвижений земной поверхности в аномальных условиях развития деформационных процессов. Однако основное внимание в настоящем разделе уделено рассмотрению вопросов сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке месторождений в условиях типового развития деформационных процессов, охватывающих более 80 % встречающихся на практике случаев.

«Мы не ошибемся если скажем, что вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок – есть история борьбы со сдвижением горных пород», - так охарактеризовал значение проблемы

профессор И.М.Бахурин – основоположник исследовательских работ по сдвигению горных пород в бывшем Советском Союзе.

Сдвигение горных пород и поверхности земли относится к числу весьма важных проблем, с которыми неизбежно встречаются горные инженеры в своей практической деятельности. Производство горных работ под различными сооружениями и водоемами называется **подроботкой**. Подработка сооружений может вызывать их повреждение и даже полное разрушение. Значительные деформации пород под водоемами могут явиться причиной усиления притока воды в подземные горные выработки или даже затопления шахты.

Во избежание вредных последствий сдвижений приходится прибегать к различным способам охраны сооружений путем оставления предохранительных целиков под сооружениями, закладки выработанного пространства, применения специальных устройств и конструкций, усиливающих сооружений и т. д. Однако оставление целиков приводит к потерям полезного ископаемого в недрах, а применение закладки выработанного пространства и специальных конструкций для усиления сооружений повышает себестоимость добычи полезного ископаемого и стоимость строительства сооружений. Эффективное и рациональное решение вопроса об охране сооружений во многом зависит от характера и параметров сдвижения, изучением которых занимаются маркшейдеры.

Инструментальные наблюдения за сдвижением толщи горных пород и земной поверхности показывают, что изменение напряженного состояния и сдвигение породного массива, вызываемые подземными горными работами, распространяются на значительные расстояния, нередко в несколько раз превышающие размеры выработок.

При выемке залежи полезного ископаемого на участке АВ (рис.5.1и 5.2) часть массива, подвергшаяся деформациям и перемещениям под влиянием подземных разработок, называется **областью сдвижения горных пород**.

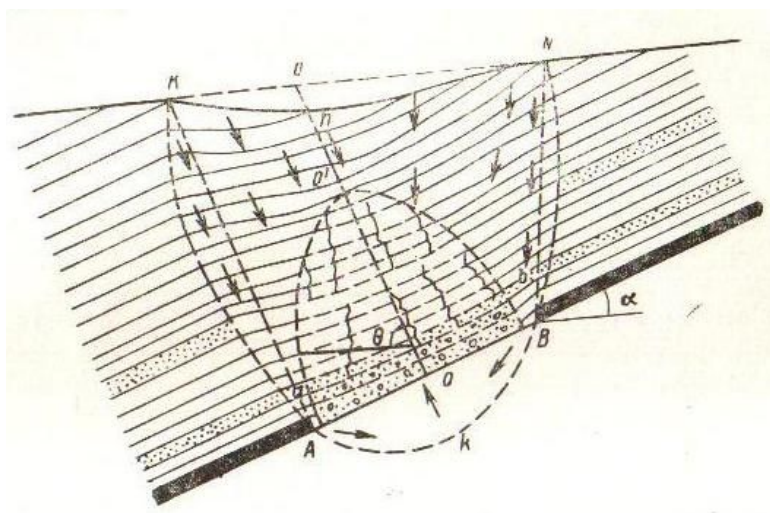


Рис. 5.1. Схема сдвижения горных пород над очистными выработками

Участок недр, подвергшийся сдвигению криволинейным контуром КАКВН (рис.4.1) - область сдвижения горных пород. Здесь процесс сдвижения распространяется от выработанного пространства книзу и кверху, и при некотором соотношении размеров выработанного пространства и глубины горных работ область сдвижения достигает земной поверхности (рис.5.2).

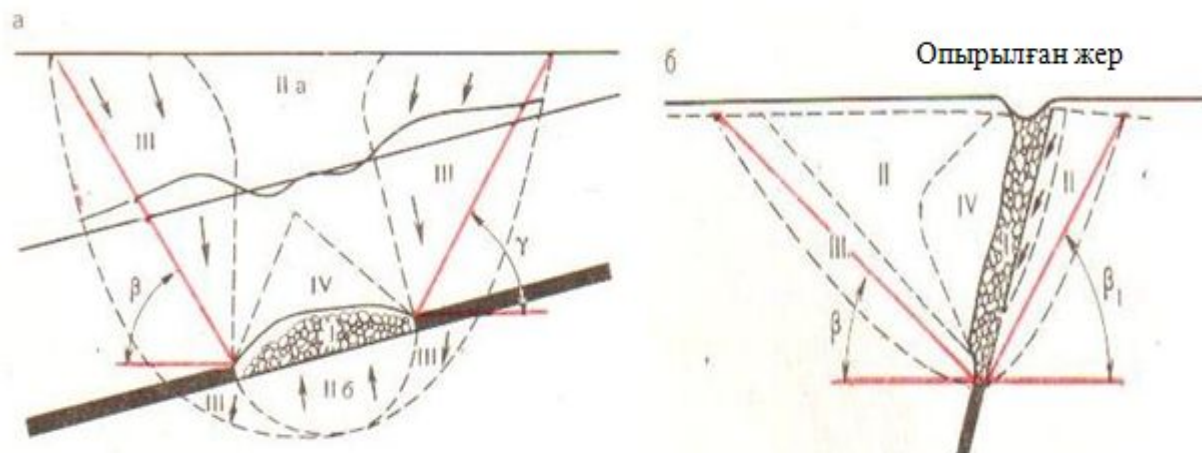


Рис.5.2. Характер сдвижения горных пород вокруг очистной выработки:
а- при пологом залегании залежи; б-при крутом залегании залежи

При выемке залежи с пологим залеганием вокруг очистной выработки выделяются следующие зоны и формы сдвижений.

Зона обрушения I – непосредственно прилегает к выработанному пространству и характеризуется тем, что в ней происходит отделение от массива слоев вышележащих пород, расчленение их на блоки и беспорядочное обрушение в сторону выработанного пространства. Высота этой зоны зависит от отношения мощностей отдельных слоев непосредственной кровли и мощности извлекаемого полезного ископаемого, крепости слоев, применяемой системы разработки и угла падения рудного тела. В практике горного дела высоту этой зоны принимают равной $(3 \div 5) \cdot m$, где m – вынимаемая мощность рудного тела.

Зона изгиба II –наблюдается как в налегающей толще, так и в постылающих породах. Деформация пород в этой зоне происходит в виде расслоения толщи изгиба слоев с сохранением связей между отдельными блоками. В зоне изгиба различают две части: зону прогиба с -образованием трещин, примыкающую непосредственно к зоне полных обрушений, и зону прогиба без образования трещин и расслоений, расположенную над зоной прогиба с образованием трещин.

Зона опорного давления III — развивается в прилегающей к залежи области вблизи очистной выемки.

Величина и характер зоны опорного давления в покрывающих породах зависят от залегания пород у границ выработки, глубины горных работ и свойств пород.

Зона полных сдвижений IV— образуется как на поверхности, так и в толще пород. Принято считать, что в зоне полных сдвижений напряженное состояние близко к гравитационному.

При отработке мощных и крутых угольных залежей (рис. 5.2,б) часто происходят оползания пород лежащего бока, непосредственно прилегающих к выработанному пространству (**зона V**), и образования **провалов** на поверхности над выходами пластов.

При разработке угольных месторождений сдвигание наносов и коренных пород может происходить в форме обрушения при малой глубине разработки, равной до 10—35-кратной мощности пласта, или при отработке мощных крутых пластов.

При разработке маломощных пластов пологого падения на значительных глубинах процесс сдвижения от выработанного пространства кверху распространяется менее интенсивно, а при разработке жильных месторождений с крепкими вмещающими породами, а также при разработке каменных солей камерной системой процесс сдвижения может не распространяться до земной поверхности.

Следовательно, конкретные формы проявления процессов сдвижения зависят от горно-геологических условий разработки месторождения.

Многообразие условий залегания рудных залежей и других горно-геологических факторов вызывает множество различных форм проявления процесса сдвижения на земной поверхности.

5.1.2. Основные параметры, характеризующие процесс сдвижения горных пород

При рассмотрении процессов сдвижений приняты термины для различных понятий, а также наименования отдельных параметров, которые рассматриваются ниже. К основным параметрам процесса сдвижения земной поверхности относят: размеры и форму мульды сдвижения; углы: граничные, сдвижения, разрывов; величины максимальных сдвижений и деформаций; общая продолжительность процесса сдвижения, его отдельных стадий и скорости оседаний.

В настоящее время вопросы определения параметров геомеханических процессов на месторождениях со слоистым строением пород выполняются по единым требованиям и методикам, базирующимся на опыте наиболее изученных месторождений.

Часть породного массива, подвергшуюся сдвигению под влиянием горных разработок, принято называть областью сдвижения горных пород, а соответствующую часть земной поверхности - **мульдой сдвижения**.

При выемке части рудного тела *абгв* на значительной глубине (рис. 5.3,а) процесс сдвижения толщи горных пород достигает земной поверхности, вызывая ее сдвигения и деформацию. Часть земной поверхности АГБВ, подвергшаяся процессу сдвижения, называется мульдой сдвижения.

Размеры и местоположение мульды сдвижения определяются граничными углами сдвижения. Обычно мульда сдвижения представляет тарелкообразную или корытообразную впадину на земной поверхности. Представляет интерес сечение мульды, по которому ее края наиболее удалены от границ выработки. Эти сечения, как правило, проводят через центр мульды, они ориентированы по простиранию (линия АБ) и вкрест простирания рудного тела (линия ВГ) называются **главными сечениями мульды сдвижения**.

Распределение сдвижений и деформаций земной поверхности в пределах мульды неравномерно. Часть мульды сдвижения, где возникла деформации земной поверхности, вызывающие в сооружениях, нарушающие нормальную их эксплуатацию, называется **зоной опасного сдвижения**.

Форма и размеры мульды сдвижения, а также ее расположение относительно выработанного пространства зависят от мощности и угла наклона рудного тела, размеров выработанного пространства и глубины его залегания. При горизонтальном залегании рудного тела границы мульды сдвижения на плане располагаются симметрично по отношению к выработанному пространству. Мульда имеет плавные края и дно мульды находится над центром выработанного пространства (рис.5.3,б).

При выемке наклонных и крутых рудных тел (рис.4.3,а) граница мульды сдвижения со стороны падения рудного тела смещается в сторону наклона рудного тела на значительное расстояние от нижней границы очистной выемки. В этом случае проекция мульды сдвижения на горизонтальную плоскость располагается ассиметрично по отношению к проекции выработанного пространства на ту же плоскость.

Если центр мульды сдвижения при горизонтальном залегании рудного тела располагается над серединой выработанного пространства, то при наклонном залегании – сдвинут относительно нее на угол Θ (рис. 4.3, а). Угол Θ называется углом максимальных оседаний и определяется он углом со стороны падения рудного тела, образованным на вертикальном разрезе в главном сечении мульды вкрест простирания горизонтальной линией и линией, соединяющей середину выработки с точкой на поверхности, испытавшей максимальные оседания, или с серединой плоского дна мульды.

Различают **граничные углы сдвижения** на разрезе вкрест простирания β_0 , γ_0 , β_{01} (рис. 4.3) и на разрезе по простиранию δ_0 залежи. Граничные углы определяют размеры мульды сдвижения. За границы мульды сдвижения принимаются точки с оседаниям – $\eta=15$ мм или горизонтальными деформациями - $\epsilon=0,5 \cdot 10^{-3}$. На величину граничных углов существенное влияние оказывают глубина разработки, угол падения рудного тела и плотность породы. Граничные углы используются при предрасчете сдвижений и деформаций поверхности, а также при построении целиков под глубокие вертикальные стволы.

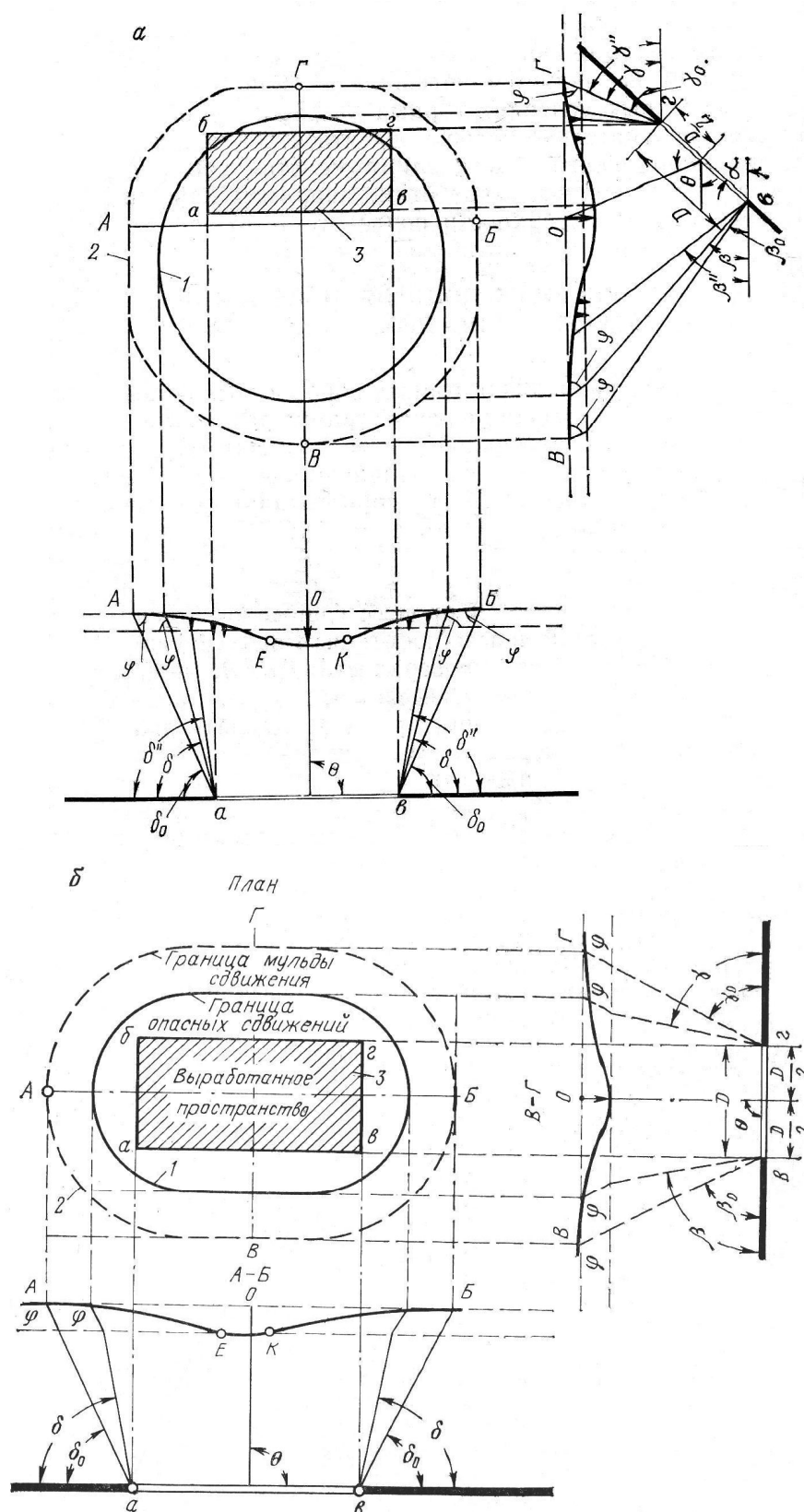


Рис.5.3. Мульда сдвижения и ее разрезы:

а – при выемке наклонного пласта; *б*- при выемке горизонтального пласта; 1- граница опасных сдвижений; 2- граница мульды сдвижения; 3- выработанная площадь

Для обозначения зоны опасного сдвижения используются **углы сдвижения**, под которыми подразумевают внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах в

главных сечениях мульды по простиранию и вкрест простирания залежи (пласта) полезного ископаемого горизонтальными линиями и линиями соединяющими границы выработанного пространства с границами критических деформаций поверхности (рис.5.3 и 5.4).

