Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
(ВНИМИ)

ВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО СОСТАВУ И МЕТОДАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ

Ленинград
1965

gost.e-ecolog.ru

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ ВНИМИ

" Временные требования по составу и методам механических испытаний горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых для проектирования подземных выработок".

По содержанию работу необходимо признать актуальной.

В ней приводятся важнейшие механические свойства горных пород и современное представление о влиянии этих свойств на процессы связанные с горным давлением и сдвижением в подземных разработках. Дается ясное и обстоятельное представление о различных явлениях и зависимостях обуславливаемых механическими свойствами. Зависимости и явления в работе изложены просто, достаточно полно и понятно. Знание их необходимо каждому проектировщику и квалифицированному работнику горной специальности.

В требованиях приводятся краткие сведения о влиянии природных условий на применение той или иной системы разработки (по Сонину С.Л.) на угольных месторождениях и дан перечень механических свойств, горных пород влияющих на управление горным давлением в оч стных работах, а так же при проходке и эксплуатации капитальных и подготовительных выработок. Эти сведения также весьма полезны проектировщикам и эксплуатационникам.

Следует отметить некоторые недостатки в работе:

I) Все внимание в работе отводится только свойствам горных пород связанным с горным давлением и сдвижением. Работа не учитывает всех физико-механических свойств пород используемых при проектировании:

а) нет указаний для определения крепости пород по буримости и взрываемости, что имеет, как известно, большое значение при проходке выработок;

б) нет указаний об определении условий и времени слеживаемости пород, что необходимо для выявления возможности проведения горных работ под или над очистными работами и др.;

в) не рассматривается влияние глубины разработки на механические свойства пород;

г) в работе приведено довольно большое количество требуемых показателей - необходимо уменьшить их число, упростить.

2) В тексте указывается на недостаточность имеющихся научных расчетных методов для обоснования параметров системы разработки и крепления выработок. Целесообразно в работе привести рекомендуемые в данное время формулы в которые входят те или другие параметры механических свойств пород или указать литературу.

3) Обращает внимание затруднительная для быстрого понимания формулировка самой темы данной работы.

4) Не приведено никаких экономических подсчетов удорожания разведки, вызываемого дополнительными испытаниями горных пород.

В целом работу необходимо признать полезной. Проектировщикам неотложно и настоятельно уже сегодня требуется знание перечисленных свойств горных пород для выполнения качественных проектов.

Работа может служить основой для составления инструкции по составу и методам изучения свойств горных пород при разведкеместорождений.

В инструкцию необходимо включить и все механические свойства требуемые другими организациями (ВСЕГИНГЕО, ДОНУГИ, КУЗБАССУГЛЕГЕОЛОГИИ и др.)
Инструкцию согласовать с заинтересованными организациями.

Зам.начальника технического
отдела /Кимбар Ю.Ю./

Главный специалист
технического отдела /Белоусов А.П./

Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА (ВНИМИ)

Проект

ВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО СОСТАВУ И МЕТОДАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ

Ленинград
1966

А Н Н О Т А Ц И Я

В настоящей работе обоснованы и изложены рекомендуемые виды, объемы и методы механических испытаний горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых подземным способом. Целью этих испытаний является получение необходимых материалов для промышленного освоения месторождений: выбора способов и систем разработки и проектирования горных выработок с учетом управления горным давлением и сдвижением пород.

Рекомендации даны на основе анализа и обобщения научных данных о механизме горного давления и сдвижения пород в различных горнотехнических условиях и на месторождениях с различным геологическим сложением.

Рекомендации используют современное состояние вопроса о методах механических испытаний горных пород.

Рекомендации учитывают этапы освоения месторождений и соответствующие этапы разведки этих месторождений.

Указывается, что содержание рекомендаций носит временный характер, отвечающий современному уровню научной разработанности вопросов механики горных пород и современному состоянию промышленного выпуска оборудования для испытаний горных пород.

Настоящие "Временные требования" подлежат обсуждению, в качестве проекта, основными геологоразведочными организациями, горно-проектными институтами и научно-исследовательскими институтами горного профиля.

I. П Р Е Д И С Л О В И Е

Для оценки промышленного значения месторождений полезных ископаемых, а также при установлении пригодности участков массива горных пород для возведения подземных сооружений, большое значение имеет изученность горнотехнических условий подземных работ по разработке этих месторождений и по строительству и эксплуатации этих сооружений. Еще большее значение имеют материалы этой изученности в качестве исходных данных для проектирования (на различных стадиях этого проектирования) и ведения горно-строительных и горно-эксплуатационных работ.

Между тем, при ведении разведочных работ изучению горно-технических условий - механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород - уделялось, как правило, недостаточно внимания. Это объясняется в первую очередь отсутствием в нормативных положениях по ведению разведочных работ четких, обоснованных и достаточных требований, какие свойства пород должны быть изучены, в каком объеме, какими методами и с какой целью.

В итоге нередко результаты разведочных работ не содержали сведений о физико-механических свойствах пород, необходимых для оценки промышленного значения и проектирования горных работ по месторождению, благодаря чему эти оценки и проекты выполнялись ориентировочно или со значительной перестраховкой и неоправданными расчетными запасами и предусматривали соответствующие неоправданные экономические затраты. Вместе с тем, результаты разведочных работ иногда содержали много излишних сведений о свойствах горных пород, не используемых при прогнозах и проектировании горных работ, но значительно загружавших геолого-разведочные

организации, что также связано с неэффективной затратой средств.

В связи с указанным, Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР письмом № 206 от 5 марта 1968 года возбудила вопрос о необходимости разработки ВНИИМИ соответствующих требований к составу работ по изучению физико-механических свойств пород разведочными организациями с целью установления промышленного значения и условий эксплуатации разведуемых месторождений и получения необходимых данных для проектирования и строительства горных предприятий.

Настоящие временные требования к составу и методам изучения свойств горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых, составлены в результате выполнения соответствующей подтемы темы № 16 темплана ВНИИМИ 1965 года "Исследования механических свойств горных пород в связи с задачами управления горным давлением". Работа выполнена канд.техн.наук МАТВЕЕВЫМ Б.В. при участии докт.техн.наук КРУПЕННИКОВА Г.А. и кандидатов техн.наук НЕСТЕРЕНКО Г.Т., КУЗНЕЦОВА С.Т., БУБЛИКА Ф.П., АРДАШЕВА К.А., ДАВЫДОВИЧА И.Л., ФИЛАТОВА Н.А., КОЗЕЛА А.М., канд.геолого-мин. наук СТЕПАНОВА В.Я., инженеров КАРТАШЕВА Ю.М., МИХЕЕВОЙ М.М., БЫСТРОВОЙ Л.Н., АВКСЕНТЬЕВОЙ В.Ф. В этой работе обобщены результаты многочисленных исследований проявлений горного давления и разработок методов изучения механических свойств горных пород. Однако специальных экспериментальных исследований указанных проблем при выполнении настоящей работы не ставилось.

Требования по составу (видам, объемам и методам) испытаний механических свойств горных пород составлены на основе анализа значения этих свойств при проявлениях горного давления и сдвиже-

ния пород в горных выработках в условиях применения различных систем подземной разработки месторождений различных геологических типов. В соответствии с этим, требования не включают в себя состава специальных опробований и испытаний полезного ископаемого, необходимых для определения его качества, а также технологических показателей его добываемости и обрабатываемости (буримость, дробимость, взрываемость и т.п.).

Предусматриваемый требованиями состав испытаний проб горных пород дифференцируется в зависимости от направлений использования его результатов на различных стадиях освоения месторождения, что соответствует составу этих испытаний на различных этапах разведки.

Требования не распространяются на специальные виды разведочных работ, проводимых по особо-разрабатываемым программам, например, на разведку, предшествующую значительной углубке разработки эксплуатируемого месторождения. В требованиях указываются важнейшие для управления горным давлением и сдвижением пород в горных выработках механические свойства пород, рекомендуются (применительно к этапам разведки, морфологии месторождений и типам горных пород) методы и объемы их испытаний.

Наиболее целесообразным способом внедрения настоящих требований является соответствующее пополнение на их основе нормативных документов (инструкций, методических указаний) по методике разведочных работ. Эту работу, в связи с ее специфическим направлением, целесообразно выполнить соответствующей геологической научно-исследовательской организации. В ходе этой работы настоящие требования могут быть пополнены составом упомянутых работ по опробованию кондиции и технологических показателей добываемости и обрабатываемости полезного ископаемого, а также составом работ по гидрогеологическому изучению месторождения.

Настоящие требования являются временными, поскольку научная разработка ряда положений, лежащих в их основе, в настоящее время еще не исчерпана:

а) не во всех необходимых случаях механизм проявлений горного давления и сдвижения пород изучен с достаточной полнотой;

б) недостаточно разработаны методы испытания механических свойств горных пород, а некоторые из этих методов пока не рассчитаны на применение широким кругом разведочных организаций;

в) слабо разработаны расчетные методы проектирования элементов систем подземной разработки месторождений с учетом управления горным давлением и сдвижением пород.

По мере выполнения научных разработок в этих направлениях, а также по накоплении опыта использования настоящих временных требований, последние должны пересматриваться с целью внесения соответствующих уточнений и пополнений.

II. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В связи с ненормальностью положения, когда отсутствие нормативных указаний по составу механических испытаний при разведке месторождений являлось причиной затруднений в промышленном освоении этих месторождений, - в последние годы различными исследовательскими и изыскательскими организациями предпринимались разработки таких указаний.

В 1962 году центральной лабораторией Волго-Донского территориального геологического управления была подготовлена работа "Определение механических свойств горных пород при разведках месторождений углей в Восточном Донбассе". Эта работа рекомендует, без приведения обоснований, проводить при разведке углей в Восточном Донбассе комплекс из некоторых видов испытаний пород и излагает методы этих испытаний, отвечающие возможностям этой лаборатории. При правильности, в основном, этих рекомендаций, они:

а) ограничены геологическим типом месторождений (пластовые) видом полезного ископаемого (уголь) и районом (Восточный Донбасс);

б) не содержат рекомендаций по объемам испытательных работ;

в) не предусматривают возможности выбора метода испытаний какого-либо показателя свойств горной породы в зависимости от местных возможностей;

г) не дают обоснования рекомендаций путем привязки состава испытаний к их целям - управлению горным давлением и сдвижением при ведении горных работ.

В 1964 году институтом ДонУГИ подготовлены "Предложения по унификации методики изучения физико-механических свойств горных пород", предназначенные для прогноза горно-технических условий

разработки угля на разведываемых участках Донбасса. Рекомендации ДонУГИ в этой работе отвечают более современному уровню развития методов испытаний горных пород и предусматривают возможность выбора методов испытаний в зависимости от наличных возможностей. Однако здесь также не дается обоснования этих рекомендаций со стороны целей испытаний и использования их результатов.

В 1968 году трестом Кузбассуглегеология составлены "Временные указания по методике изучения крепости и устойчивости боковых пород при геологоразведочных работах в Кузнецком бассейне". Указания эти приурочены, в основном, к целям выбора способов управления кровлей в очистных выработках угольных шахт Кузбасса. Однако, при обстоятельном обосновании изучения трещиноватости пород и подробном изложении метода определения ее показателей, в указаниях недостаточно освещена необходимость в определении других показателей свойств пород, приводимых лишь общим перечнем, а также не дается рекомендаций по методам их определения.

Вопросы установления комплекса испытаний горных пород при ведении геологических изысканий наиболее детально и обстоятельно разрабатывались институтом ВСЕГИНГЕО в связи с разработкой этим институтом методики составления прогнозов условий разработки месторождений и получения данных для проектирования и строительства предприятий. Важные результаты этих разработок изложены в сборнике "Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии" № 18, 1959 г. (статья Г.Г.Скворцова и С.П.Прохорова "Требования к инженерно-геологической изученности месторождений твердых полезных ископаемых"), в методическом указании Г.Г.Скворцова и Л.И.

Романовской "Инженерно-геологические прогнозы условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых", в книге С.П.Прохорова и Е.Г.Качугина "Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям при разведке месторождений твердых полезных ископаемых", а также в сборнике ВСЕГИНГЕО "Лабораторные методы исследования физико-механических свойств горных пород в инженерно-геологических целях" (статья Г.К.Бондарик и В.Л.Дубровкина "Комплекс лабораторных исследований при инженерно-геологических изысканиях для различных видов строительства")

В этих работах:

а) дается обстоятельная классификация месторождений по степени сложности их инженерно-геологических условий;

б) указываются факторы определяющие инженерно-геологические условия разработки месторождений открытым и подземным способом, в том числе перечисляются возможные проявления горного давления и сдвижения пород;

в) рекомендуется необходимый на разных стадиях разведочных работ состав инженерно-геологического изучения месторождения, в том числе свойств горных пород.

При всей обстоятельности указанных разработок ВСЕГИНГЕО, следует указать, что:

а) рекомендуемые ими виды испытаний горных пород дифференцированы лишь применительно к подготовляемым разведкой участкам строительства (гидротехнического, гражданского, транспортного и др.) преимущественно на дневной поверхности и не предусматривают особых рекомендаций применительно к ведению работ горных предприятий в условиях различных проявлений горного давления и сдвижения

пород;

б) рекомендуемый комплекс опробований и испытаний пород ориентирован главным образом на оценку геотехнических свойств слабых (несвязаных и малосвязаных) пород и недостаточное внимание уделяет разнообразию механических свойств твердых горных пород;

в) не дается ни конкретных рекомендаций объемов испытаний (частоты опробования, количества испытываемых образцов), ни указаний на соображения, обосновывающие эти рекомендации;

г) не приводится рекомендуемых методов проведения испытаний с учетом возможности их выбора в зависимости от оснащенности разведочных организаций испытательной аппаратурой.

В 1962 году ВНИМИ разработаны: "Требования к изученности инженерно-геологических условий месторождений, полезных ископаемых, подлежащих открытой разработке". К "Требованиям" приложены соответствующие обоснования разработанных рекомендаций. "Требования" приводят в наиболее близкое качественное и количественное соответствие результаты разведочных работ - потребностям расчетчиков и проектантов при проектировании открытых горных работ. Однако указанная разработка совершенно не отражает аналогичной потребности в нормативных указаниях применительно к ведению подземных разработок.

В 1965 году ВНИМИ разработаны также "Временные технические требования на проведение испытаний механических свойств пород для оценки условий поддержания выработок подземных газонефтехранилищ". Эти требования достаточно обоснованы и разработаны соответственно современному уровню научных знаний по затронутым вопросам. Однако, как это видно из названия, область действия этих требований также

ограничивается узкой областью сооружения подземных газонефтехранилищ и не распространяется на общую разведку месторождений полезных ископаемых.