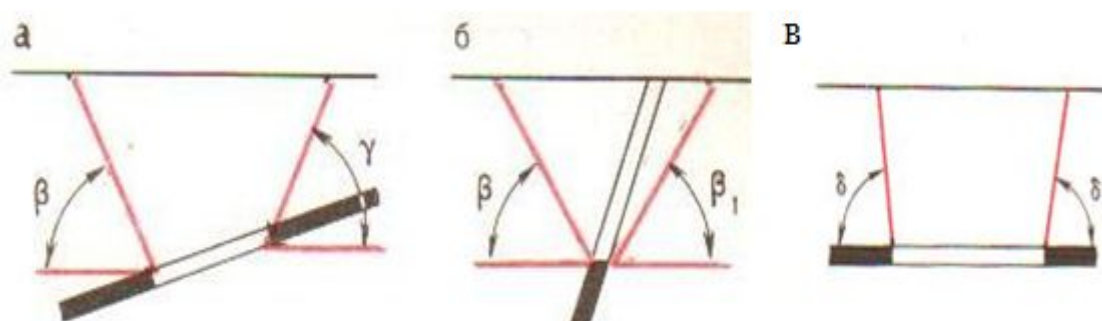


Рис.5.4. Углы сдвижения на разрезах вкрест и по простиранию:

*а- углы при пологом залегании залежи: β -висячем боку, γ - лежащем боку;
б- углы при крутом залегании залежи: β -висячем боку, β_1 - лежащем боку;
в- углы сдвижения на разрезе по простиранию- δ .*

Углы, образованные с горизонтом линиями, соединяющими границы горных работ и внешние границы зоны опасных деформаций, носят название углов сдвижения. Определяют их так же, как и граничные углы (на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения). Различают углы сдвижения в коренных породах и наносах. В наносах углы сдвижения равны по всем трем направлениям и обозначаются - ϕ (рис.5.3).

Не все деформации, возникающие при сдвигении поверхности, опасны для подрабатываемых объектов. Наибольшие деформации земной поверхности, не вызывающие повреждений и не нарушающие нормальную эксплуатацию сооружений, называются **критическими, или предельно безопасными деформациями поверхности**. В мульде сдвижения выделяют зону опасных деформаций. Хотя для различных сооружений эти деформации будут разными, опыт показывает, что для большинства сооружений можно принять следующие значения опасных деформации: наклон $i = 4 \times 10^{-3}$, кривизна $K_p = 2 \times 10^{-3}$; горизонтальные деформации $\epsilon = 2 \times 10^{-3}$.

Углы сдвижения зависят от строения и физико-механических свойств пород, поэтому они различны для разных месторождений. Их величины для угольных бассейнов и основных рудных месторождений определены в результате инструментальных наблюдений и даны в правилах охраны сооружений от вредного влияния подземных горных выработок. Углы сдвижения используются также для построения предохранительных целиков.

В ряде случаев (при большой мощности вынимаемых пластов крутого залегания) в мульде сдвижения образуются провалы, террасы, трещины, составляющую зону обрушения. Зона мульды сдвижения, в которой они

наблюдаются, оконтуривается **углами разрывов** (обрушения). Различают углы разрывов на разрезе вкрест простирания рудного тела β'' , γ'' и по простиранию- δ'' (рис. 5.3,а).

Оседание поверхности – η , являющейся вертикальной составляющей вектора сдвижения (рис. 5.5, а). Величину оседания репера определяют по формуле

$$\eta = H_{n-1} - H_n \quad (5.1)$$

где H_{n-1} - отметка репера из предыдущего или начального наблюдения;

H_n - отметка репера из последующего наблюдения.

Вертикальные деформации возникают вследствие неравномерности оседания и характеризуются наклонами, кривизной и радиусом кривизны.

На рисунке 5.5,а показаны точки 1, 2, 3 – реперы на поверхности до подработки; 1', 2', 3' - то же точки, после подработки; η_1, η_2, η_3 – оседания соответствующих реперов; l_{1-2}, l_{2-3} – расстояния между точками до подработки; ξ_1, ξ_2, ξ_3 - горизонтальные сдвигения соответствующих реперов.

Наклон интервала поверхности определяется по отношению к его первоначальному положению. Например, наклон отрезка 2-3 после подработки выражается углом - i_{2-3} . Наклоны определяют по формуле

$$i_{2-3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{l_{2-3}} \quad (5.2)$$

где η_3 - оседание переднего репера;

η_2 - оседание заднего репера;

l_{2-3} - горизонтальная длина интервала между реперами;

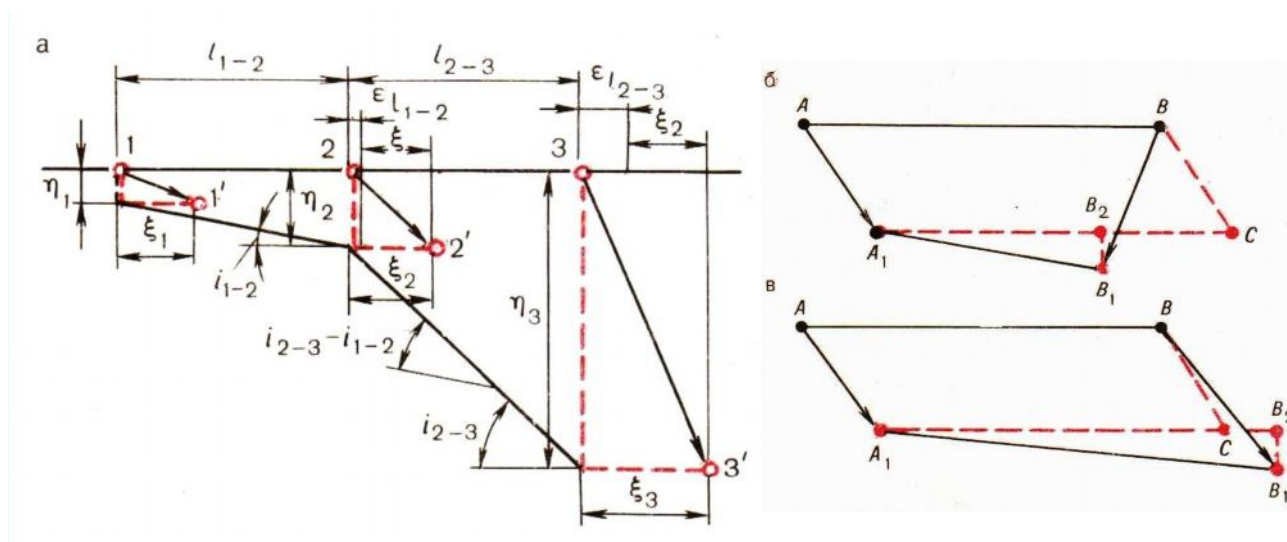


Рис.5.5. Деформаций процесса сдвижения:
а-вертикальные; б, в –горизонтальные(сжатие и растяжение)

кривизну

$$k = \frac{[(i)]_n - i_{n-1}}{d_{\text{ср}}} \quad (5.3)$$

где i_n - наклон последующего интервала;
 i_{n-1} - наклон предыдущего интервала;
 $d_{\text{ср}}$ – полусумма длин предыдущего и последующего интервалов.

Радиусом кривизны - R называется величина, обратная кривизне $R=1/k$.

Горизонтальные деформации – одна из наиболее важных характеристик процесса сдвижения поверхности. Рассмотрим совместное движение двух точек поверхности: А и В (рис.5.5, б). В результате сдвижения точка А переместилась в точку А₁, а точка В - в точку В₁. В случае сжатия отрезка АВ соотношение между векторами АА₁ и ВВ₁ будет таково, как это показано на рис. 5.6, в.

Проведем через точку В линию, параллельную и равную вектору АА₁.

Очевидно вектор А₁В₁ характеризует расстояние АВ после деформаций поверхности. Тогда относительная горизонтальная деформация будет

$$\varepsilon_{\text{AB}} = \text{AB} - \text{A}_1\text{B}_1 / \text{AB} \quad (5.4)$$

Таким образом, горизонтальные деформации (растяжение – сжатие) является ускорением или удлинением длины интервала, отнесенной к первоначальной длине.

Большое значение при выборе мер охраны подрабатываемых объектов имеет характер развития процесса сдвижения во времени. Период, в течение которого земная поверхность над выработанным пространством находится в состоянии сдвижения, принято называть общей продолжительностью процесса сдвижения. Она делится на три стадии: *начальную, интенсивную и затухания*.

Начальная стадия занимает около 30 % общей продолжительности процесса сдвижения. Оседание земной поверхности за этот период достигает 0,15 η_{max} .

Интенсивная стадия начинается при подходе забоя непосредственно под рассматриваемую точку. Она занимает около 40 % общей продолжительности процесса сдвижения. За этот период земная поверхность оседает до 0,7 η_{max} .

Стадия затухания охватывает период, равный примерно 30 % общей продолжительности процесса сдвижения.

Из общей продолжительности процесса сдвижения обычно выделяют период опасных деформаций, т. е. период, в течение которого наиболее вероятно появление повреждений в подрабатываемых объектах. Нередко его связывают со скоростью оседаний земной поверхности. Так, в ряде нормативных документов под периодом опасных деформаций понимают

промежуток времени, в течение которого земная поверхность оседает со скоростью не менее 50 мм в месяц при пологом и наклонном залегании пластов или рудных тел и не менее 30 мм в месяц в условиях крутого залегания. При такой формулировке понятие «период опасных деформаций» является несколько условным, поскольку оно не увязано с конструктивными и эксплуатационными особенностями подрабатываемых объектов. Тем не менее замечено, что во многих сооружениях существенные деформации появляются именно в этот промежуток времени. Поэтому, несмотря на условность такого понятия в указанной формулировке, оно получило широкое распространение.

Параметры, характеризующие влияние горных работ на земную поверхность, используют при решении вопросов рациональной застройки горно-промышленных районов и отработки запасов полезных ископаемых под застроенными территориями и природными объектами.

Знание параметров, характеризующих сдвигание толщи пород, необходимо при проектировании и ведении горных работ вблизи вертикальных стволов шахт и околоствольных выработок, обводненных пород и выбросоопасных зон, при определении оптимальных размеров блоков и межблоковых целиков, при выборе способа управления кровлей, мест расположения выработок, порядка отработок сближенных жил и т. д.

4.1.3 Основные факторы, влияющие на процесс сдвижения горных пород

Влияние на напряженно-деформированное состояние массива горных пород и происходящие в нем геомеханические процессы оказывают условия и факторы. Условия создаются природой, и изменить их искусственным путем не представляется возможным. Изменение технологических факторов подвластно воле человека. Поэтому, воздействуя на них, можно управлять геомеханическими процессами. Рассмотрим каждую из указанных групп отдельно.

Заданными условиями являются следующие.

1. *Угол падения пород α* - один из основных факторов, определяющих угловые параметры процесса сдвижения и распределения деформаций в мульде. От угла падения зависят углы сдвижения и углы разрывов, особенно β и β' . Чем больше угол падения пород, тем положе углы сдвижения. При достаточно крутых углах падения происходит сползание пород лежащего бока и резкое выполаживание угла γ_0 (в этом случае мульда сдвижения со стороны восстания пласта ограничивается углом β_{01}). С увеличением угла падения пластов возрастает отношение горизонтальных сдвижений к вертикальным. Так, если при пологом залегании пластов горизонтальная составляющая вектора сдвижения обычно не превышает половины вертикальной, то при угле падения 45° они равны, а при падении под углом 65° горизонтальная составляющая почти в 2 раза больше вертикальной.

При небольших углах падения пластов (до 5°) мульда сдвижения симметрична относительно плоскости, проведенной через точку

максимального оседания параллельно простиранию пластов. По мере увеличения угла падения эта симметричность нарушается и при углах от 45 до 70° в полумульде по падению наблюдается только растяжение, а в полумульде по восстанию - только сжатие земной поверхности. При углах падения свыше 70° симметричность начинает постепенно восстанавливаться, и при угле 90° мульда сдвижения снова имеет симметричный вид.

2. *Вынимаемая мощность пласта и глубина разработки* оказывает существенное влияние на развитие процесса сдвижения. От мощности пласта зависит интенсивность развития процесса сдвижения, его форма, величина оседания. Чем больше мощность пласта, тем больше величина оседаний и деформаций, больше размеры зоны обрушений и нормально секущих трещин. Величина сдвижений и деформаций связаны прямой зависимостью с вынимаемой мощностью и обратной – с глубиной залегания.

С увеличением глубины разработки все виды деформаций земной поверхности уменьшаются. Особенно чувствительна к этому фактору кривизна сглаженной мульды сдвижения: она обратно пропорциональна квадрату глубины разработки. Горное давление, наоборот, с увеличением глубины разработки повышается, концентрация деформаций и напряжений на отдельных участках становится более опасной. Размеры зоны повышенного (опорного) давления пропорциональны при прочих равных условиях глубине разработки.

3. *Физико-механические свойства* горных пород оказывают влияние на все параметры и показатели процесса сдвижения. Крепкие породы – граниты, кварциты, порфириты и другие обладают наибольшим сопротивлением сжатию, срезу, и поэтому при их подработке они мало прогибаются и задерживают развитие процесса сдвижения кверху. Однако при достижении напряжений и временного их сопротивления они быстро разрушаются и способствуют развитию процесса обрушения.

Пластические породы (глины, глинистые сланцы и др.) допускают значительные деформации без разрыва сплошности и тем самым способствуют развитию плавного оседания поверхности земли.

Сыпучие породы (пески) способствуют развитию процесса сдвижения течения, а следовательно, образованию провалов и воронок. Существенное влияние на характер процесса сдвижений и его продолжительность оказывает строение массива горных пород. На основании указанной зависимости составлена классификация месторождений, где использованы прочностные свойства пород в качестве одного из определяющих признаков [кузнецов и]. На этом же принципе построены некоторые разделы общих правил охраны сооружений от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [инструкция 53].

4. *Тектонические нарушения и трещиноватость* являются важным фактором, от которого зависят как значения деформаций, так и характер их распределения в мульде сдвижения. Нарушенность в массиве возникает под влиянием геологических и техногенных процессов. Так, при попадании природной (потенциальной) поверхности ослабления в зону растяжений,

вызванных влиянием горных работ, образуется тектонико-техногенная трещина. Последующие горные работы будут вызывать концентрацию деформаций у этой трещины, даже если они будут вестись на значительном расстоянии от нее. Деформации на выходах тектонических трещин крутого падения на земную поверхность в несколько раз (иногда на порядок) больше, чем в обычных условиях. Тектонические трещины, подсеченные горными работами, являются причиной дополнительных притоков воды в горные выработки и подрабатываемых выработок⁷

5. *Мощность наносов.* Значительные по мощности наносы смягчают неравномерность сдвижений и деформаций, уменьшают вероятность проявления трещин в мульде сдвижения. Углы сдвижения в наносах более пологие, чем в коренных породах. Подработка сооружений (особенно водоемов) проходит более благоприятно при значительной мощности наносов.

6. *Рельеф местности* и гидрогеологические условия оказывают большое влияние на характер и последствия процесса сдвижения горных пород. При гористом рельефе, особенно в условиях значительного обводнения пород, горные работы нередко вызывают оползневые явления. В гористой местности резче проявляется концентрация деформаций на выходах на поверхность различных плоскостей ослабления породного массива.

К управляемым (технологическим) факторам относятся следующие.

1. *Скорость подвигания очистной выработки* в значительной мере определяет продолжительность и интенсивность развития геомеханических процессов. Изменяя скорость подвигания, можно регулировать сроки и продолжительность отдельных стадий процесса сдвижения, что существенно при подработке объектов, в эксплуатации которых имеются перерывы. Особенно важно знать продолжительность и скорость процесса сдвижения при установлении сроков и частоты ремонта подрабатываемых железнодорожных путей.