К перечню разработок, отражающих состояние вопроса по настоящей теме, следует отнести и составленное в 1958 году А.Д.Пановым, Г.Н.Кузнецовым, В.Т.Давидянцем, Г.А.Крупенниковым и В.И.Барановским "Единой методики комплексного изучения вопросов горного давления" (раздел "Определение физико-механических свойств горных пород"). В этой методике комплекс испытаний горных пород привязан к вопросам управления горным давлением и кратко изложены рекомендуемые методы испытаний. В настоящее время ряд положений этой методики уже не отвечает уровню развития соответствующих разделов горной науки. Поэтому решением Гос.комитета по топливной промышленности при Госплане СССР эта методика подвергается переработке в направлении, близко отвечающем целям настоящей работы.

В заключение следует отметить, что вопрос об установлении целесообразного состава испытаний горных пород при ведении геологоразведочных работ существенно связан:

а) с состоянием разработанности методов механических испытаний горных пород и типизацией оборудования для проведения этих испытаний;

б) с обеспеченностью разведочных организаций необходимыми средствами для проведения испытаний (оборудование, приборы, помещение и т.п.), а также с перспективами этой обеспеченности.

В настоящее время различными научно-исследовательскими организациями разработано и применяется довольно много различных методов испытаний свойств горных пород:

а) применительно к различным типам пород (несвязные, слабосвязные, твердые, трещиноватые и др.);

б) применительно к получению различных показателей свойств горных пород (показателей прочности при различных видах напряженных состояний, показателей реологических свойств, показателей строения породы, показателей вещественного состава и т.п.);

в) применительно к различным требованиям надежности результатов и доступности проведения испытаний (методы прямых испытаний, косвенные методы, технологические испытания, упрощенные испытания).

Степень разработанности этих методов различна. Некоторые из методов четко обоснованы теоретически и достаточно опробованы экспериментально. По ним имеются изданные инструкции по проведению испытаний, содержащие методическое обоснование, описание аппаратуры, нормативные положения, обеспечивающие необходимое единообразие условий испытаний и минимальные их погрешности, а также подробное указание порядка ведения испытаний. В других случаях имеется известный произвол в условиях проведения испытаний, что вызвано неизученностью влияния этих условий на результаты испытаний, а иногда и необоснованным пренебрежением этим влиянием, и что влечет за собою пониженную надежность результатов испытания вследствие их существенных погрешностей. Многие методы испытаний, имеющие довольно широкое применение, еще нуждаются в существенной доработке.

Содержание существующих методов испытаний горных пород в различной мере увязано с целью этих испытаний - получением представительных показателей свойств пород, влияющих на проявления

горного давления и сдвижения и используемых в расчетах механизма этих проявлений при проектировании горных работ. В одних случаях методы испытаний в целесообразной мере воссоздают определенные условия горнотехнической обстановки и, тем самым, обеспечивают представительность полученных показателей. В других случаях необоснованно применяются виды и методы испытаний, выявляющие показатели таких свойств пород, которые не имеют существенного значения в проявлениях горного давления и сдвижения пород.

Следует также отметить, что промышленный выпуск испытательного оборудования в СССР организован весьма недостаточно, как в части номенклатуры машин и приборов, пригодных для испытаний горных пород, так и в части количества и качества выпускаемых типов испытательных машин.

II. ВАЖНЕЙШИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД, ВЛИЯЮЩИЕ НА ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ И СДВИЖЕНИЕ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Проходка и поддержание в напряженном массиве горных пород выработок различного назначения (очистных, подготовительных, капитальных) или, если этого требует технология горных работ, ликвидация этих выработок, сопровождаются возникновением или развитием в окружающих породах массива деформаций, сдвижений, напряженных состояний, а при известных условиях появлением трещин разрушения породы, обрушением обнажений (кровли выработок) и разрушением крепи выработок. Возникновение в зонах, окружающих горные выработки, этих геомеханических процессов - горного давления и сдвижения пород - объясняется изменениями естественного напряженного состояния массива пород (вызванного его весом), при ослаблении его выработками.

Выбор и осуществление необходимых размеров, расположения и последовательности проходки горных выработок, и их охраны и закрепления, обусловливают соответствующие проявления горного давления и сдвижения горных пород входят в круг мероприятий по управлению горным давлением и сдвижением. Управление горным давлением и сдвижением пород существенно сказывается на экономической и технической эффективности горных работ. От него зависит в частности:

а) соотношение размеров поддерживающих целиков и выемочных площадей, что в значительной мере определяет величину потерь полезного ископаемого;

б) объемное и соответствующее стоимостное соотношение очистных работ и работ по проходке подготовительных выработок, что получает отражение в величине себестоимости полезного ископаемого;

в) способ крепления и охраны выработок различного назначения, обеспечивающей безопасность и эксплуатационную пригодность этих выработок и соответствующие расходы на крепление и на ремонты крепи.

Характер проявлений горного давления и сдвижения пород, их механизм, определяются следующими факторами:

а) формой, размерами, глубиной заложения выработок, их взаимным расположением и примененным способом закрепления и охраны;

б) порядком проходки и закрепления выработок (а также их раскрепления и обрушения, если это предусмотрено), последовательностью проходки взаимно-сближенных выработок;

в) геологическим сложением вмещающего выработку массива пород: падением, мощностью, выдержанностью слоев полезного ископаемого или рудных тел и вмещающих пород, наличием и характером тектонических нарушений, расслоенности, трещиноватости и кливажа;

г) силами, нагружающими массив: его собственным весом, зависящим от плотности и глубины залегания, в том числе от гидростатических напоров подземных вод, а иногда и давления газов, содержащихся в массиве, наличием тектонических напряжений в массиве;

д) качественным характером механических свойств пород массива, вмещающего выработки и величинами показателей этих свойств, а также показателями механических характеристик крепи выработок.

Важность механических свойств горных пород, как сред, в которых развивается механизм горного давления и сдвижения пород в горных выработках очевидна. Характер и величина деформаций, смещений и разрушений пород вокруг выработки, даже при одинаковых условиях нагружения этих пород внешними нагрузками, различен для крепких, пластичных, трещиноватых и сыпучих пород, а также и для пород с количественно различающимися показателями этих свойств.

Горным породам присуще значительное число разнообразных механических свойств, сюда относятся:

а) деформативные свойства, характеризующие зависимость деформаций породы от вызывающих их нагрузок (в том числе реологические свойства , характеризующие развитие деформаций во времени);

б) прочностные свойства, характеризующие предельные нагрузки, вызывающие разрушение и полную или частичную потерю или существенное изменение несущей способности породы.

Механические свойства пород тесно связаны с некоторыми их физическими свойствами (объемный вес, влажность и др.), а также со свойствами, которые могут быть названы структурными (пористость, трещиноватость, анизотропия и др.).

По преимущественному проявлению наиболее существенных механических свойств, связанному со строением, горные породы могут быть условно отнесены к следующим механическим типам.

а) Твердые (монолитные) породы, характеризующиеся относительно высоким сопротивлением разрушению вследствие значительного сцепления между элементами структуры породы, и малыми деформациями, находящимися в прямой зависимости от нагрузок, причем деформации в преобладающей мере являются обратимыми (упругими). Рео-

логические свойства и снижение прочности при длительном нагружении у твердых пород проявляются в относительно малой степени.