2. *Порядок ведения горных работ* и взаимное расположение выработок существенно влияют на параметры и характер геомеханических процессов. Первая очистная выработка изменяет напряженное состояние толщи горных пород, вызывает образование в ней зон повышенного и пониженного давления, секущих трещин и полостей расслоения. В зависимости от того, в какие зоны попадают последующие очистные выработки, угловые параметры могут быть круче или положе, значения деформаций больше или меньше обычных и т.д. При расположении границ выработок в свите пластов примерно в одной вертикальной плоскости края мульды сдвижения получают наиболее крутыми с максимальным развитием деформаций. Чем больше смещены границы выработок, тем положе края мульды сдвижения и меньше деформации. При определенном взаимном расположении очистных выработок на отдельных участках может происходить компенсация растяжений, вызванных одной выработкой, сжатиями от другой, кривизны выпуклости - кривизной вогнутости, положительного наклона - отрицательным и т.д.

Разрыв во времени между отработкой пластов определяет интенсивность геомеханических процессов: чем меньше этот разрыв, тем более бурно протекает процесс.

3. *Размеры выработанного пространства* оказывают (до определенного предела) существенное влияние на оседания и абсолютные сдвиги и в меньшей степени - на относительные деформации. В условиях полной подработки изменение размеров выработанного пространства не оказывает влияния ни на значения сдвига и деформаций, ни на характер процесса сдвига. Существенного влияния размеров выработанного пространства на угловые параметры процесса сдвига не замечено.

4. *Целики в выработанном пространстве* заметно влияют на напряженно-деформированное состояние массива горных пород и распределение деформаций в мульде сдвига. При удачном соотношении целиков и камер деформации горных пород могут не проявиться на земной поверхности, и наоборот, при неудачном соотношении над целиками происходит концентрация деформаций. В толще горных пород целики вызывают местные повышения напряжений.

5. *Способы управления кровлей* оказывают существенное влияние на характер развития геомеханических процессов как в толще горных пород, так и на земной поверхности. Наиболее бурно протекают эти процессы при управлении кровлей способом обрушения, наиболее плавно - при применении закладки выработанного пространства. Путем применения твердеющей закладки деформации горных пород и земной поверхности можно уменьшить в десятки раз, гидравлической закладки - в 3-20 раз, пневматической - в 2,5-4 раза и самотечной - в 2-3 раза.

Частичная закладка, осуществляемая породой из слоев кровли или почвы пласта на разрабатываемом участке, существенного влияния на деформации не оказывает.

5.2 Маркшейдерские наблюдения за сдвижением толщи пород

5.2.1 Методы изучения процесса сдвига горных пород и земной поверхности

В вопросах изучения процесса сдвига земной поверхности под влиянием горных разработок ученые добились значительных успехов. Несмотря на большое число исследовательских работ, проблема прогнозирования параметров сдвига и охрана сооружений от вредного влияния горных разработок, в виду многочисленности факторов, влияющих на процесс сдвига горных пород, сложности и большого разнообразия горно-геологических особенностей рудных месторождений, все еще полностью не решена. В целом эта крупная научная проблема может быть успешно решена при постановке комплексного метода исследований, т.е. при согласованных исследованиях процессов деформирования, напряженного состояния, прочностных свойств, структурных особенностей горных пород в

натурных условиях, а также при постановке инструментальных наблюдений за процессом сдвижения.

Одним из основных методов исследований является проведение геомеханического мониторинга и оценка состояния массива горных пород, который необходимо производить на каждом руднике.

Геомеханическая оценка породного массива для решения вопросов управления процессом сдвижения и горным давлением при разработке месторождений требует применения определенной методологии познания изучаемой среды. При этом методы познания должны адекватно отразить суть предмета, обеспечивать раскрытие основных закономерностей явления и установление связей между разными факторами.

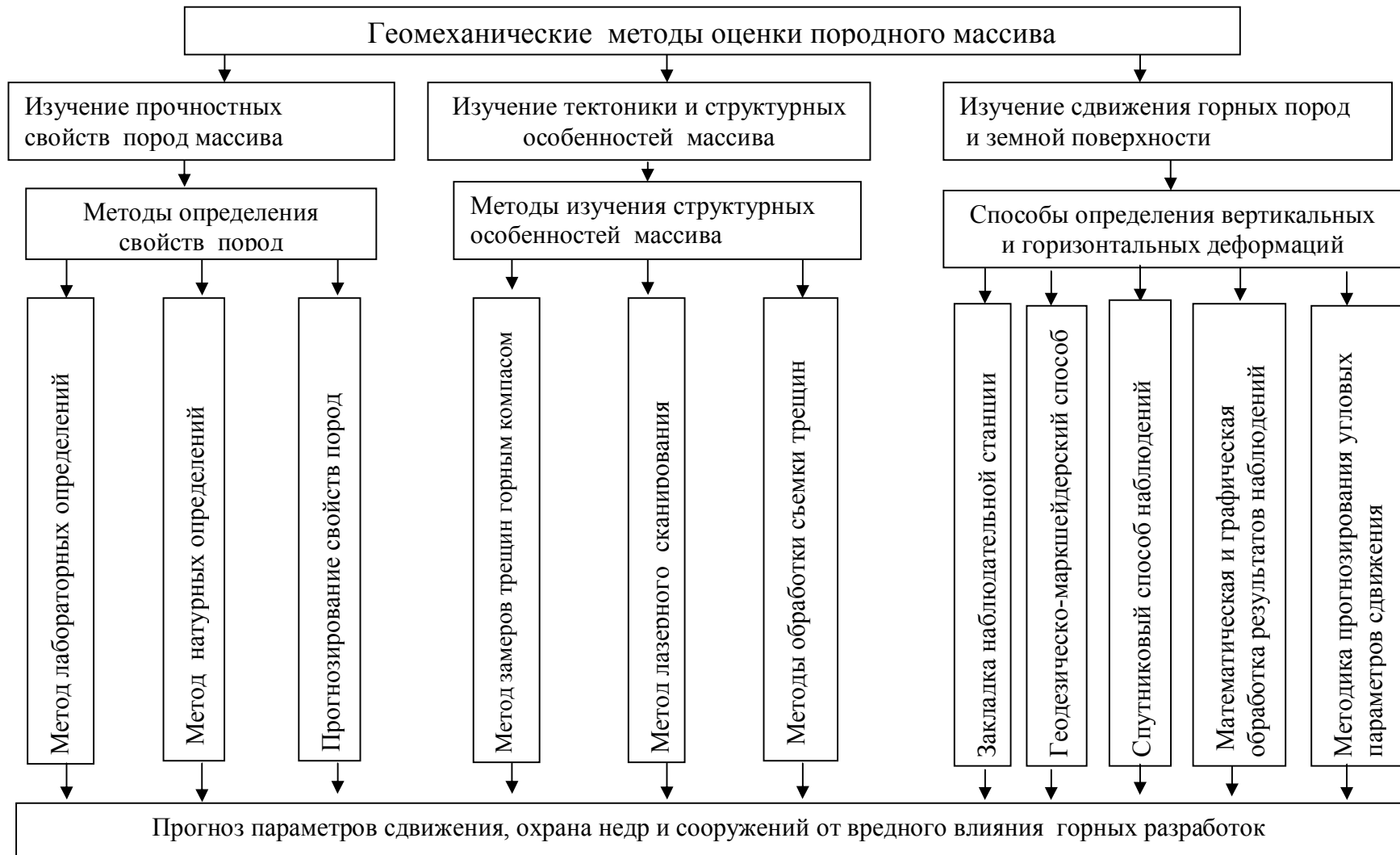
Главным объектом нашего исследования является породный массив или, как его определяют в инженерной геологии [96], геологическая среда, под которой понимаются любые горные породы и почвы, влагающие верхнюю часть литосферы и находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. Геологическая среда отличается от остальной литосферы особенностями горных пород и протекающих в них геологических процессов.

Мониторинг-это система наблюдений состояния геологической среды, в процессов сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханических и геодинамических процессов в массиве горных пород, интерпретация выполненных наблюдений, формирование суждения о состоянии массива в целом и прогноз параметров устойчивых откосов. Цель мониторинга - выявление механизма процесса сдвижения и предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду.

На рисунке 4.6 представлена структура комплексной методики изучения и прогноза геомеханического состояния породного массива, разрабатываемого объекта. Реализация данной методики позволяет обеспечить безопасные условия труда и бесперебойный режим работы горнодобывающего предприятия.

Проведение маркшейдерского геомониторинга позволяет дать количественную оценку деформаций горных пород в комплексе с инженерно-геологическими и гидрогеологическими исследованиями и помогает выявить характер начавшейся деформации, что дает возможность сделать прогнозы относительно ее развития во времени и пространстве, наметить мероприятия по устранению причин, вызывающих развитие опасных деформаций.

Результаты этих исследований должны послужить основой для создания структуры прогноза параметров сдвижения, выбора методов и средств контроля, выявления закономерностей процесса и, в конечном итоге, разработки методического обеспечения, позволяющего повысить безопасность ведения горных работ и эффективность разработки месторождений в целом.



Риснок 5.6. Структурная схема методики исследования геомеханических процессов

Таким образом, при оценке состоянии породного массива широко используются следующие натурные геомеханические методы:

- изучение физико-механических свойств пород массива и прогнозирование их изменчивости в пространстве и во времени (рассмотрено 1 и 2 главах учебника);
- изучение структурных особенностей массива, обработка результатов съемки трещин различными способами и определение влияния их на параметры сдвижения (рассмотрено во 3-главе учебника);
- проведение маркшейдерских инструментальных наблюдений для установления характера и прогнозирования параметров сдвижения.

Известны три направления изучения сдвижения горных пород и земной поверхности:

- а) натурные инструментальные наблюдения;
- б) лабораторные исследования;
- в) теоретические исследования.

Метод натурных инструментальных наблюдений играл важную роль на первых этапах исследований. Он не утратил своего значения и в настоящее время. При изучении процесса сдвижения горных пород непосредственно в натуре, т.е. в районе горных разработок: на исследуемом участке закладывают наблюдательную станцию с большим числом реперов. Чаще такую станцию закладывают на земной поверхности. Путем систематических инструментальных наблюдений определяют положение реперов станции во времени и в пространстве. Более подробно методика натурных инструментальных наблюдений процесса сдвижения горных пород и земной поверхности рассматриваются в следующих параграфах.

При изучении процесса сдвижения горных пород в *лабораторных условиях* создают плоские и объемные модели исследуемого участка, на которых имитируют выемку полезного ископаемого и вызываемый ею процесс сдвижения. Лабораторный способ изучения процесса сдвижения может дать хорошие результаты при совместном изучении этого процесса со способом натурных наблюдений на наблюдательных станциях. Достоинством этого способа являются сравнительно малые трудоемкость и затраты времени на исследования, безопасность проведения эксперимента, возможность изучения процесса сдвижения толщи пород.

Теоретические исследования процесса сдвижения проводятся в двух направлениях:

- 1) с целью установления, исходя из физической сущности этого процесса, аналитических зависимостей между количественной стороной параметров процесса сдвижения и заданными горно-геологическими условиями;
- 2) с целью разработки эмпирических способов расчета параметров процесса сдвижения, вытекающих из обработки материалов натурных и лабораторных исследований.

Лабораторные и теоретические исследования помогут более эффективно использовать данные натурных наблюдений и сократить их объем. Поэтому для решения вышеизложенных задач необходимо сочетать все эти направления, т.е. проводить геомеханический мониторинг. Согласно методике проведения геомеханического мониторинга (рис.4.6), далее детально рассматриваем третий блок - изучение сдвижения горных пород и земной поверхности.

Для установления характера и параметров геомеханических процессов в различных условиях проводят специальные инструментальные наблюдения в толще пород и на земной поверхности, используя с этой целью наблюдательные станции. Наблюдательные станции представляют собой систему реперов, закладываемых по линиям, перпендикулярным к простиранию рудного тела. Чтобы учесть влияние различных факторов на параметры сдвижения, профильные линии наблюдательной станции обычно располагают в различных горно-геологических условиях.

В зависимости от назначения, конструкции и сроков существования различают следующие типы наблюдательных станций.

1. Наземные наблюдательные станции (долговременная) предназначены для получения основных параметров сдвижения горных пород и земной поверхности, установления характера распределения деформаций в мульде сдвижения и закономерностей их накопления при выемке свиты пластов или одного пласта на нескольких горизонтах. Продолжительность существования станции и наблюдений на ней не менее трех лет, с учетом этого реперы на станции этого типа закладывают капитально.

2. Подземные наблюдательные станции предназначены для определения характера и величин деформаций толщи пород. Продолжительность существования станции и наблюдений на ней обычно от 1 года до 3 лет.

3. Специальные наблюдательные станции предназначены для детального изучения отдельных вопросов, связанных со сдвижением горных пород и земной поверхности, охраной конкретных сооружений, горных выработок, природных объектов и пр. Наиболее часто специальные станции закладывают для определения взаимосвязи деформаций грунта и сооружений, изучения влияния деформаций подработанной толщи и земной поверхности на фильтрацию из водных объектов в подземные горные выработки, установления условий и мест образования сосредоточенных деформаций (подвижек по напластованию, уступов и трещин), определения зон разгрузки и повышенных напряжений в толще горных пород для выбора рациональных параметров систем разработки, способов охраны выработок и мер безопасного ведения горных работ.

К числу специальных относят иногда комплексные наблюдательные станции, представляющие собой систему реперов в толще горных пород (в скважинах, горных выработках) и на земной поверхности, расположенных в определенном порядке и увязанных между собой. По исполнению эти станции сложны и трудоемки, но весьма эффективны. Они позволяют глубже изучить

природу и механизм рассматриваемого явления, связать в единое целое разные формы проявления горного давления и сдвижения пород, создать основу для более стройной теории и более универсальных методов расчета сдвижений и деформаций горных пород.

5.2.2 Составление проекта и закладка наблюдательной станции

Перед закладкой наблюдательной станции маркшейдер составляет проект станции, который состоит из *пояснительной записки* и *графических материалов*, характеризующих горно-геологическую ситуацию в районе наблюдательной станции, взаимное расположение реперов наблюдательной станции и подрабатываемых объектов очистных выработок.

Пояснительная записка содержит: цель наблюдений; краткую горно-геологическую характеристику вмещающих пород; применяемая система разработки; выбор местоположения и расчет длин профильных линий; определение интервалов между реперами; расчет количества опорных и рабочих реперов; конструкцию и способы закладки реперов; методику проведения наблюдений, характеристику приборов и др.

Графические материалы должны содержать план наблюдательной станции, разрезы по профильным линиям (масштабы плана 1:1000, 1:2000)

Место заложения наблюдательной станции определяется положением горных работ и задаче наблюдений. Удобной для наблюдений является ровная, мало застроенная местность. Обычно закладывают 2-3 профильные линии вкрест простирания и одну по простиранию залежи. При разработке месторождений с изменяющимися геологическими и горнотехническими условиями профильные линии размещаются над несколькими участками, отличающимися друг от друга элементами залегания, мощностью залежи, системой разработки и т.д.

Каждая профильная линия должна состоять из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы закладывают на концах профильных линий вне зоны сдвижения земной поверхности. Число их на каждом конце профильной линии должно быть не менее двух.

Рабочие реперы закладывают в пределах ожидаемой зоны сдвижения на земной поверхности. Границы ожидаемой зоны сдвижения определяют с помощью углов сдвижения β , γ , β и δ в коренных породах для данного или аналогичного месторождения, уменьшенных на 10° , и угла сдвижения в наносах и выветрелых породах ϕ .

Когда углы сдвижения для данного или аналогичного месторождения не известны, их величину рекомендуется определять в соответствии с данными, приведенными в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Тип и строение пород	Группа пород (коэффициент крепости пород $-f_{cp}$)	Под-группа	Углы падения рудных тел- α , градус	Углы сдвижения, градус			
				δ	β	γ	β_1
I. Слоистое строение	1. $f (< 5)$	1	0 – 45	55	45	55	-
		2	46 – 75	55	40	-	40
		3	76 – 90	55	45	-	40
	2. $f (5 \div 8)$	1	0 – 45	60	50	60	-
		2	46 – 60	60	40	60	-
		3	61 – 75	60	40	-	50
		4	76 - 90	60	45	-	50
	3. $f (> 8)$	1	0 – 45	65	50	65	-
		2	46 – 60	65	45	65	-
		3	61 – 75	65	45	-	50
		4	76 - 90	65	50	-	50
II. Неслоистое строение	4. $f (\geq 8)$	1	0 – 45	70	70	90	-
		2	46 – 60	70	65	65	-
		3	61 – 75	70	65	-	α
		4	76 - 90	70	65	-	65

Длины профильных линий определяют следующим образом. Длина профильных линий вкrest простираения (рис.57,*а* и *б*) определяется на вертикальных разрезах по углам сдвижения. На разрезах от нижней границы очистной выработки проводят линии под углом $\beta - 10^\circ$, а от верхней границы выработки - под углом $\gamma - 10^\circ$ до контакта коренных пород с наносами (точки на рис. 5.7,*а*) и далее – под углом φ до пересечения с линией земной поверхности в точках А и Б. Полученные точки А и Б являются границами ожидаемой зоны сдвижения земной поверхности, а расстояния между ними определяют длину рабочей части профильной линии вкrest простираения на данном разрезе.

При крутом падении рудных тел ($\alpha > 45^\circ$) границу ожидаемой зоны сдвижения со стороны восстания строят от нижней границы очистной выработки в лежачем боку рудного тела под углом $\beta_1 - 10^\circ$ (рис. 5.7,*б*). Расстояние между профильными линиями должно быть не более 50 м.

На разрезе по простираению от проектных границ очистных работ в стороны торцов рудного тела проводят линии под углом $\delta - 10^\circ$ до пересечения с линией контакта коренных пород с наносами (точки на рис.4.7,*в*) и далее под углом φ в наносах до пересечения с линией земной поверхности в точках Ж и З. Точки Ж и З будут являться границами ожидаемой зоны сдвижения по простираению.

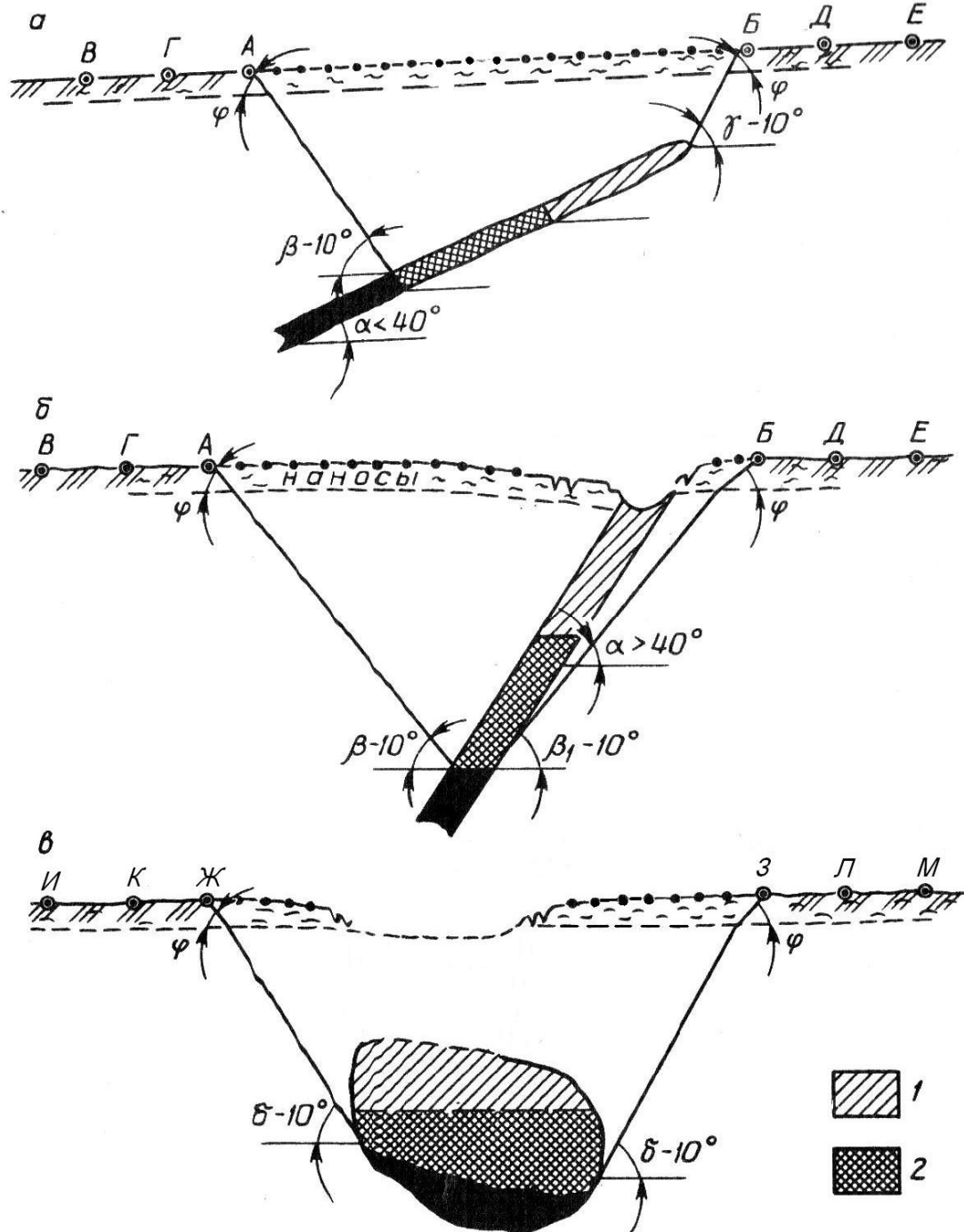


Рис.5.7. Определение длин проектируемых профильных линий:

а,б - на разрезе вкrest простиранья пород; в -на разрезе по простиранью пород; 1-тработано; 2- подготовлено к от работке на пери од наблюдений.

На продолжении профильных линий за пределами зоны сдвижения закрепляются два опорных репера. Расстояние от первого опорного репера до

конца рабочей части профильной линии должно быть не менее 50 м, а расстояние между опорными реперами в зависимости от местных условий - 50-100м. Полученные точки Г, В, Д, Е и И, К, Л, М определяют места расположения опорных реперов (рис.5.7,*а,б,в*). При необходимости закладывают дополнительные профильные линии.

Число рабочих реперов по профильной линии определяют длиной линии и выбранной величиной интервала между реперами. Расстояние между рабочими реперами зависит от глубины разработок. Для глубины до 50-100, 100-200, 200-300, 300-400 и более 400 м расстояние между рабочими реперами принимается согласно инструкции равным соответственно 5, 10, 15, 20 и 25 м.

Далее по разрезам (рис.5.7) составляется план проектируемой наблюдательной станции (рис.5.8)

Рис.5.8. План наблюдательной станции

Разбивку наблюдательной станции, т.е. перенесение с проекта в натуру, проводят приборами (теодолиты, жесткие отвесы, натяжные устройства, рулетки, нивелиры и нивелирные рейки) от пунктов маркшейдерской опорной сети. Места закладки реперов на профильных линиях отмечают колышками, которые устанавливают по створу линий с допустимым отклонением не более 5 см.

Конструкция реперов и способ их закладки в грунте должны обеспечить: удобство измерений в горизонтальной и вертикальной плоскостях, прочную связь репера с грунтом, надежную сохранность реперов на весь срок службы станции, простоту конструкции репера, допускающую изготовления в местных условиях. Рекомендуемые конструкции реперов и способы их закладки приведены в Инструкции ВНИМИ [3].

Закладка репера, предназначенного для длительной службы, осуществляется следующим образом: бурится скважина диаметром 160-300 мм, на глубине ниже зоны промерзания на 0,54 м бетонируют металлический штырь или трубу диаметром 30-50 мм. Цементный раствор заливают только в нижнюю часть скважины на 0,4-0,5 м. верхний конец металлического штыря имеет вид полусферы, на которую наносится центр в виде отверстия диаметром не более 2 мм и глубиной 4-5 мм. Пространство между штырем и стенками скважины заполняют песком или шлаком и плотно утрамбовывают. Глубина закладки репера, как правило, должна быть не менее 1,5 м.

5.2.3 Производство наблюдений на станциях и обработка их результатов

Наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности и обработка результатов наблюдений являются одной из задач маркшейдерской службы предприятия. В результате наблюдений должны быть установлены сдвижение отдельных точек массива в пространстве и во времени, размеры сдвигающегося массива, поверхности скольжения, стадии процесса сдвижения (начальная, активная, затухающая), степень опасности сдвижения пород для горных работ или сооружений на поверхности.

Наблюдения на поверхностных наблюдательных станциях состоит из *привязки* опорных реперов станции к существующей опорной сети, *первичных* и *периодических* наблюдений на реперах станций в горизонтальной и вертикальной плоскостях и повторных наблюдений.

Привязку опорных реперов наблюдательной станции в плановом положении осуществляют триангуляцией или проложением замкнутых теодолитных ходов от ближайших пунктов триангуляции или полигонометрии (исходных пунктов). Высотную привязку и контроль за неподвижностью опорных реперов проводят от реперов и пунктов маркшейдерской нивелирной сети нивелированием IV класса в соответствии с указаниями работы [3].

Первичные наблюдения на станции рекомендуется проводить через 7-10

дней после закладки реперов если они бетонировались и через 2-3 дней при забивных реперах. При этом измеряют все расстояния между реперами и производят нивелирование реперов. Нивелирование реперов производят замкнутыми ходами или по профильным линиям в прямом и обратном направлениях. Высотные невязки при этом не должны превышать $\pm 15\sqrt{L}$ мм, где L- длина хода, в км.

Инструментальные маркшейдерские наблюдения являются основным средством получения информации о деформациях породного массива и наиболее надежной основой для прогноза их устойчивости. Большое распространение в практике получил маркшейдерско-геодезический метод контроля за счет оперативности получения информации с помощью спутниковых систем.

Комплекс работ на наблюдательной станции включает следующие операции:

- 1) инструментальное определение величин сдвижений реперов в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- 2) фиксация трещин, проявляющихся на земной поверхности, с определением их раскрытия, протяженности, съемку провалов и зоны обрушения;
- 3) осмотр подземных выработок под наблюдательной станцией с фиксацией признаков сдвигания пород;
- 4) составление и пополнение планов и разрезов очистных горных выработок в районе наблюдательной станции с указанием времени характерных этапов горных работ;
- 5) изучение тектонической нарушенности и трещиноватости горных пород;
- 6) изучение прочностных свойств пород.

Основные требования к производству маркшейдерских наблюдений за сдвижением горных пород отражены в инструкции ВНИМИ [33], где приведены виды наблюдений, том числе высокоточные инструментальные наблюдения по профильным линиям; съемки с целью паспортизации уже проявившихся трещин и обрушений на земной поверхности.

Периодические наблюдения производят через каждые промежутки времени в зависимости от интенсивности сдвижений. Интервал между наблюдениями зависит также от целей наблюдений.

Цели и задачи наблюдений можно подразделить на научные (исследовательские) и практические.

Научной целью наблюдений являются получение полных сведений о процессе сдвижения горных пород на всех стадиях, от момента проявления упругих деформаций до полного затухания процесса.

Практические цели ограничиваются получением надёжных параметров сдвижения процессе сдвижения на том или ином этапе деформирования породного массива, на основе которых с учётом условий устойчивости

решаются задачи охраны сооружений, разработки противодеформационных мероприятий или изменения схемы ведения работ.

В зависимости от целей и задач, а также условий отработки месторождения наблюдения проводят в различном объеме и в различные по продолжительности периоды времени. В соответствии с этим наблюдения делят на фундаментальные (долговременные), временные инструментальные и упрощенные.

Частота наблюдений на таких станциях в скрытую и начальную стадии развития деформации составляет от 1-2 раз в год. Если требуется получить детальные сведения о процессе сдвижения, то рекомендуется выполнить наблюдения в каждый квартал, иногда в каждый месяц.

Фундаментальные маркшейдерские наблюдения выполняют специализированные маркшейдерские группы при методическом руководстве и участии научно-исследовательских институтов соответствующего профиля.

Наблюдения, анализ и интерпретация результатов наблюдений позволяют: определить величины смещений, деформаций, скоростей развития процесса деформирования и границы распространения деформаций; определить критические величины деформаций, предшествующие началу активной стадии деформирования, для различных инженерно-геологических комплексов горных пород; осуществлять контроль за ведением горных работ на деформирующихся участках массива; определить эффективность противооползневых мероприятий.

Камеральную обработку результатов наблюдений выполняют по окончании каждой серии измерений. В специальных ведомостях по каждой профильной линии проводят вычисления:

- 1) вертикальных сдвижений (оседаний) реперов (табл.5.2);
- 2) вертикальных деформации (наклонов и кривизны) муьды сдвижения (табл.5.3);
- 3) горизонтальных деформаций (растяжений, сжатий) интервалов между реперами (табл.5.4).

Величины вычисляют по формулам:

оседание

$$\eta = H_{n-1} - H_n \quad (5.5)$$

где H_{n-1} - отметка репера из предыдущего наблюдения.

H_n - отметка репера из последующего наблюдения.

наклон

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{d} \quad (5.6)$$

где η_n - оседание переднего репера;

η_{n-1} - оседание заднего репера;

d - горизонтальная длина интервала между реперами;

кривизна
$$k = (i_n - i_{n-1}) / d_{cp} \quad (5.7)$$

где i_n - наклон последующего интервала;

i_{n-1} - наклон предыдущего интервала;

d_{cp} – полусумма длин предыдущего и последующего интервалов.

горизонтальные деформации

$$\varepsilon = (d_n - d_{n-1}) / d \quad (5.8)$$

где d , d_{n-1} , d_n – горизонтальные длины интервалов соответственно из начального, предыдущего и последующего наблюдений.

горизонтальные сдвигения

$$\xi = D_{n-1} - D_n \quad (5.9)$$

где D_{n-1} и D_n - расстояния от опорного репера до данного репера соответственно из начального и последующего наблюдений

Табл. 5.2. Ведомость вертикальных сдвижений (оседаний) реперов

№№ реперов	1-е наблюдение, м (20.04.2012)	2-е наблюдение, м (01.08.2012)	η 1-2, мм	3-е наблюдение, м (18.11.2012)	η 2-3, мм	η 1-3, мм
1	765,788	765,714	74	765,213	501	575
2	766,073	766,014	59	765,521	493	552
3	766,223	766,186	37	766,029	157	194
4	766,651	766,620	31	766,473	149	178
5	767,113	767,086	27	766,961	125	152
6	768,738	768,737	1	768,734	3	4
7	769,523	769,523	0	769,522	1	1

Табл.5.3. Ведомость вертикальных деформаций интервалов между реперами

№№ реперов	Длина интервала, м	1 - 2 наблюдения (20.04.2012 - 01.08.2012)				
		$\Delta\eta$, мм	$i \cdot 10^{-3}$	$\Delta i \cdot 10^{-3}$	$k \cdot 10^{-3}$, 1/м	R, км
1	21,883	15	+0,69			
2				- 0,43	-0,02	-50
3	19,577	22	+1,12	+0,82	+0,04	+25
4	19,829	6	+0,30	+0,12	+0,01	+100

5	21,978	4	+0,18	-1,31	-0,07	-14,3
	17,495	26	+1,49			
6	15,023	1	+0,07	+1,42	+0,09	+11,1
7						

Табл.5.4. Ведомость горизонтальных деформаций интервалов между реперами

№ интервала	1-е наблюдение, м (20.04.2012)	2-е наблюдение, м (01.08.2012)	2-1, мм	Деформация ε	3-е наблюдение, м (18.11.2012)	3-1, мм	Деформация ε
1-2	21,883	21,896	+ 13	+ 13	21,929	+ 46	+ 2,1
2-3	19,577	19,627	+ 50	+ 50	19,887	+ 310	+15,8
3-4	19,829	19,840	+ 11	+ 11	19,867	+ 38	+ 1,9
4-5	21,978	21,988	+ 10	+ 10	22,031	+ 53	+ 2,4
5-6	17,495	17,510	+ 15	+ 15	17,580	+ 85	+ 4,9
6-7	15,023	15,023	0	0	15,026	+3	+0,2

По вычисленным данным для каждой профильной линии строят графики вертикальных и горизонтальных деформаций. Масштабы графиков выбирают, исходя из удобства и наглядности изображения. На рис.5.9 приведены графики распределения значений величин деформаций ε , κ , i и η по профильной линии вкострости рудного тела.