б) Сыпучие (рыхлые) породы, несущая способность которых обусловлена главным образом внутренним трением между слагающими породу частицами. В меньшей степени прочность рыхлых пород зависит от имеющегося иногда небольшого молекулярного сцепления частиц породы. Поэтому прочность у рыхлых пород при некоторых видах нагрузки может быть пренебрежимо малой. Деформативность сыпучих пород также резко зависит от вида нагрузки, но в пределах несущей способности породы обычно невелика и мало зависит от длительности действия нагрузки.

в) Трещиноватые (нарушенные) породы, структура которых характеризуется наличием систем поверхностей ослабленного сцепления твердого материала породы. Трещиноватые породы по прочностным показателям обычно занимают промежуточное место между твердыми и сыпучими и характеризуются пониженным сопротивлением разрушению при некоторых видах нагрузки, особенно-при растяжении и сдвиге. Деформативность (а в частности и реологические свойства) трещиноватых пород, при этих нагрузках значительно более выражены, чем у твердых пород. Для многих трещиноватых пород особенно характерна анизотропия, вызванная правильной пространственной ориентировкой систем поверхностей ослаблений (например - слоистость) и проявляющаяся в различии величин прочностных и деформативных показателей в различных направлениях.

г) Пластичные (вязкие) породы, характеризующиеся деформативностью типа реологических процессов, развивающихся во времени, например, ползучестью при неизменных нагрузках или релаксацией при неизменных задаваемых деформациях. Прочность пластичных пород, как правило, значительно меньше, чем твердых, а величина этой прочности в весьма большой степени зависит от длительности действия нагрузки.

Следует отметить, однако, что принадлежность пород к какому-либо из этих типов обычно не исключает наличия у них, хотя и в менее выраженной степени, свойств, характеризующих другие типы пород. Поэтому, соответственно, и само разделение пород на указанные группы не имеет резких границ. Следует отметить, кроме того, что механический тип породы может отражать такие различное состояние (например, влажность) одной и той же горной породы.

Из большого числа разнообразных механических свойств, присущих в той или иной мере породе, не все и не во всех случаях имеют существенное значение. Различные процессы горного давления и сдвижения пород, возникающие в соответственно различной горнотехнической и горногеологической обстановке, зависят от преимущественного влияния соответственно определенных свойств породы, вмещающей выработку, тогда как другие ее свойства при этом существенного значения могут не иметь. Так, например, в условиях зависания слоев кровли подземной выработки наиболее существенным свойством породы, слагающей эти слои, является ее прочность на изгиб; горное давление в этих условиях проявляется в виде прогиба слоев и обрушения кровли и ее давления на поддерживающую крепь. В другом случае, например для условий откоса борта карьера, существенным свойством породы, слагающей борт этого карьера, является объемная прочность или прочность на сдвиг, так как механизм сдвижения и давления пород при этом состоит в возможном оползании борта в результате действия трехосных напряжений и сдвига пород.

Как указано, механическими свойствами горных пород являются их прочностные и деформативные свойства; значение имеют также связанные с этими свойствами некоторые из других физических и структурных свойств.

Под прочностью горной породы понимается ее способность в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать

те или иные силовые воздействия. При этом под разрушением породы в узком смысле понимается макроскопическое нарушение целостности породы в результате силового воздействия, причем порода полностью или частично теряет свою несущую способность (способность сопротивляться механическим нагрузкам). В более широком смысле к прочностным свойствам относится вообще ограниченная способность породы к несению механических нагрузок, причем превышение этих предельных нагрузок приводит либо к потере или существенному изменению породой сопротивляемости механическим нагрузкам, либо к качественному изменению механизма деформирования породы. (Например - переход от упругого деформирования к пластическому). Прочностные свойства количественно характеризуются показателями, представляющими собой предельные нагрузки (напряжения), отвечающие разным видам разрушения породы при различных видах ее напряженного состояния.

Под деформируемостью горной породы понимается ее способность деформироваться, то есть изменять свою форму и размеры в зависимости от действия приложенных сил. Показатели деформативных свойств пород поэтому представляют собой соотношения деформаций породы и вызывающих их напряжений.

Важнейшие прочностные свойства пород характеризуются следующими показателями.

а) Предел прочности при одноосном сжатии (σ_c) - показатель, численно равный величине главного напряжения при одноосном сжатии (в кг/кв.см), ограничивающей область нагрузок, воспринимаемых породой без разрушения. Этот показатель является наиболее распространенной общей оценкой механических свойств пород. Ориентировочно

эта оценка часто выражается термином "крепость" или "коэффициент крепости по Протодьяконову", причем величина этого коэффициента измеряется делением предела прочности при одноосном сжатии на 100 (с округлением). Предел прочности при одноосном сжатии является характерным показателем для твердых пород и имеет для них наибольшие численные значения; в меньшей степени он характеризует нарушенные и пластичные породы, для которых большей частью он имеет и меньшие значения; для сыпучих же пород, весьма слабо или вовсе не сопротивляющихся одноосному сжатию, предел прочности обычно не является характерным показателем.

Породы с существенной анизотропией сложения характеризуются различными пределами прочности на сжатие в главных направлениях анизотропии (обычно - по нормали к напластованию и в направлении напластования).

Учитывая, что строение твердых и, особенно, трещиноватых пород в породном массиве обычно отличается от ее строения в сравнительно малых образцах наличием неоднородностей и ослаблений, иногда при оценке прочности пород имеет смысл различать "предел прочности при одноосном сжатии в массиве" от предела прочности при одноосном сжатии в образце; отношение этих величин принято называть коэффициентом структурного ослабления породы ($K_{стр}$). При этом для анизотропных пород коэффиент структурного ослабления отражает эруанизотропию, то-есть различен в различных направлениях сложения породы.

В случаях, когда величина разрушающего породу значения одноосно-сжимающего напряжения зависит от длительности его действия на породу, кроме обычного "кратковременного" предела прочности породу характеризует предел длительной прочности при одноосном сжатии. Предел длительной прочности значительно отличается по величине от обычного предела прочности для пород пластичных и нару-

менных, в меньшей степени для сыпучих пород и обычно мало отличается для твердых пород.

Предел длительной прочности может быть выражен произведением обычного предела прочности на соответствующий коэффициент ($K_{длит}$).

б) Предел прочности при растяжении ($\sigma_р$) - показатель, численно равный величине главного напряжения при одноосном растяжении (в кг/кв.см), ограничивающий область растягивающих нагрузок, воспринимаемых породой без разрушения. Обычно этот показатель определяется для твердых пород, однако, он, очевидно, имеет большое значение и для пород трещиноватых, для которых пока не разработано методов опытного определения этого показателя или соответствующего коэффициента структурного ослабления.

Анизотропные породы характеризуются пределами прочности на растяжение также в главных направлениях анизотропии породы.