Углы сдвижения β и γ по этим графикам определяют следующим образом. На графиках деформаций ε , κ и i находят точки a и a_1 , b и b_1 , c и c_1 , в которых значения соответствующих деформаций равны критическим, т.е. $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$, $\kappa = 0,2 \cdot 10^{-3}$ и $i = 4 \cdot 10^{-3}$. Углы сдвижения определяются по крайним из названных выше критических точек. На рисунке 4.9 такими точками являются a и a_1 , которые проецируются на профиль земной поверхности (он совмещен с графиком оседаний) и получают точки a' и a_1' . Из точек a' и a_1' проводят линии под углами сдвижения $-\varphi$ в наносах и получают точки a'' и a_1'' . Наконец, точки a'' и a_1'' соединяют прямыми соответственно с нижней границей очистных работ и получают требуемые углы сдвижения β и γ . Значение угла δ получают аналогичным образом по графикам, построенным для профильной линии по простиранию залежи.

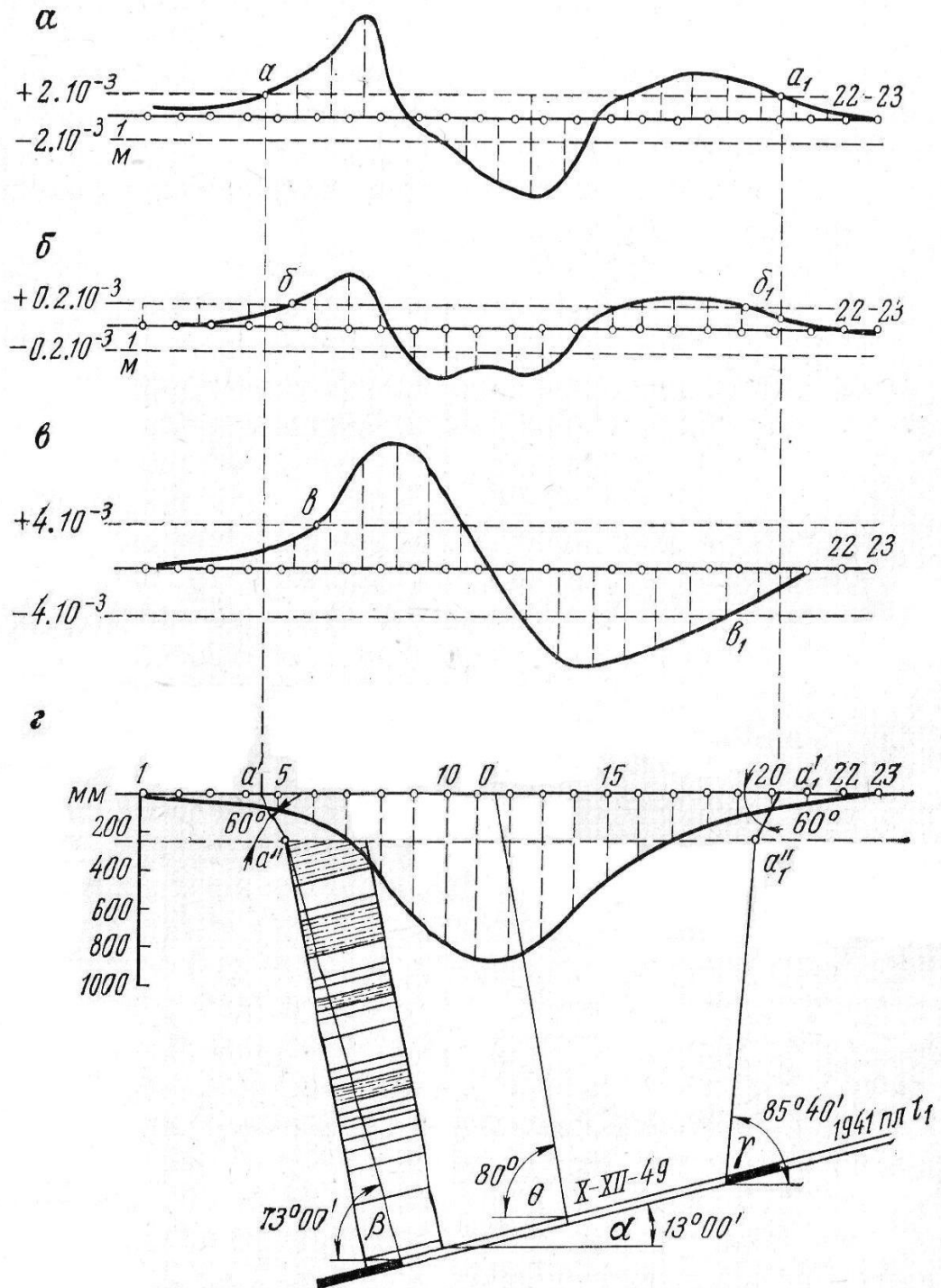


Рис.5.9. Графики сдвижения:

а- горизонтальные деформации; б- кривизна (κ); в – наклоны (i); г -оседении (η).

Угол Θ , как показано на рисунке, равен углу наклона линии. Соединяющей середину выработанного пространства с точкой О, имеющей наибольшее оседание.

Дополняя результаты натурных экспериментальных исследований математическими и прежде всего численными решениями геомеханических

задач, можно получить достаточно полное представление о напряженно-деформированном состоянии нетронутого реального массива месторождения.

5.3. Расчет величин сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности

Сдвигения и деформации горных пород и земной поверхности относятся к основным исходным данным, необходимым для проектирования и строительства подземных и поверхностных сооружений в горнодобывающих районах. На основании этих данных решают также вопросы планирования и ведения горных работ под застроенными территориями, реками и водоемами, вблизи стволов шахт, околоствольных выработок и других важных объектов.

Различают деформации фактические, измеренные, ожидаемые и расчетные.

Под *фактическими* понимают деформации, которые в действительности претерпели горные породы и земная поверхность под влиянием выемки полезного ископаемого.

Измеренными называют деформации, полученные по данным натурных наблюдений на конкретном участке месторождения при определенных длинах интервалов, частоте и точности наблюдений.

Ожидаемые деформации определяют путем предрасчета по формулам, таблицам или графикам, составленным на основании обобщения результатов наблюдений в данных (или аналогичных данным) горно-добывающих районах.. При проектировании конструктивных или других мер защиты подрабатываемых объектов обычно ориентируются на расчетные деформации, получаемые путем умножения ожидаемых деформаций на коэффициенты перегрузки. В действующих нормативных документах приняты следующие значения перегрузки: для оседаний и горизонтальных сдвижений 1,1–1,2; для наклонов и относительных горизонтальных деформаций 1,2–1,4; для кривизны 1,4–1,8.

В зависимости от полноты исходных данных и получаемых результатов существующие методики расчета можно условно разделить на полные и сокращенные или, как их часто называют, упрощенные. Полными методиками расчета определяются ожидаемые значения деформации, упрощенными - вероятные их значения. Исходными данными при всех методиках расчета являются мощность, глубина залегания и угол падения разрабатываемых пластов. Для расчета по полной методике необходимо располагать рядом дополнительных сведений о горно-геологических условиях разработки пластов, в частности, о размерах и местоположении очистных горных выработок, очередности отработки лав и пластов. Эти сведения содержатся обычно в календарных планах развития горных работ.

В зависимости от способа получения расчетных формул и степени их

обоснованности методы расчета деформаций подразделяются на теоретические, эмпирические и полуэмпирические. В инженерной практике используются в основном эмпирические и полуэмпирические методы расчета. Эмпирические методы базируются на зависимостях, полученных непосредственно из результатов инструментальных наблюдений в натурных условиях, полуэмпирические - на зависимостях, установленных на основании обобщений, теоретических соображений и математических аналогий, числовые значения коэффициентов в которых определяются по данным натурных наблюдений.

Значительная часть полуэмпирических методов расчета базируется на математических моделях процесса сдвижения. Этими методами определяются вертикальные и горизонтальные составляющие векторов сдвижения, на основании которых вычисляются линейные деформации как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

В России и странах СНГ большое распространение получил метод типовых кривых, согласно которому деформации в точках мульды сдвижения определяются по формулам:

$$\eta_x = \eta_{\max} S(z) \quad (5.10)$$

$$i_x = \pm \frac{\eta_{\max}}{L} S'(z) \quad (5.11)$$

$$K_x = \pm \frac{\eta_{\max}}{L^2} S''(z) \quad (5.12)$$

$$\xi_x = 0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_{\max} F(z) \quad (5.13)$$

$$\varepsilon_x = \frac{0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_{\max}}{L} F'(z) \quad (5.14)$$

где η_x , i_x , K_x , ξ_x , ε_x – соответственно оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в точке с абсциссой x .

5.4. Меры охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок

5.4.1. Условия безопасной подработки зданий и сооружений

Вопросы охраны сооружений и зданий от повреждений в результате выемки под ними полезного ископаемого приобрели в последние годы большое значение, так как подработка зданий ведет или к значительному удорожанию стоимости добычи полезного ископаемого из-за применения в

сооружениях дополнительных мер по охране, или к большим потерям полезного ископаемого в предохранительных целиках.

Наилучшие результаты дают способ определения условий безопасной подработки зданий и сооружений и выбор мер охраны по сравнению расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными для них деформациями.

Определение условий безопасности подработки зданий и сооружений и выбор мер их охраны основываются на сравнении расчетных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными деформациями (показателями суммарных деформаций) для охраняемых объектов.

Допустимыми деформациями земной поверхности (оснований сооружений) принято считать деформации, могущие вызвать такие повреждения в сооружениях, при которых для их дальнейшей эксплуатации по прямому назначению достаточно проведения текущих наладочных и ремонтных работ.

Предельными деформациями земной поверхности (оснований сооружений) принято считать такие деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей. Условия безопасной подработки объектов одиночным пластом определяются безопасной «глубиной разработки, устанавливаемой по допустимым деформациям.

Безопасной глубиной разработки H_6 называется такая глубина, при которой и ниже горизонта которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций более допустимых. Ниже горизонта безопасной глубины горные работы могут производиться без применения специальных мер охраны сооружений.

Безопасная глубина разработки H_6 определяется умножением коэффициента безопасности K_6 на среднюю вынимаемую мощность m рудного тела (измеряется по нормали) в пределах обрабатываемого этажа

$$H_6 = K_6 \cdot m. \quad (5.10)$$

В большинстве Правил охраны сооружений для рудных месторождений понятие о безопасной глубине разработки не нашло отражения по той причине, что эти Правила составлены преимущественно для мощных месторождений. Говорить о безопасной глубине разработки в таких условиях при современной глубине разработки не имело смысла.

Во Временных правилах при крепости пород $f > 5$ рекомендовано пользоваться следующими коэффициентами безопасности: для I категории $K_6 = 150$, для II категории $K_6 = 100$ и для III категории $K_6 = 50$.

Безопасная глубина откладывается от охраняемого объекта вниз по вертикали. Выемка пласта ниже горизонта безопасной глубины может производиться без специальных мер охраны сооружений на поверхности.

Предельной глубиной разработки $-H_6$ называется такая глубина, выше горизонта которой горные работы могут вызвать появление предельных (опасных) деформаций в зданиях и сооружениях.

5.5.2. Меры охраны сооружений

Меры охраны объектов устанавливаются в зависимости от категории этих сооружений, их конструктивных особенностей, состава толщи пород и их структуры, принятой системы разработки и ее параметров, характера процесса сдвижения пород, допустимых деформации для подрабатываемых объектов.

Меры охраны сооружений от вредного влияния подземных разработок делятся на горные меры охраны, конструктивные (строительные) меры охраны и охрану сооружений путем оставления под ним целиков.

- горные, предотвращение или уменьшение деформации толщи пород и земной поверхности;
- строительные, уменьшающие вредное влияние деформации земной поверхности;
- засыпка провалов, воронок, трещин вблизи охраняемых объектов ремонтные работы, выполняемые для приведения подрабатываемого объекта в состояние, удовлетворяющее требованиям его нормальной эксплуатации;
- составление предохранительных целиков, если другие меры охраны не могут гарантировать нормальную эксплуатацию охраняемых объектов;
- проведение специальных наблюдений за развитием процесса сдвижения и состоянием подрабатываемых объектов.

Горные меры охраны предусматривают применение систем разработки с закладкой выработанного пространства (закладка экономически нецелесообразна для рудника «молодежный», определенного по мощности или по площади (месторождение Чулактау характеризуется наличием многочисленных безрудных участков, равносильных частично оставляемым предохранительным целикам), обеспечивающих устойчивое состояние налегающих пород или плавное сдвижение без разрыва сплошности и возникновения опасности деформаций.

Горные меры охраны зданий и сооружений следует применять только в тех случаях, когда применение строительных мер охраны невозможно или недостаточно для сохранности и эксплуатации зданий и сооружений.

Сооружения **I** категории охраны подлежат охране оставлением предохранительных целиков до безопасной глубины $H_6 = 750 - 800 \text{ м}$. В зоне сдвижений таких объектов нет. Сооружения, отнесенные ко **II** категории охраны, подлежат охране оставлением междукammerных целиков (в нашем случае безрудные участки) до глубины 15m (где m - вынимаемая мощность

Строительные меры, а также ремонтно-восстановительные работы позволяют постоянно или продолжить срок эксплуатации сооружений при деформациях основания, превышающих допустимые значения для данных сооружений. К ним относятся: разделение зданий на отсеки

деформационными швами, усиление несущих конструкций остальными тяжками, растяжками, железобетонными поясами, установка связей - распорок, подпорных стенок, выпрямление корна и подъем осевых частей зданий и сооружений путем поддомкрачивания, подсыпка и рихтовка железнодорожных путей, разгонка стыков рельс, перепуск провалов ЛЭП и др.

Охрана объектов путем оставлений предохранительного целика полезных ископаемого допускается в исключительных случаях и, как правило, только для существующих объектов, когда по горно-геологическим и технико-экономическим условиям осуществления других мер охраны является невозможным или экономически нецелесообразным с точки зрения государственных интересов.

Для выбора способа охраны объекта при ведении горных работ выше горизонта безопасной глубины или при ожидаемых (расчетных) деформациях, более допустимых, определяются величина предельных показателей суммарных деформаций и предельные деформации для гражданских зданий и величины предельных деформаций для промышленных зданий и инженерных сооружений, а также определяется предельная глубина разработки Н.

Если расчетные деформации окажутся больше предельных, то для выемки запасов обязательно применение горных мер охраны. Если одних горных мер охраны окажется недостаточно, то должны быть выбраны дополнительные конструктивные меры охраны.

5.4.3. Методы построения предохранительных целиков

Для построения предохранительного целика, на плане вокруг охраняемого объекта откладывают берму шириной табл.5.4 и получают на плане контур охраняемой площади АВСД (рис.5.10). Через центр охраняемой площади строят два вертикальных разреза (вкрест простирания и по простиранию рудного тела).

Таблица 5.4. Размеры предохранительных берм и коэффициенты безопасности

Категория охраны	Ширина бермы, м	Коэффициент безопасности - K_6
I	20	150
II	15	100
III	10	50

Построение целиков начинают с определения на плане контура охраняемой площади. Для большей гарантии охраны объекта площадь описанного прямоугольника $aedc$ увеличивают путем оставления по всему периметру предохранительной бермы и получают контур охраняемой площади $AEDC$, под которой строят предохранительный целик.

К охраняемым объектам *I категории* относятся общественные, особо значимые здания; мосты неразрывной конструкции с пролетами более 20 м; участки железных дорог и др.

К *II категории* относятся: детские дошкольные учреждения, больницы, поликлиники, театры; мосты разрезной конструкции с пролетами более 20 м; железобетонные депо МПС и участки железных дорог общего пользования.

К *III категории* относятся: жилые здания и гостиницы; подъездные пути железных дорог; мосты с пролетами менее 20 м и др.

К *IV категории* относятся учреждения общественного обслуживания и вспомогательные здания.

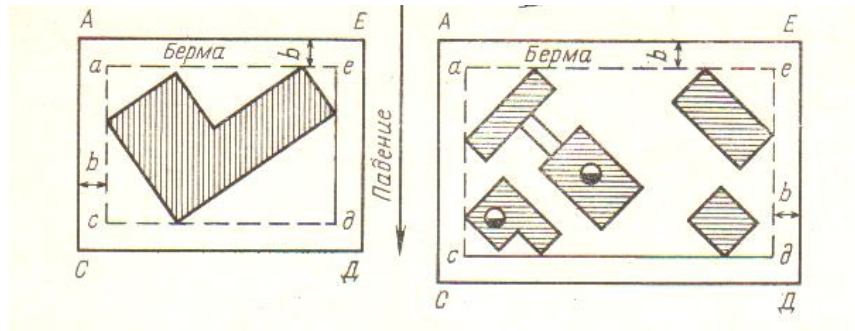


Рис.5.10. Построение контура охраняемых объектов

Построение предохранительного целика под компактным сооружением, например зданием, осуществляют следующим образом (рис. 5.11). На нижнюю часть листа чертежной бумаги наносят выкопировку из плана контура АЕДС охраняемой площади, линии координатной сетки и направление падения пласта.

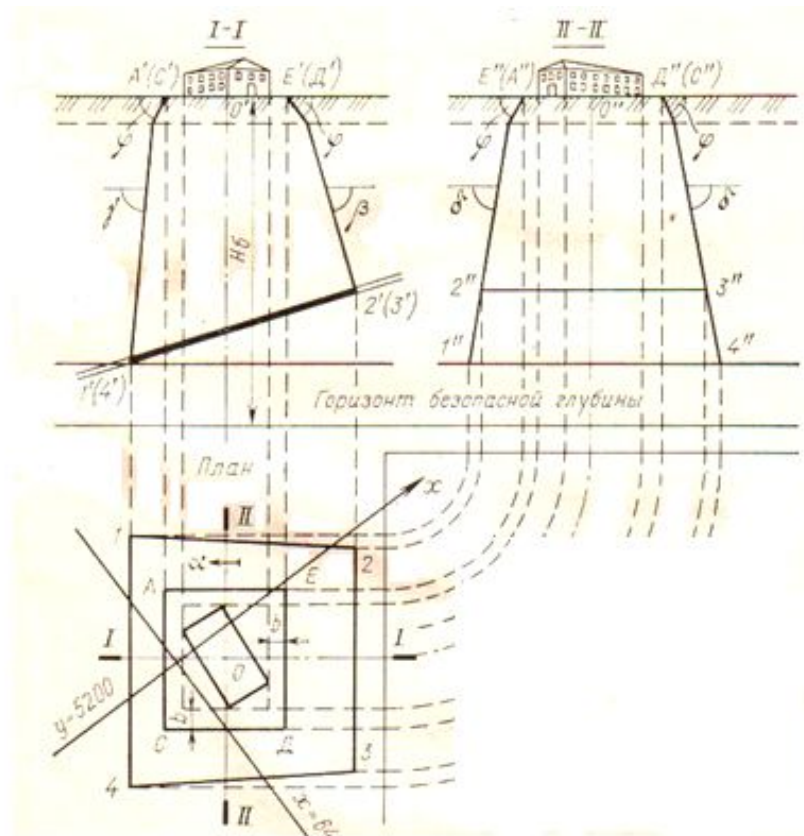


Рис.5.11. Пример построения предохранительного целика под здание

Сверху строят вертикальные геологические разрезы I — I (вкрест простирания) и II — II (по простиранию), проходящие через центр O охраняемой площади. От точек O' и O'' этих разрезов откладывают размеры охраняемой площади и получают точки $A'(C')$, $E'(D')$, $E''(A'')$, $D''(C'')$. Кроме того, от поверхности земли вниз по вертикали откладывают вычисленное по формуле (151) или (152) значение H_6 и получают горизонт безопасной глубины.

Для построения контура целика сначала на разрезе I-I из точек $A'(C')$ и $E'(D')$ проводят линии под углом α к горизонту в пределах наносов и, далее, в пределах коренных пород — до встречи с залежью соответственно под углами сдвига α и β и получают точки $1'(4')$, $2'(3')$ на нижней и верхней границах целика.

Аналогичным образом на разрезе II-II из точек $E''(A'')$ и $D''(C'')$ в пределах наносов проводят линии под углом ϕ к горизонту и, далее, по коренным породам — под углом сдвига β .

Проецируя верхнюю и нижнюю границы целика с разреза I-I на разрез II-II, получают размеры целика $2''-3''$ и $1''-4''$ по простиранию пласта соответственно в верхней и нижней его границах. Затем известным из начертательной геометрии способом строят контур 1, 2, 3, 4 целика в плане. Охране подлежит часть целика, расположенная выше горизонта безопасной глубины.

Контрольные вопросы :

1. Что такое процесс сдвижения?
2. Какие последствия процесса сдвигения?
3. Сдвигение горных пород и сдвигение земной поверхности.
4. Что такое мульда сдвижения и ее параметры?
5. Какие факторы влияют на процесс сдвижения?
6. Чем отличаются граничные углы, углы сдвижения и углы разрыва?
7. Как определяются граница опасной зоны?
8. Методы изучения процесса сдвижения.
9. Геомеханический мониторинг за состоянием массива горных пород.
10. Наблюдательная станция
11. Как определяются длины профильных линий?
12. Опорные и рабочие репера станции и их конструкции
13. Приборы, применяемые при геомеханическом мониторинге?
14. Математическая и графическая обработка результатов наблюдений.
15. Расчет ожидаемых сдвижений и деформации.
16. Меры охраны зданий и сооружений.

6. ГЕОМЕХАНИКА КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

6.1. Общие сведения о комбинированном способе разработки месторождений

В отечественной и зарубежной практике разработки месторождений полезных ископаемых все большее применение находит комбинированная разработка, предусматривающая ведение на одном месторождении открытых и подземных горных работ. При этом обеспечивается более полное извлечение запасов минерального сырья и улучшение технико-экономических показателей его. Ученые в области горного дела в 60-х годах прошлого века разделили месторождения, разрабатываемые комбинированным способом, на 3 группы:

- вначале отрабатываются открытым, а затем подземным способом (Бакальское, Дегтярское- РФ, Чулактау, Акбакай -РК);
- вначале отрабатываются подземным, а затем открытым способом (Шелеинское, Блявинское, Угольный ручей - Норильск-1, Юнайтед Верде - США и др.);
- разрабатываются одновременно открытым и подземным способами (Высокогорское, Алтын-Топканское, Медвежий ручей - Норильск-1, Эрцберг - Австрия и др.).

Анализ практики применения комбинированной технологии по 110 зарубежным рудникам показал, что наибольшее число рудников, осуществляющих комбинированную отработку запасов приходится: на предприятия по разработке руд цветных металлов и алмазов - 60 %; около 16 % предприятия ведут добычу железных руд; более 10 % рудников разрабатывают месторождения нерудного сырья (известняк, строительный камень, асбест, магнезит); 7,4 % предприятий добывают урановые руды.

При этом 60-65 % рудников осуществляют добычу подкарьерных запасов, находящихся ниже отметки дна карьера, и 15-18 % предприятий разрабатывают прибортовые запасы. Около 25 % рудников осуществляют добычу удаленных от карьера отдельно залегающих залежей, или участков месторождения по независимым от карьера технологическим схемам.

Наибольшее распространение получила последовательная открыто-подземная выемка запасов. Свидетельством этого является разработка золоторудных месторождений Казахстана (Майкаин, Акбакай и Васильковское). Васильковское месторождение разрабатывается компанией «Altuntau-Kokshetau», где глубина карьера в настоящее время достигла до 80 м и параллельно проектируется его добыча подземным способом.

Современная горная наука определяет комбинированную технологию как освоение запасов месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки, классифицирует способы разработки следующим образом:

По характеру совмещения способов: последовательная параллельная и последовательная-параллельная разработка.

По последовательности осуществления: открыто-подземный, открытый физико-химический, подземный физико-химический.

По совмещению работ в пространстве: совмещение в вертикальной плоскости, совмещение в горизонтальной плоскости, совмещение в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

По направлению движения фронта горных работ: встречное движение, расходящееся движение, догоняющее движение.

По состоянию массива горных пород: устойчивое состояние, обрушение и частичное обрушение.

В соответствии с Инструкцией по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых, горные работы должны осуществляться по специальному проекту, который наряду с общепринятыми техническими решениями должен содержать:

- анализ особенностей горно-геологических, гидрогеологических и технологических условий комбинированной разработки месторождения;
- обоснование производственной (технической) возможности и технико-экономической целесообразности комбинированной разработки месторождения;
- параметры карьерного и шахтного полей с запасами руды, намечаемые к отработке открытым и подземным способами;
- границы зон влияния подземных разработок (опасных сдвижений, обрушения, воронкообразования);
- мероприятия по безопасному ведению горных работ, функции и ответственность инженерно-технических служб рудника.

При проектировании, строительстве и эксплуатации горно-добывающих предприятий с комбинированной (совмещенной) разработкой месторождений должны учитываться следующие основные факторы, представляющие опасность при ведении горных работ:

- изменение механических свойств массива горных пород при эксплуатации месторождения; процессы сдвижения и деформации горных пород в зоне влияния подземной разработки с образованием зон сдвижения земной поверхности, трещин, воронок и провалов;
- склонность массива горных пород к горным ударам;
- нарушенность массива горных пород подземными выработками и наличие пустот отработанных камер и блоков в контуре карьера;
- неблагоприятное воздействие массовых взрывов в карьере и подземном руднике сейсмическое воздействие на перераспределение напряжений в массиве горных пород, возможности загазованности горных выработок ядовитыми продуктами массовых взрывов и т.д.);
- наличие аэродинамических связей между открытыми и подземными горными работами при комбинированной разработке месторождений;
- возникновение пожаров при совмещенной разработке месторождений, склонность к самовозгоранию;
- внезапные прорывы воды в горные выработки карьеров и шахт.

6.2. Опыт изучения геомеханических процессов при комбинированном способе разработки месторождений

Комбинированная разработка месторождений приводит [36] к формированию сложной геомеханической системы, характерной особенностью которой является многократное воздействие нагрузок на одни и те же участки массива горных пород при одновременном или последовательном ведении открытых и подземных работ.

Геомеханические процессы при комбинированном способе разработки определяются совокупностью природных условий и технологических факторов, приведенных на таб.6.1.

Эта классификация была составлена на основе результатов почти пятидесятилетнего опыта изучения особенностей геомеханических процессов при комбинированной разработке месторождений, находящихся в различных горно-геологических условиях.

Таблица 6.1 Геомеханические процессы при комбинированном способе разработки месторождений

Условия и факторы	Виды	Характеристика
Условия	Строение, состав и свойства горных пород, элементы их залегания. Тектоника района.. Обводненность и газоносность массива. Склонность массива пород к геодинамическим и газодинамическим явлениям. Рельеф местности. Расположение и состояние природных объектов. Наличие и местоположение старых горных работ. Характер и степень застроенности территории.	Условия, заданные природой или предшествующей деятельностью человека, изменить которые не представляется возможным.
Технологические факторы	Система разработки: сплошные, столбовые, камерные, комбинированные Размеры целиков и очистных выработок. Скорость продвижения очистных забоев. Способ управления горным давлением: обрушение кровлели, закладка выработанного пространства, плвное опускание кровли. Порядок ведения горных работ: восходящий, нисходящий, комбинированный. Взаимное положение выработок относительно друг друга и охраняемых объектов: разнесение граиц выработок, совмещение граиц выработок, сохранение плоского дна в мульде сдвижения	Факторы, определенные проектом горного предприятия и действующие в период эксплуатации месторождения

С.Г. Авершиным была сделана попытка рассчитать положение поверхности скольжения в подработанном откосе, где полагаются известными угол внутреннего трения и сцепление пород. Исходя из того, что наиболее опасная поверхность скольжения пройдет через точку, расположенную на пересечении поверхности откоса и линии наибольших прогибов, автор описывает построение этой поверхности скольжения и производит подсчет сдвигающих и удерживающих сил по общепринятой методике.

Значение коэффициента запаса устойчивости от 1,5 до 2, по мнению С.Г. Авершина, «по-видимому, является показателем достаточной устойчивости откоса, имея в виду, что к этому добавляются еще и силы сцепления».

Н.Н. Куваев отмечает, что все залежи Кривбасса по характеру

деформации поверхности при их отработке и влиянию на устойчивость бортов карьеров можно разделить на три типа, разработка которых:

- не вызывает деформации бортов карьера вблизи или в пределах его контура, а следовательно, не оказывает влияния на их устойчивость;
- может вызвать образование в уступах и бортах воронок и провалов под крутыми углами обрушения, и тем самым намного усложнить ведение горных работ. Разработка залежей второго типа не оказывает влияния на общую устойчивость бортов карьеров;
- вызывает значительные по площади обрушения земной поверхности в районе карьерного поля, что существенно ухудшает условия устойчивости откосов.

Н.Н. Куваев приходит к выводу, что обрушение пород под влиянием подземных разработок ведет к нарушению сплошности массива и резкому уменьшению (потере) сцепления по поверхности ослабления, в результате чего углы наклона бортов на этих участках становятся более пологими.

В.Г. Сапожников, В.И. Пушкарёв и др., изучали зависимость величины сцепления пород в массиве от кратности подработки на Коркинском бурогольном месторождении. Отмечено, что при кратности подработки 2-10, 10-18, 18-25 и 25 величина сцепления уменьшается соответственно в 5, 3, 2 и 1,5 раза.

Снижение прочности массива горных пород происходит в результате ослабления связей между блоками пород, составляющих массив. Коэффициент структурного ослабления- λ (по Г.Л. Фисенко) изменяется от 0,056 до 0,121 для аргиллитов, и от 0,068 до 0,148 для алевролитов. Наименьшее значение коэффициента структурного ослабления, равное 0,12, характеризует массив, удаленный от контура выработанного пространства на 15-25 м, а наибольшее (равное 0,20-0,25) отмечено в 40-50 м от выработанного пространства.

Г.И. Черный доказал наличие взаимосвязи между напряженным состоянием массива горных пород в зоне, примыкающей к карьере и подземным выработкам, и конфигурацией фронтов горных работ на обоих объектах.

М.Б.Нурпеисовой, в работах [36,37], приведены данные маркшейдерских наблюдений бортов карьеров Каратауского рудоуправления, проведенных в 1967-86 гг. К моменту первой съемки карьер был уже отработан и под ним начались подземные работы, которые продолжаются до сих пор. Как указывает автор, сдвигание скально-трещиноватых массивов и земной поверхности при открыто-подземной разработке месторождений происходит в виде отделения от массива блоков пород в момент массовых взрывов и последующего их обрушения в сторону выработанного пространства с образованием провалов (воронок) на дне карьера.

Как указывает автор, выполаживание бортов карьеров месторождений бассейна Карату, происходило в результате сдвига горных пород под влиянием подземных разработок, а также под воздействием выветривания.

Интересен опыт комбинированной отработки месторождений Норильск-1, где проведен геомеханический мониторинг М.А.Иофисом и И.А.Мальцевой (РФ). На подземных рудниках применяется система принудительного блокового обрушения. Маркшейдерские инструментальные наблюдения за характером сдвига велись на карьерах и подземных рудниках в течение длительного времени, что позволило установить ряд закономерности процесса:

- максимальное оседание земной поверхности составляет 7-12 м, т.е. от $1/3$ до $1/2$ выемочной мощности;
- образование трещин на земной поверхности происходит постепенно, ширина их достигает 1-2 м;
- первоначальное самообрушение пород кровли на высоту до 30-35 м

происходит крупными блоками (размерами от 10 м и выше), затем обрушение распространяется на высоту до 100 м. При этом коэффициент разрыхления пород составляет 1,05-1,10;

- структура массива на участках карьеров, расположенных в зоне сдвижения, отличается от структуры пород вне зоны сдвижения лишь несколько повышенной интенсивностью трещиноватости.