в) Предел прочности при изгибе ($\sigma_{из}$) - показатель, численно равный величине максимального напряжения (в кг/кв.см) в опасном сечении изгибаемого элемента массива или образца породы, воспринимаемого последним без разлома. Разрушение породы при изгибе происходит обычно от действия растягивающих напряжений в условиях неоднородных и часто сложных напряженных состояний; величина максимальных напряжений в разламываемой породе рассчитывается по величинам разламывающих образец (или элемент массива) нагрузок с использованием тех или иных расчетных схем. Различный характер напряженных состояний при различных методах изгиба оказывает влияние на результаты расчетов предела прочности при изгибе, поэтому последний обычно дается с указанием способа изгиба (формы, размеров образца, вида нагрузки). Предел прочности при изгибе является характерным показателем для твердых пород и, в

меньшей мере, для трещиноватых и пластичных пород, ввиду неразработанности методов опытного его определения для этих пород. Для последних кроме того может иметь значение влияние на предел прочности при изгибе длительности действия нагрузки.

г) Паспорт объемной прочности, является характеристикой прочностных свойств всех типов горных пород при различных сложных напряженных состояниях сжатия. Паспорт объемной прочности породы представляет собою зависимость касательных напряжений на площадках разрушения (сдвига) от величины нормальных напряжений на этих площадках. Зависимость эта обычно изображается графически (рис.I) соответствующей линией, ограничивающей на координатном поле напряженных остояний область прочных состояний. Напряженные состояния (трехосные) в этих координатах изображаются кругами Мора, а паспорт объемной прочности - линией, огибающей предельные в отношении прочности круги Мора. Численными параметрами паспорта прочности являются коэффициент сцепления (C) характеризующий прочность породы при сдвиге (в кг на кв.см) и изображаемый на графике ординатой точки пересечения паспорта прочности с осью касательных напряжений, и угол внутреннего трения (φ), изображаемый на графике углом наклона паспортной кривой к оси нормальных напряжений и характеризующий возрастание разрушающих породу нагрузок при всестороннем ее сжатии. Тангенс угла внутреннего трения носит название коэффициента внутреннего трения.

Сыпучие породы обычно характеризуются (рис.2) равенством нулю или малостью коэффициента сцепления и постоянством, независимо от величины всестороннего давления, углов внутреннего трения. Для пластичных пород характерно равенство нулю или малость

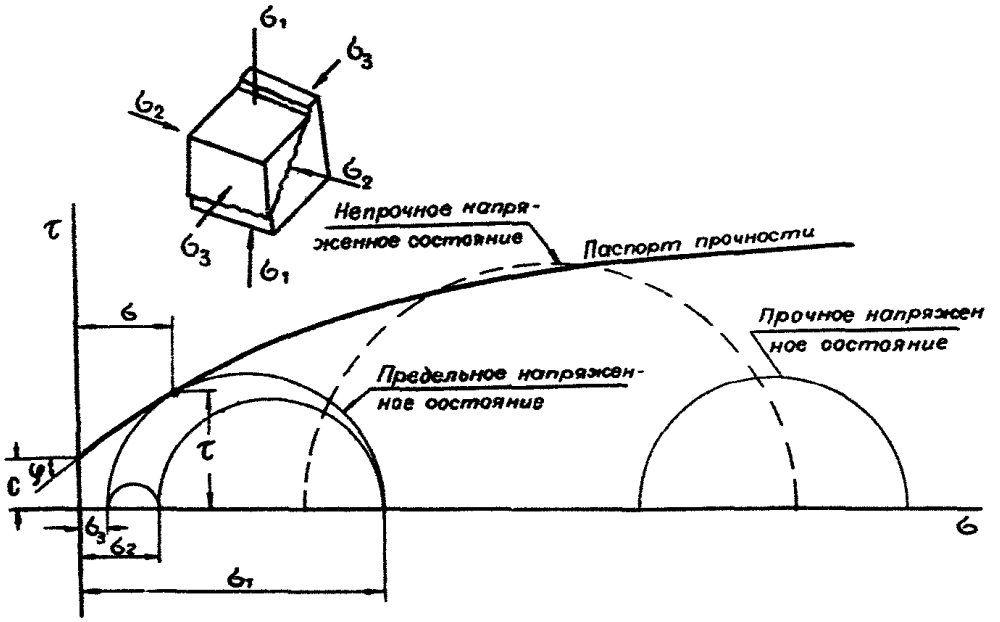

σ1
σ3
σ2
σ2
σ3
σ1
τ
Непрочное напряженное состояние
Паспорт прочности
Прочное напряженное состояние
Предельное напряженное состояние
σ
τ
c
φ
σ3
σ2
σ1
σ

Рис. I.

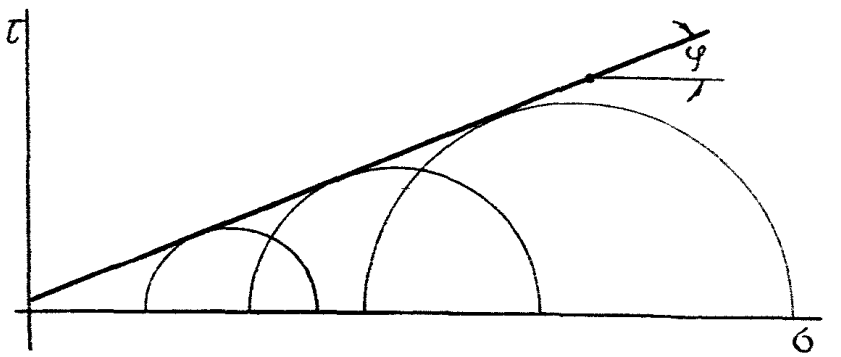

τ
φ
σ

Рис. 2.

угла внутреннего трения при наличии некоторой величины сцепления. Это отсутствие внутреннего трения обычно проявляется при достаточно больших нормальных напряжениях; при малых же напряжениях график паспорта прочности даже для пород весьма пластичных обычно имеет начальный наклон. Твердые горные породы характеризуются значительным начальным коэффициентом сцепления и большим начальным углом внутреннего трения, однако очертание графиков их объемной прочности обычно криволинейно, с уменьшением угла внутреннего трения при возрастании нагрузок. Однако горизонтальности этот график достигает и порода приобретает пластичность лишь при очень высоких всесторонних давлениях.

Для трещиноватых пород с беспорядочной ориентировкой ослаблений паспорт прочности имеет обычно вид, промежуточный между видом паспортов твердых и рыхлых пород. Паспорт прочности анизотропных трещиноватых пород представляет собою уже не одну, а семейство огибающих кривых, более сложно отражающее различие прочности породы в различных направлениях.

Подобно пределам прочности при одноосных нагрузках, для паспорта объемной прочности и его параметров - коэффициента сцепления и угла внутреннего трения - иногда (особенно для пластических пород) имеет смысл различать паспорт (и его параметры) при приложении и кратковременном действии нагрузок и при длительном их действии.

д) Предел упругости при сжатии (σ_e) - показатель, ограничивающий диапазон нагрузок, вызывающих упругое деформирование породы при одноосном сжатии, и численно равный предельной величине напряжения (в кг/кв.см), при превышении которой остаточные деформации получают заметное развитие (например, превышают какую либо условную величину 0,01%, 0,1% и т.п.). Предел упругости обычно является характерным показателем для пород твердых и трещиноватых; реже им обладают пластичные породы. При этом для

твердых пород предел упругости обычно велик, для трещиноватых его величина имеет меньшие значения и для пластичных - малые значения.