На основе проведенных наблюдений после окончания процесса сдвижения в массиве горных пород, исходя из условий его последующей устойчивости, можно выделить две зоны (снизу вверх):

1) сплошного разрушения массива до 110м, включающую выработанное пространство высотой 19-20 м, заполненное обрушившейся породой (б.1-сурет);

2) плавного прогиба с несколько повышенной интенсивностью трещиноватости горных пород высотой 80-90 м.

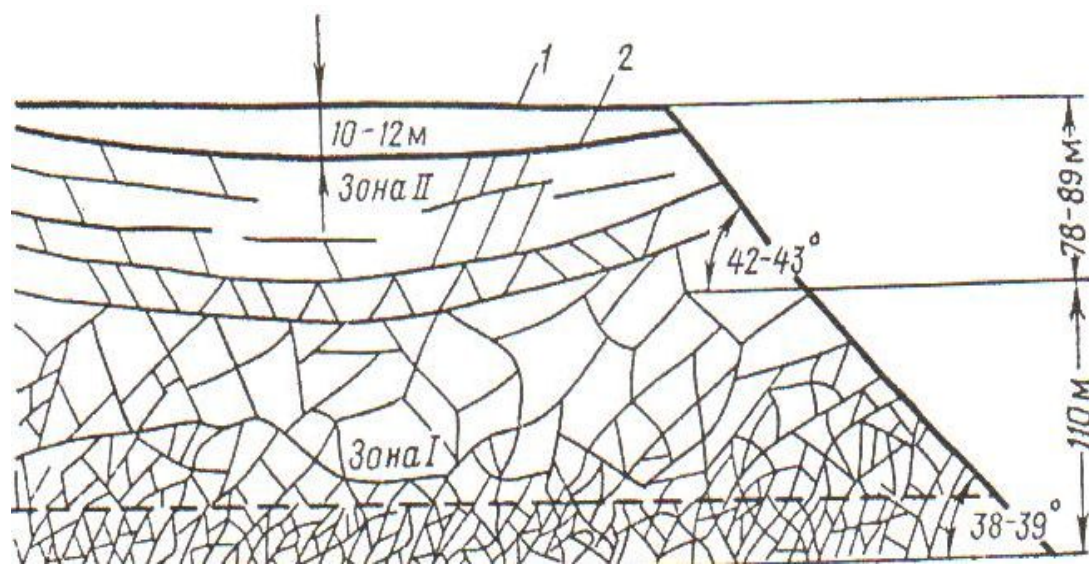


Рис.6.1. Массив горных пород над выработанным пространством после окончания процесса сдвижения:

1- положение земной поверхности до начала процесса сдвижения; 2- то же после окончания процесса сдвижения.

Следует указать, что резкой границы между этими зонами не существует. Породы с нижней части зоны плавного прогиба расслаиваются и прилегают к породам нижней зоны без образования значительных пустот. Для расчета устойчивости бортов карьеров на этих участках можно принять, что прочностные показатели пород верхней зоны близки к аналогичным показателям пород нижней зоны сдвижения.

Погрешность определения высоты этой зоны и снижение прочности за счет более интенсивной трещиноватости должны быть компенсированы повышенным коэффициентом запаса устойчивости.

Устойчивость пород нижней зоны будет в большей степени определяться углом внутреннего трения пород в массиве и в меньшей степени - сцеплением. Следовательно, устойчивый контур борта карьера при комбинированной системе разработки будет иметь вогнутую форму: полую в нижней части и более крутую - в верхней.

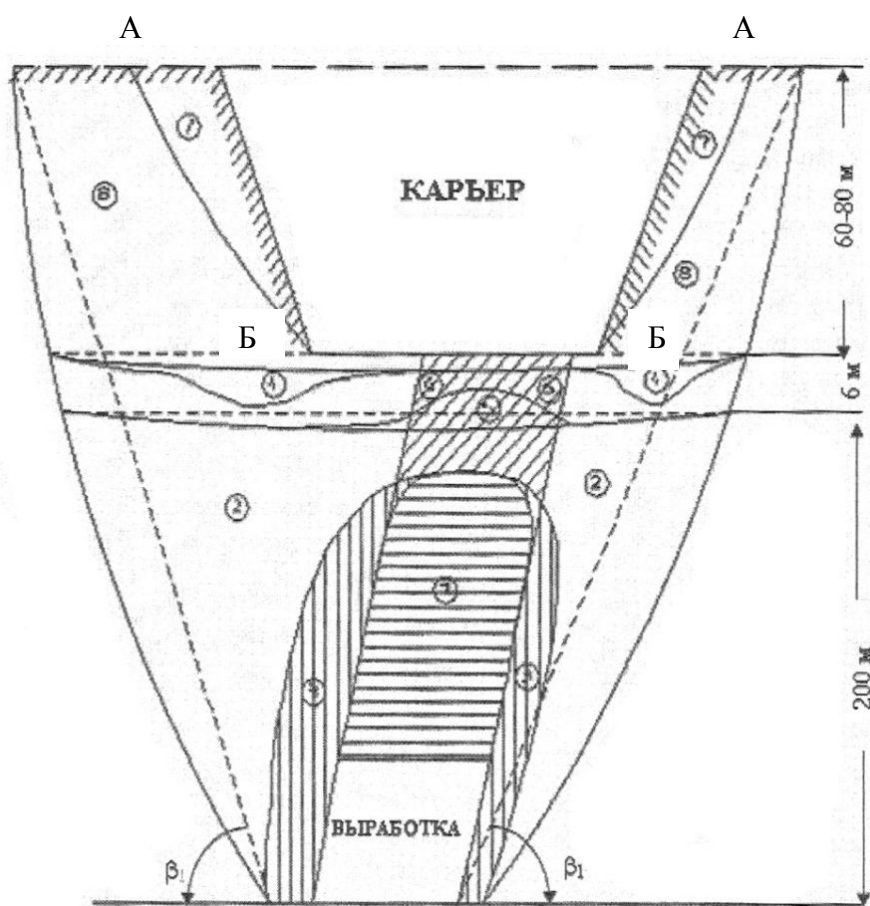
Уникальную геомеханическую проблему при комбинированной разработке алмазосодержащих месторождений Якутии решил М.А.Иофис. Такая же задача была решена и в Казахстане при отработке золоторудного месторождения Акбакай, результаты которых будут изложены в следующем параграфе.

6.3 . Область и зоны сдвижения горных пород при комбинированном способе разработки месторождений

Месторождение Акбакай относится к крутопадающему золоторудному жильному типу рудного тела, широтного простирания, мощностью 0,2-4,0 м. Протяженность рудных тел по простиранию находится в пределах 100-680 м. На месторождении в пределах Главной рудной зоны выделено 5 крутопадающих жил: Главная, Тукуновская, Октябрьская, Фроловская, Золотая. Вмещающими породами являются гранодиориты с коэффициентом крепости $f=14-16$, березиты ($f=11-14$), кварциты ($f=16-18$).

Характерной особенностью месторождения Акбакай является отработка его жил в первую очередь открытым, с последующим переходом на подземные способы. С целью определения характера и параметров сдвижения горных пород на руднике в 1991 году была заложена наблюдательная станция, состоящая из пяти профильных линий, охватывающих все рудные жилы и проведен геомеханический мониторинг, результаты которых изложены в работах [20,39,40].

В результате проведенных исследований (1992-2008 гг) на руднике Акбакай установлено, что по характеру и степени техногенного преобразования золоторудных месторождений в деформирующемся массиве горных пород можно выделить две области (*область разгрузки* и *область повышенного горного давления*) и 8 зон, отличающихся характерными, свойственными только для этих зон особенностями (рис. 6.2).



Зоны: 1- обрушения; 2- плавного прогиба; 3 – предельного напряженного состояния; 4, 5, 6 - растяжения и сжатия в подкарьерном слое; 7- оползневая призма; 8 - прибортовой массив; А-Б – линия, разделяющая 7 и 8 зоны –поверхность скольжения.

Рисунок 6.2. Схема зон сдвижения при комбинированной открыто-подземной отработке месторождения Акбакай.

Область разгрузки характеризуется пониженными по сравнению с нетронутым массивом нормальными напряжениями. Она располагается над- и под- выработанным пространством (на рисунке область разгрузки

заштрихована горизонтальными линиями) и имеет в сечении форму полуэллипса, общая ось которых равна ширине добычной выработки. Величины полуосей, характеризующих полуэллипсы в подработанной и надработанной частях массива, определяются размерами добычной выработки, вынимаемой мощностью слоя, глубиной разработки и способом управления горным давлением, а также литологическим строением и механическими свойствами горных пород.

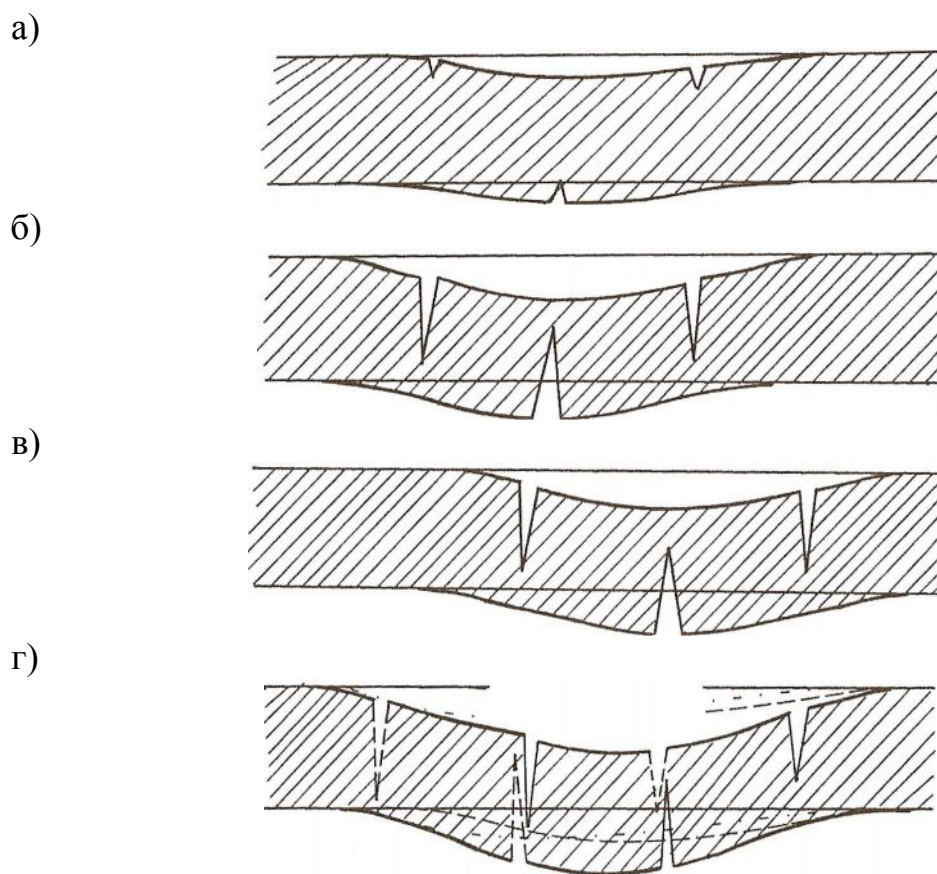
Область разгрузки разделена на зоны, характеризующиеся различной степенью нарушенности массива: *обрушения, сквозных трещин*.

Область повышенного горного давления (ПГД) граничит с областью разгрузки и располагается над- и под оставленным в нем целиком (на рисунке область ПГД заштрихована вертикальными линиями). В этой области нормальные напряжения больше, чем в нетронутым массиве.

В слое, прилегающем к дну карьера, в результате изгиба образуются зоны растяжения и сжатия. Зона 4 характеризуется растяжением верхних волокон изгибающегося слоя и постепенным затуханием растяжений от верхних волокон к нижним, а зона 5, наоборот, – максимальным растяжением нижних волокон этого слоя и постепенным затуханием растяжений от нижних волокон к верхним. 4-зона называется зоной локальных трещи, а 5-зона характеризуется прогибом пород без разрыва их сплошности. Она носит название зоны плавного прогиба.

В зоне 6 происходит сжатие слоя, которое, как и в зонах растяжения, уменьшается от поверхности слоя в глубь его. Рассматриваемый подкарьерный слой, называемый иногда «рудной коркой», деформируется в основном подобно плите, защемленной по концам.

В зоне, расположенной непосредственно над добычной выработкой и дном карьера, породы деформируются в виде прогиба слоев с разрывом и без разрыва их сплошности. Механизм формирования и развития трещин в массиве представлен на рис.6.3.



6.3-сурет. карьер астындағы қабатты кеулеу кезінде жарықшақтың қалыптасу схемасы:

а- иілген қабатта жарықшақтардың пайда болуы; б – осы қабатта жарықшақтардың дамуы; в) тау-кен жұмыстары дамыған кезде жаңа жарықшақтардың пайда болуы; г) белгілері әртүрлі деформацияларда қабаттың бұзылуы.

В результате прогиба слоя в нем появляются растягивающие напряжения. По мере увеличения пролета растет прогиб слоя и одновременно происходит перемещение точек с максимальной кривизной и растягивающими напряжениями. При определенной величине пролета растягивающие напряжения достигают предела прочности пород на разрыв и на верхней и нижней поверхностях слоя начинают появляться поперечные трещины (рис.6.3,а).

Дальнейшее увеличение пролета ведет к соответствующему росту растягивающих напряжений и развитию трещин. Так происходит до тех пор, пока кривизна слоя, раскрытие и глубина трещины не достигнут своих максимальных значений (рис.6.3,б).

После этого на верхней поверхности слоя начинает меняться знак деформаций, т.е. положительная кривизна (выпуклость) и растягивающие напряжения меняются на отрицательную кривизну (вогнутость) и сжимающие напряжения. Если глубина каждой из слагаемых трещин будет больше половины толщины слоя, то суммарная глубина трещины будет равна толщине слоя, т.е. последний будет рассечен полностью на всю его толщину (рис.6.3,г).

Породы, прилегающие к бортам карьера в зонах 7 и 8, под влиянием подземной горной выработки изгибаются подобно консольным плитам, при этом зона 7 представляет собой *оползневую призму*, поскольку на нее оказывают влияние как подземные, так и открытые горные работы. Линия А-Б, разделяющая 7 и 8 зоны, называется *поверхностью скольжения*.

В зависимости от условий разработки, способов управления кровлей и других влияющих факторов число и местоположение зон могут отличаться от приведенной выше схемы (рис.6.2). Потому что, на характер геомеханических процессов в подработанном массиве горных пород при комбинированной разработке месторождения оказывают влияния такие факторы и условия, как размеры камер и целиков, их ориентация относительно подрабатываемых бортов, порядок отработки приконтурных запасов, пространственные параметры карьеров и подземных выработок, природное поле напряжений, изменение состояния подработанного массива (осущение, обводненность, изменение температуры), применяемые системы разработки на подземном руднике и структурные особенности массива горных пород.

Кроме того, при закладке выработанного пространства, при управлении кровлей способом плавного опускания, при малой вынимаемой мощности пласта или пластичных вмещающих породах зона обрушений, как правило, отсутствует, и непосредственно над выработанным пространством располагаются зоны трещин, а иногда и они могут отсутствовать. И наоборот, когда над пластичными слоями залегают хрупкие породы, зоны трещин могут получать развитие и над зоной плавного прогиба.

6.4. технологические методы управления геомеханическими процессами при комбинированной разработке месторождений

Установленные в последние годы закономерности развития геомеханических процессов в массиве горных пород при комбинированной отработке позволили создать научные основы управления этими процессами.

Под технологическими методами управления геомеханическими процессами понимают совокупность научно обоснованных приемов или операций, позволяющих в процессе освоения ресурсов недр целенаправленно изменять состав, строение, свойства и состояние массива горных пород и обеспечить развитие процессов его деформирования, разрушения и фильтрации подземных вод в заданных направлениях, объемах и в установленных пределах.