е) Предел текучести ($\sigma_т$) - показатель, ограничивающий диапазон нагрузок, вызывающих деформации текучести породы при одноосном сжатии, и численно равный минимальной величине напряжения (в кг/кв.см), при превышении которой появляются деформации текучести со скоростями, находящимися в прямой зависимости от нагрузки. Предел текучести является характерным показателем для многих пластичных пород. Для рыхлых пород иногда, а для твердых - редко наблюдается текучесть, а следовательно и наличие предела текучести. При этом для твердых пород с проявлениями текучести этот предел имеет довольно высокие значения.

Наиболее важные и изученные из деформативных свойств горных пород характеризуются следующими показателями.

а) Модуль упругости (E) - показатель (в кг/кв.см) упругой деформируемости породы, численно равный отношению нормальных напряжений при одноосном сжатии к упругим относительным деформациям породы в направлении этих напряжений. Аналогичное отношение, учитывающее не только упругую, но и остаточную часть деформации, называется модулем (полной) деформации, который поэтому для данной породы численно меньше модуля упругости. Различие по величине между модулем упругости и модулем деформации значительно меньше для пород твердых, чем для сыпучих, нарушенных, и особенно, пластичных. Для последних имеет значение различать модули при кратковременном действии нагрузок и модули при длительном действии нагрузок.

б) Коэффициент Пуассона или коэффициент поперечных деформаций (μ) - показатель, численно равный абсолютной величине отношения поперечной относительной деформации одноосно сжатой (или растянутой) породы к ее продольной относительной деформации при той же величине сжимающего (растягивающего) напряжения. Наряду с коэффициентом Пуассона, определяемым по величинам упругих деформаций, имеет смысл также коэффициент поперечных деформаций, определяемый по величинам полных (включая остаточные) деформации, а также различать такие коэффициенты при кратковременном и при длительном действии деформирующей нагрузки.

в) Коэффициент вязкости (η) - показатель текучести породы (в кг.час/кв.см), численно выражающийся отношением касательного напряжения в породе к градиенту скорости течения этой породы, вызванного действием этого касательного напряжения. Коэффициент вязкости является показателем, характерным для пластичных пород.

г) Показатели бокового распора - деформативные показатели породы, характеризующие зависимость от нагрузки на горную породу давлений, возникающих в этой породе в направлении, перпендикулярном к направлению действия нагрузки. Эти боковые давления обусловлены механическим препятствием свободному расплющиванию породы при сжатии ее продольной нагрузкой и реализуются как давления на эти препятствия: стенки, крепь выработки или смежные элементы породного массива. Боковой распор характеризуется следующими показателями:

I) Коэффициентами бокового распора (при кратковременном A_0 и при длительном A_∞ действии нагрузок), характеризующими для данной породы отношение величин реактивного бокового давления и вызывающей его активной сплющивающей породу нагрузки, при усло-

вии полного отсутствия деформации выдавливания расплющиваемой породы;

2) Коэффициентами поперечной разгрузки (при кратковременном (B_o) и при длительном (B_∞) деформировании), показывающими, насколько снижается давление бокового распора данной породы в результате развития деформаций ее бокового выдавливания.

Показатели бокового распора являются важными характеристиками пластичных пород и показателями наличия пластических свойств у пород других типов.

По величинам показателей бокового распора могут быть вычислены коэффициент поперечных деформаций породы и модуль ее деформации.

е) Полная реологическая характеристика - совокупность данных, содержащая реологическую схему (реологический тип) породы, состоящую из определенного, присущего этой породе, последовательного, параллельного или иного сочетания упругих, вязких и пластических элементов и величины показателей этих элементов: модулей и пределов упругости, коэффициентов вязкости и пределов текучести. Полная реологическая характеристика породы описывает ее свойства ползучести, релаксации, текучести, упругости (линейной или нелинейной) и запаздывающей упругости при одноосном сжатии породы. Полная реологическая характеристика наиболее важна для пластичных пород и для оценки пластических свойств у пород других типов.

Для ряда пород прочностные и деформативные свойства находятся в тесной зависимости от некоторых из их других физических свойств, важнейшими из которых являются следующие.

а) Объемный вес - вес единицы объема породы (в т/куб.м), оп-

ределяемый отношением ее веса к объему, включая в последний поры, пустоты, трещины и их содержимое. Объемный вес породы в состоянии ее залегания в массиве характеризует активную нагрузку налегающего массива пород, являющуюся источником горного давления.

б) Естественная влажность - показатель, численно равный отношению (в %%) веса воды, содержащейся в горной породе к весу сухой ее части. Естественная влажность пластичных, сыпучих, а также некоторых из твердых и трещиноватых пород, содержащих глинистые и выщелачивающиеся компоненты, в сильной степени влияет на прочностные и деформативные свойства этих пород.

в) Полная влагоемкость - показатель способности горной породы удерживать в своих порах воду в количестве, отвечающем влажности с предельно заполненными водой порами. Численная разница между полной влагоемкостью и естественной влажностью породы определяет возможность ее доувлажнения и связанного с этим изменения механических свойств.

г) Размокаемость - показатель свойства полной потери связности при увлажнении некоторых пород с соответствующим резким изменением механических свойств. Размокаемость породы измеряется величиной ее влажности, при которой происходит эта потеря связности.

д) Набухаемость ($\varepsilon_{наб}$) - приращение объема породы (в %% к ее первоначальному объему) при увлажнении ее от состояния естественной влажности до достижения полной влагоемкости. Свойство набухаемости проявляется в некоторых разновидностей глиносодержащих пород. В условиях горных выработок набухаемость является одной из причин так называемого пучения пород в обнаженных частях выработок.

в) Давление от набухания - величина давления набухающей породы на поверхности, препятствующие этому набуханию. Давление от набухания породы является одной из причин горного давления на крепь выработок, пройденных по набухающим породам.

Из показателей строения горных пород, влияющих на их механические свойства, имеют значение следующие.

а) Характеристика трещиноватости породы в массиве, содержащая указания на расслоенность и на наличие и количество систем параллельных трещин, их ориентировку в пространстве, частоту, размеры и форму трещин для каждой из этих систем, а также оценку степени механической связности породы по трещинам и слоям.

б) Пористость породы - величина отношения объема пор (заполненных воздухом или водой) между минеральными агрегатами породы ко всему объему этой породы. Пористость является фактором, снижающим прочность породы, а также определяющим ее влагоемкость.

в) Вещественный состав, то есть количественное соотношение структурных компонентов породы, особенно со стороны наличия глинистых и выщелачивающихся минералов, зернистости (формы, размеров зерен и состава цемента), неоднородности и анизотропии породы.

В заключение следует отметить, что физико-механические свойства горных пород, вследствие обычной неоднородности их строения, даже в пределах одного пласта или слоя, носят стохастический характер. Например, прочность горной породы в разных точках ее залегания несколько отличается вследствие случайного различия сложения породы в окрестности этих точек. Поэтому оценка прочнос-

ти (а также и других свойств) породы содержит как указание на среднюю величину показателя ее прочности, так и сведения о величине колебаний фактической прочности различных участков массива породы около этой средней величины, а при более детальной оценке - и характере этих вариаций (в виде статистического распределения показателя прочности).

IУ. ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Существенная роль тех или иных из механических свойств породы при формировании различных проявлений горного давления или сдвижения пород, установлена на основании знания горногеологической обстановки, а также на основании изучения этих проявлений в горнотехнических условиях горных предприятий. В результате такого изучения для различных проявлений горного давления и сдвижения пород прежде всего выяснен качественный характер механизма изучаемых проявлений: установлены элементы взаимодействующей системы частей массива пород и крепи выработок, а также характер этого взаимодействия, включая сюда тип деформирования массива (упругий, пластический, текучий) и характер его разрушения. Знание характера механизма проявлений горного давления и сдвижения пород в различных горногеологических условиях позволило установить значение проявляющихся при этом механических свойств пород, поскольку каждое из этих свойств: прочность на сжатие, растяжение, изгиб или сдвиг, объемная прочность, показатели текучести, упругости и пластичности, характеризуют соответствующее поведение горной породы, как среды или материала.

В настоящем указании, за его краткостью, нет возможности дать детальный анализ всех, или даже значительного числа случаев проявления горного давления и сдвижения пород в горных выработках. Ниже рассмотрены лишь несколько из наиболее важных типовых простейших примеров проявлений горного давления и при том в общих чертах, без учета всех специфических особенностей, разнообразных в различных отдельных случаях, обусловленных различиями горно-

технических и геологических условий. При этом рассмотрены существенные стороны геомеханических проявлений (напряжения, деформации, смещения и пр.) и указаны механические свойства пород, от которых зависит характер и интенсивность этих проявлений. Сводные таблицы, содержащие перечни этих свойств пород для различных горногеологических условий приведены.

I) Устойчивость междукамерных целиков

При разработке различных полезных ископаемых системами с оставлением междукамерных целиков, важнейшим вопросом управления горным давлением и сдвижением пород является вопрос обеспечения длительной устойчивости междукамерных целиков при минимальных их размерах, дабы сократить потери полезного ископаемого до технически и экономически доступного минимума и обеспечить безопасность работ.

Устойчивость целика определяется соотношением фактических напряженных состояний всех слагающих целик пород и прочности этих пород.

Напряженное состояние целиков наиболее упрощенно представляется как одноосное их сжатие весом налегающей толщи, равномерно распределенным по площади поперечного сечения целиков в плане (по Л.Д.Шевякову). При этом (рис.3) условием устойчивости целиков является достаточная величина предела прочности на одноосное сжатие полезного ископаемого, слагающего целик.

В случаях часто встречающейся структурной ослабленности полезного ископаемого (в частности-угля,обладающего трещиноватостью, кливажем и расслоенностью) большое значение имеет различие прочности полезного ископаемого в массиве (целике) и в образце, что на-

ходит свое отражение в величине коэффициента структурного ослабления ископаемого.

Ввиду большой длительности нахождения междукамерных целиков под нагрузкой, в некоторых случаях может приобрести значение вопрос о снижении прочности целиков вследствие проявления длительной прочности слагающей их породы или полезного ископаемого, меньшей по величине, чем прочность этой породы при кратковременном действии нагрузки. Условиями, при которых это имеет значение, являются:

а) пластический (в частности - для целиков из каменной соли), а в некоторых случаях и трещиноватый тип пород с существенной разницей между величинами прочности на одноосное сжатие при длительно-действующих и кратковременно действующих нагрузках;

б) особо жесткие эксплуатационные требования к надежности целиков при весьма длительных сроках их службы (в частности - на соляных месторождениях, под водоемами и т.п.);

в) особые условия возможности накопления целиками упругой энергии с опасностью возникновения горных ударов.

Более детальное исследование напряженного состояния целика показывает, что связь целика с покрывающим и подстилающим массивами препятствует свободному расширению сжимаемого целика в направлении перпендикулярном нагрузке на него. Поэтому в теле целика, кроме напряжений вертикального сжатия весом покрывающего массива, возникают также и напряжения горизонтального сжатия силами трения и сцепления целика с породами кровли и почвы (рис.4). В итоге напряженное состояние целика оказывается сложным (двух-или даже трехосным, а не одноосным) и неоднородным (с наличием кон-

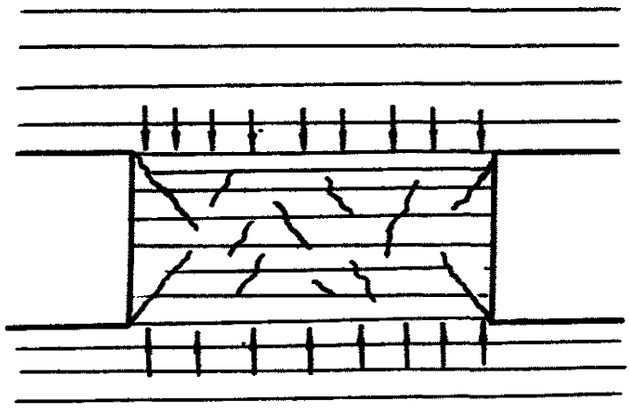


Рис. 3.

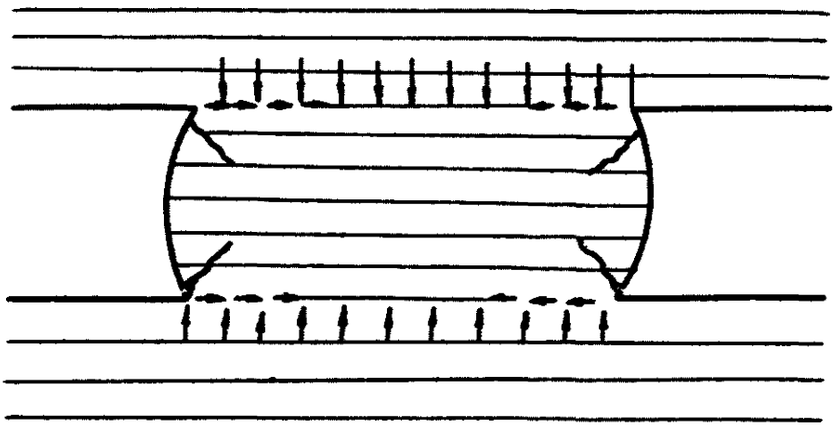


Рис. 4.

центраций у сопряжений целика с вмещающими породами). Вид этого напряженного состояния зависит:

а) от упругих свойств породы, слагающей целик (модуля упругости и коэффициента Пуассона);

б) от формы целика, как в плане, так и, особенно, в вертикальном поперечном разрезе, от соотношения высоты и поперечных размеров целика;

в) от механических условий контакта целика с вмещающими породами (трение, сцепление);

г) от наличия и характера расслоений в целике и других структурных особенностей слагающих целик пород.

Прочность породы при трехосном сжатии (объемная прочность) больше ее прочности при одноосном сжатии, поэтому механическая связь целика с вмещающими породами повышает несущую способность целика. Однако, при значительной высоте целиков по сравнению с их поперечными размерами (что встречается при разработке весьма мощных месторождений), указанная механическая связь "упрочняет" лишь крайние по высоте части целика, оставляя его среднюю по высоте часть в напряженном состоянии, близком к одноосному. Поэтому учет связи целиков с вмещающими породами имеет смысл лишь для низких целиков с относительно большими размерами в плане. В последнем случае устойчивость целиков может оцениваться двумя способами:

а) с более или менее точным, но сложным учетом действия перечисленных факторов - путем сопоставления сложного напряженного состояния породы в различных местах целика с показателями объемной

прочности этой породы при трехосном сжатии;

б) приближенной оценкой напряженного состояния целика величиною одного лишь вертикального сжимающего напряжения (как это указывалось выше), но с добавочными эмпирическими поправочными коэффициентами, зависящими от соотношения размеров целика (коэффициент Церна, формула Оберта и т.п.) и с сопоставлением с прочностью породы при одноосном сжатии.