Классификация технологических методов управления геомеханическими процессами при комбинированной разработке месторождений приведена в табл.6.2.

Таблица 6.2. Классификация технологических методов управления геомеханическими процессами при комбинированной разработке

Класс	Группа	Способы управления	Область применения
1.Мтод изменения величин деформаций	а) уменьшение всех видов деформаций массива горных пород, земной поверхности и конструктивных элементов б) уменьшение деформаций бортов карьера	Применение закладки выработанного пространства и полостей над выработанным пространством; уменьшение вынимаемой мощности; применение восходящей слоевой отработки; частичная выемка по площади. Применение мероприятий, направленных на укрепление борта карьера, придание волнообразной формы потенциальным поверхностям скольжения	
2. Методы изменения знака, направления и интенсивности деформаций	а) изменение знака горизонтальных деформаций а) изменение знака вертикальных деформаций а) изменение деформации по площади а) изменение скоростей развития деформаций	Применение камерно-целиковой разработки, рациональный порядок отработки камер и их закладка Отработка слоя расходящимися забоями, смежными забоями с заданным опережением. Изменение направления очистной выемки, смещение границ горных работ и глубины разработки. Увеличение или уменьшение скорости подвигания очитных забоев	
3. Методы изменения характера деформац.	а) перераспределение деформаций на земной поверхности и прибортовом массиве б) перераспределение деформаций подкарьерном массиве	Применение метода гармоничной отработки, создание компенсационныхтраншей и разгрузочных щелей в борту карьера. Применение метода гармоничной отработки,	
4. Методы, регулирующие свойства пород	а) умньшение трещиноватости; б) снижение обводненности и газоносности в) увеличение прочности	а) нагнетание цементно-глинистых растворов, жидкого стекла, силикатизация, смолизация и т.д. образование дренажных траншей, бурение скважин, откачка уплотнение, укрепление с помощью металлической сетки, железобетонной свай, создание подпорных стенок и т.д.	Применяются, когда технологические параметры разработки не соответствуют геомеханическому состоянию массива
5. Методы комплексного изменения деформац. процессов	Различное счтание перечисленных групп	Комбинированное применение различных способов управления геомеханическим состоянием массива в разных сочетаниях.	Применяются при сложных, изменяющихся с глубиной геологических и геомеханических условиях отработки полезного ископаемого

Весьма актуальной проблемой при разработке месторождений комбинированным способом является проблема охраны сооружений, расположенных вблизи подрабатываемых бортов карьеров. Поэтому для решения вопросов охраны сооружений и выемки руды из предохранительных целиков, а также для получения достоверной информации о процессе сдвижения на руднике «Молодежный» были заложены специальные наблюдательные станции и проведены наблюдения.

Госгорхимпроектом в 1964 году для рудника «Молодежный» были заложены углы сдвижения $\beta = 45^\circ$ и $\beta_1 = 60^\circ$. В соответствии с этим, начиная с отработки 3-горизонта весь комплекс промышленных зданий и сооружений рудника и обогатительная фабрика, находящиеся со стороны висячего бока на расстоянии 250-300 м от кромки южного борта карьера, протяженностью 1400 м, должен был попасть в зону опасного сдвижения и охраняться. Наиболее распространенной мерой охраны зданий и сооружений является оставление предохранительного целика, т.е. согласно проекту со стороны висячего бока $\beta = 45^\circ$ при обработке 3. 4 и 5 - горизонтов для охраны промплощадки предусматривалась консервация около 7 млн.т. руды в целиках.

Для охраны вышеуказанных сооружений и принятия соответствующих мер в 1985 г. были заложены также специальные наблюдательные станции: «Подземные наблюдательные станции», «Восстающий», «ДСУ», «Столовая», «Химлаборатория» на руднике «Молодежный», а также «Квершлагги от группы стволов» и «Обогатительная фабрика» на руднике «Аксай».

Результаты наблюдений обработаны, обобщены и приняты необходимые меры, которые внедрены в производство.

Управление процессом сдвижения породного массива при ведении подземных разработок под карьерами в скальных породах производится с целью снижения его вредного влияния и исключения опасности внезапных обрушений. При неполной подработке рудных тел по простиранию (наличие безрудных участков, изменение мощности) процесс сдвижения имеет тенденцию к локализации в пределах обрушенных пород, заполняющих выработанное пространство вышележащих этажей (составляющих «породный клин сдвижения»), и в этом случае углы сдвижения пород становятся круче.

Следовательно, для создания таких «породных клиньев» необходимы отвалы пустых пород, находящихся на висячем боку (на южном борту карьера и создавшие добавочные нагрузки на подземные выработки) использовать для засыпки в существующие пустоты. Это приведет к заполнению отработанных камер, созданию подпора на стенки карьера и устранению опасности обрушения.

Установлена возможность направленного изменения протекания процесса сдвижения с целью:

- снижения опасности внезапных обрушений путем засыпки провалов и карьеров отвалами пустых пород, что приводит к заполнению отработанных камер и созданию подпорки на стенки карьера;

- во избежание потери в подработках и снижения разубоживания, улучшения условия и безопасности труда рабочих путем оставления временных мощных потолочин и интенсивного ведения работ в блоках;

- уменьшения деформаций и повышения устойчивости налегающей толщи пород путем создания нескольких искусственных породных мостов (клиньев сдвижения) через вытянутые карьеры бассейна и систематического маркшейдерского наблюдения за их состоянием.

Внедрение данных мер охраны в процессе эксплуатации, и проектирование нижних горизонтов рудников позволило не только повысить надежность охраны объектов от подработки, но и расконсервировать часть запасов руд из целиков.

С одной стороны данные мероприятия обеспечивают безопасность ведения горных работ, а с другой стороны - это рекультивация нарушенных земель.

На основании обобщения результатов наблюдений за сдвижением горных пород и земной поверхности разработаны: "Временные указания по охране зданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок месторождения Чулактау»[37] «Указания по по охране зданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок месторождения Аксай» [38] ; «Указания по охране зданий и окружающей среды от вредного влияния горных разработок месторождения Акбакай» [39] и внедрены в производство.

у

Список литературы

1. Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика . – М.: МГГУ, 2008.- 438 с.
2. Руппенейт КВ., Либерман Ю.М Введение в механику горных пород. - М.: Госгортехиздат, 1960-175 с.
3. Heim A. Mechanismus der Gebirgsbildung, Bale, 1878.
4. Динник А.Н. О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты.- Инженерный работник, 1925, №7. - С.1-12.
5. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. - Изд. АН СССР, 1942
6. Голушкевич се Статика предельных состояний грунтовых масс. М.: ГИТТЛ, 1957.
7. . Фисенко Г., Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1965.-360 с.
8. Нурпеисова М.Б. Научная школа Машанова
9. Машанов А.Ж. Механика массива горных пород. - Алма-Ата, Наука, 1961 - 207 с.
10. Машанов.А.Ж., Машанов А.А. Основы геомеханики скально-трещиноватых пород. - Алма-Ата, наука, 1985. - 192 с.
11. Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на крьерах.-М.: Недра, 1980.-205 с.
12. Попов И.И., Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов. Алма-Ата, Наука, 1986.- 255 с.
13. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. - Л.: Недра, 1970.
14. Панюков П.Н. Инженерная геология. - М.: Госгортехиздат, 1962.
15. Ржевский В.В. Основы физики горных пород. -М.: Недра: 1990.-225 с.
16. Турчанинов ИА., Иофис МА., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. - Л.: Недра, 1989.
17. Протодьяконов М.М О рациональной классификации горных пород // В кн.: Исследование физико-механических свойств и взрывного разрушения горных пород. - М.: Наука, 1970.
18. Машанов А.Ж., Певзнер М.Е., Бекбасаров Ш.С. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау. - Алма-Ата, Наука, 1981.-120 с.
19. Ильницкая Е.И, Тедер Р.И, Ватолин Е.е, Кунтыш МФ. Свойства горных пород и методы их определения. - М.: Недра, 1965.
20. Нурпеисова М.Б. Геомеханика рудных месторождений Казахстана. - Алматы: КазНТУ, 2012.-324 с.
21. Певзнер М.Е., Нурпеисова М.Б., Кривошейна М.Е. Свойства горных пород Каратауского фосфоритоносного бассейна. М.: Труды ГИГХСа, 1971.-

С. 22-26.

22. Машанов А.Ж., Нурпеисова М.Б. Геомеханика. –Учебник. –Алматы: КазНТУ, 2000.-124 с.

23. Надаи А. Пластичность. –М.,Л.; 1936.-240 с.

24. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород. –Алма-Ата, Наука, 1970.-195 с.

25. Нурпеисова М.Б., Касымканова Х.М. Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов. –Алматы: КазНТУ, 2006.-131 с.

26. Бек А.Ш. Геоинформационное обеспечение устойчивости карьерных откосов

27.Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках. –М.: Углетехиздат, 1974. - 245 с.

28. Борщ-Компаниец В.И. Механика горных пород: массивов и горное давление. -М.: МГИ, 1968. -464с.

29. Милетенко И.В, Милетенко Н.А., Одинцев В.Н. Новый геомеханический подход к прогнозу опасных гидрогеологических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых //ГИАБ, 2011,№ 77-С. 103-108.

30. Певзнер М.Е. Деформация горных пород на карьерах.- М.: Недра, 1992.-186 с.

31. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физические свойства.- М.: Наука, 1978,-201 с.

32. Низаметдинов Ф.К. Маркшейдерский мониторинг прибортовых массивов глубоких карьеров. Состояние и перспективы развития маркшейдерского дела.-Екатеринбург: УГГ, 2011.-С.148-154.

33. Ожигин С.Н. Низаметдинов Р.Ф.,. Определение элементов залегания трещин с помощью 3D сканера //Труды Междун. науч. конф.: «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030» - Караганда: КарГТУ, 2009. – Вып. 2. - С. 87-89.

34. Кузнецов М.А. и др. Сдвигение горных пород на рудных месторождениях. -М.: Недра, 1971.-224 с.

35. Инструкция по наблюдению за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1971. -90 с .

36. Каплунов Д.Р. и др. Комбинированная геотехнология.-М.: Из-во «Руда и металлы», 2003-205 с.

37.«Временные указания по охране зданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок месторождения Чулактау».-Алматы: КазПИИ, 1989.-27 с)

38. Указания по по охране зданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок месторождения Аксай.-Алматы: КазПИИ, 1992.- 30

39.Указания по охране зданий и окружающей среды от вредного влияния горных разработок месторождения Акбакай».Алматы: КазНТУ, 1994.-35 с.

40. Нурпеисова М.Б. Геомеханический мониторинг техногенных систем.- Алматы: КазНТУ, 2013.-205 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.Содержание предмета геомеханики и ее роль в горной промышленности.....	3
2. Связь геомеханики с другими науками.....	5
3.Краткая история о развитии геомеханики.....	7
4. полезные ископаемые Казахстана.....	12
Контрольные вопросы.....	16
1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	17
1.1 Состав и строение горных пород.....	17
1.2 Свойства горных пород.....	16
1.2.1 Классификация свойства горных пород.....	20
1.2.2 Механические свойства горных пород и их классификация...	23
1.3. Определение прочностных свойств горных пород.....	25
1.3.1 Определение прочности пород в лабораторных условиях	25
1.3.2 Определение прочности пород на сдвиг в натурных условиях с помощью гидродомкрата.....	28
1.3.3 Результаты определения прочностных свойств пород.....	28
1.4 Взаимосвязи между свойствами пород и глубиной их залегания.....	32
Контрольные вопросы.....	40
2.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИКИ.....	41
2.1.Понятие о деформационном состоянии горных пород.....	41
2.2 Основные теории прочности, применяемые в геомеханике.....	41
2.3. Условия предельного равновесия горных пород.....	52
2.4Построение паспорта прочности горной породы.....	53
Контрольные вопросы.....	56
3.СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ.....	57
3.1. Структурно-тектонические особенности горных пород.....	57
3.1.1 Тектоническая нарушенность массива.....	57
3.1.2 Структурные особенности массива.....	65
3.2 Методы изучения структурных особенностей породного массива...	69
3.3 Обработки результатов изучения структуры массива.....	75
3.3.1 Выделение активных систем трещин на диаграммах.....	75
3.3.2 Выделение активных систем трещин на компьютере.....	80
3.4 Влияние структурных особенностей массива на процесс сдвижения.....	85
Контрольные вопросы.....	89

4.ГЕОМЕХАНИКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ.....	90
4.1 Основные причины и виды деформации карьерных откосов...	90
4.2 Основные факторы, определяющие деформационное поведение массив.....	92
4.3. Маркшейдерские наблюдения за деформациями карьерных откосов.....	95
4.3.1. Создание системы темы геомеханического мониторинга.....	95
4.3.2. Методика ведения геомеханического мониторинга.....	99
4.3.3 Наблюдения за устойчивостью откосов на основе электронного тахеометра.....	103
4.3.4. Использование спутниковых систем в маркшейдерских наблюдениях.....	104
4.3.5. Автоматическая наблюдательная станция на карьерах.....	107
4.4. Результаты мониторинга деформаций	109
4.5. Графический способ определений.....	113
4.6.Противодеформационные меры.....	116
4.6.1	
4.6.2	119
4.6.3.....	121.
Контрольные вопросы.....	124
 5.ГЕОМЕХАНИКА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ.....	125
4.1 Общие сведения о процессе сдвижения горных пород.....	80
4.2 Параметры процесса сдвигения.....	
4.3 Основные факторы, влияющие на процесс сдвижения горных пород и земной поверхности.....	
4.4Методы изучения процесса сдвижения.....	
4.5.Маркшейдерские наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности.....	
4.5.1 Составление проекта наблюдательной станции.....	
4.5.2 Закладка станции и привязка ее к опорным сетям рудника.....	
4.5.3 Проведение инструментальных наблюдений и обработка их результатов.....	
4.6 Меры охраны	
Контрольные вопросы.....	177.
 6 ГЕОМЕХАНИКА КОМБИНИРОВАННОЙ И СКВАЖИННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	166
5.1	
5.2	
5.3	
5.4	

Контрольные вопросы.....	1820.
-------------------------------------	--------------

6 ОХРАНА НЕДР И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК.....	.171
--	-------------

5.1 Влияние горных разработок на окружающую среду.....	
--	--

5.2 Рациональное использование и охрана недр.....	
---	--

5.3 Методы управления за геомеханическими процессами.....	
---	--

Контрольные вопросы.....	190
---------------------------------	------------

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	191
---------------------------------------	------------

ГЛОССАРИЙ.....	192
-----------------------	------------

•	
•	
6.4.2. Особенности развития деформационных процессов при крутом падении слоев пород и при наличии в толще тектонических	
.....нарушений	337
6.4.3. Образование провалов и воронок обрушения на земной	
.....поверхности	340
6.5. Динамические и газодинамические явления в массивах пород под	
.....влиянием горных работ	
350	
6.5.1. Горные удары. Форма проявления, условия возникновения,	
.....методы прогнозирования	
351	
6.5.2. Внезапные выбросы пород, угля и газа. Меры по их предотвра-	
.....щению	364
6.5.3. Зоны, опасные по газодинамическим явлениям и защищенные	
.....от них	371
6.5.4. Управление напряженным и газодинамическим	
.....состоянием массива	
378	
6.5. Инструктивные и нормативные документы, регламентирующие	
наблюдения за геомеханическими процессами, охрану зданий, сооружений	
и природных объектов от вредного влияния подземных разработок	240

6. ГЕОМЕХАНИКА КОМБИНИРОВАННОГО И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО (СКВАЖИННОГО) СПОСОБОВ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

7.1. Общие сведения о комбинированном способе разработки	
месторождений	245
7.2. Опыт изучения геомеханических процессов при комбинированном	
Способах разработки месторождений	248
7.3. Технологические методы управления геомеханическими	
процессами при комбинированной разработке месторождений.....	250
7.4. Геомеханические процессы при физико-химической	
геотехнологии	252
7.5.....	255

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