Напряженное состояние весьма низких целиков (встречающихся при разработке тонких угольных пластов, правда уже не в качестве междукамерных), даже приближенно не может рассматриваться как одноосное сжатие. Раздавливание угля значительными вертикальными нагрузками в таких целиках не сопровождается полной потерей несущей способности последних. Лишь периферийные (в плане) части целика при этом оказываются существенно разрушенными, причем большую роль в этом разрушении играет прогибание кровли (и почвы) камеры, распространяющееся и на зону контакта с породой целика (опорное давление).

Применение значительных по высоте целиков, что имеет место, например, при разработке мощных пологопадающих рудных месторождений камерно-столбовой системой, иногда связано с возможностью их дополнительного нагружения. При отработке таких целиков возможны случаи неравномерного распределения целиков по площади очистного пространства, а также случаи соседства целиков различных поперечных размеров. В этих условиях упругие свойства слагающей целики породы обусловливают различную их податливость, неравномерную осадку кровли (рис.5) и, как следствие, добавочную нагрузку некоторых целиков весом налегающих пород.

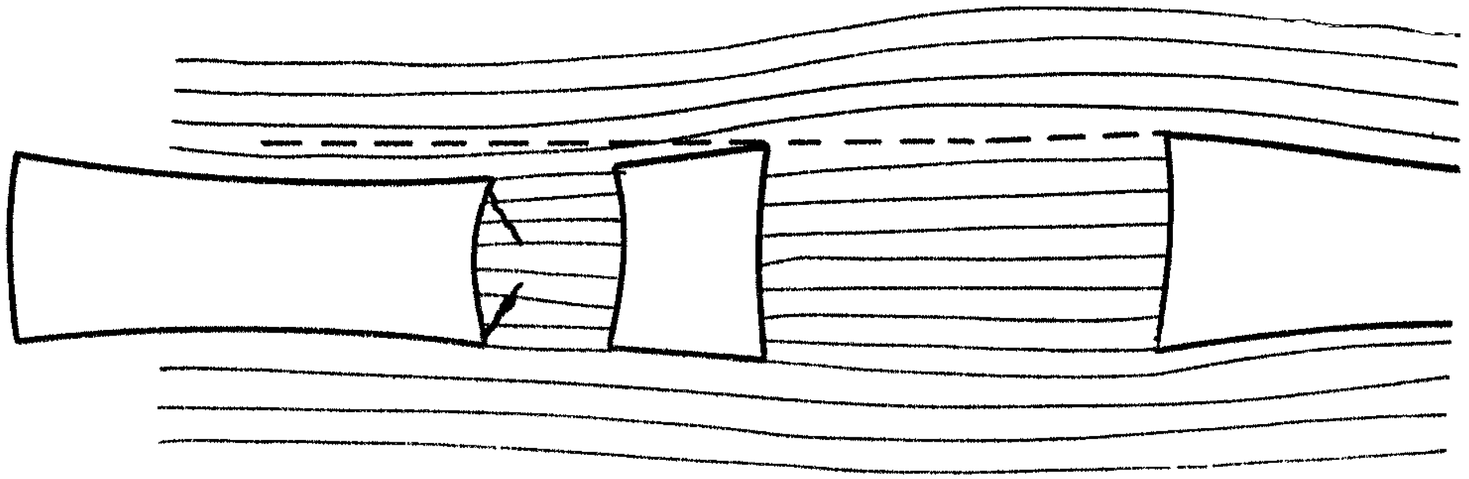


Рис. 5.

Особенности механизма давления на междукамерные ленточные целики при крутом падении сводятся к следующему (рис.6):

а) верхняя и нижняя части одного и того же целика испытывают со стороны вмещающих пород различные по величине нагрузки, обусловленные различием глубины залегания этих частей,

б) собственный вес целика ориентирован относительно последнего в поперечном направлении, что изменяет характер нагрузки связи по его контактам с вмещающими породами (а также по слоям, слагающим самый целик),

в) нижнее (со стороны падения залежи) обнажение целика оказывается зависающим и механизм его нагружения оказывается подобным механизму нагружения кровли горизонтальной подготовительной выработки, обнаженной по поверхности, нормальной напластованию.

2) Устойчивость кровли в камерах

Устойчивость кровли очистных камер связана с вопросом установления максимальных размеров пролетов этих камер обеспечивающих наибольшую полноту выемки ископаемого и, в то же время, обеспечивающих безопасность очистных работ в камерах и минимальное разубоживание полезного ископаемого.

В большинстве случаев, когда обнаженная поверхность кровли камер ориентирована параллельно залеганию пластов пород, напряженное состояние кровли камеры упрощенно представляет собою изгиб породной плиты, защемленной над целиками и нагруженной собственным весом и частью веса налегающих пород (рис.7). Устойчивость такой плиты зависит главным образом от предела прочности породы при изгибе. Однако, механизм этого изгиба находится также

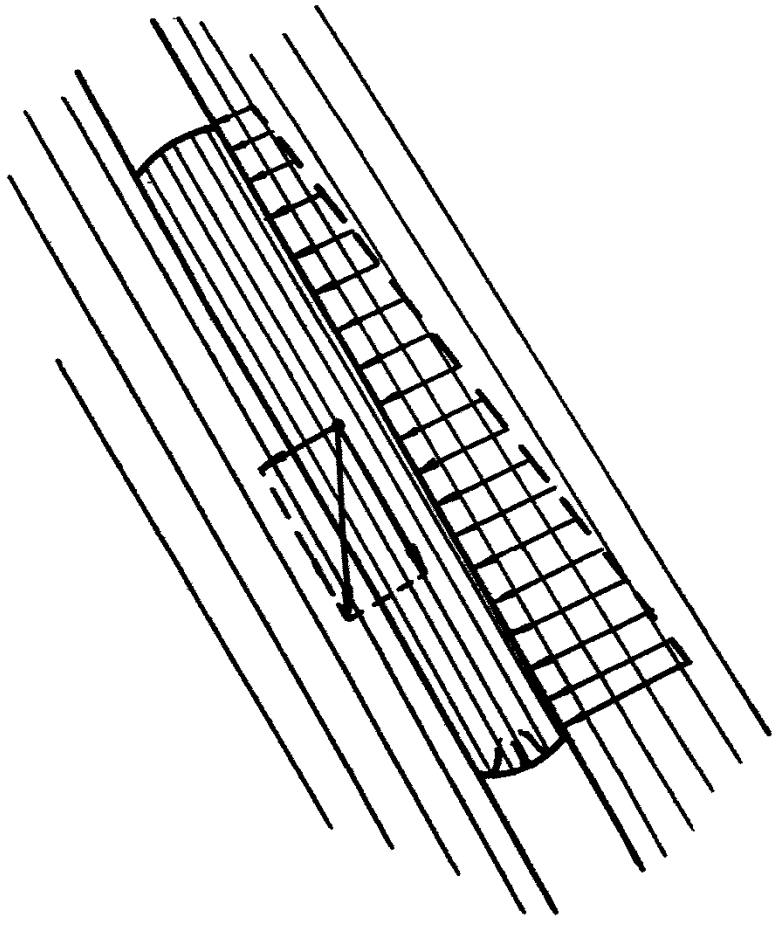


Рис. 6.

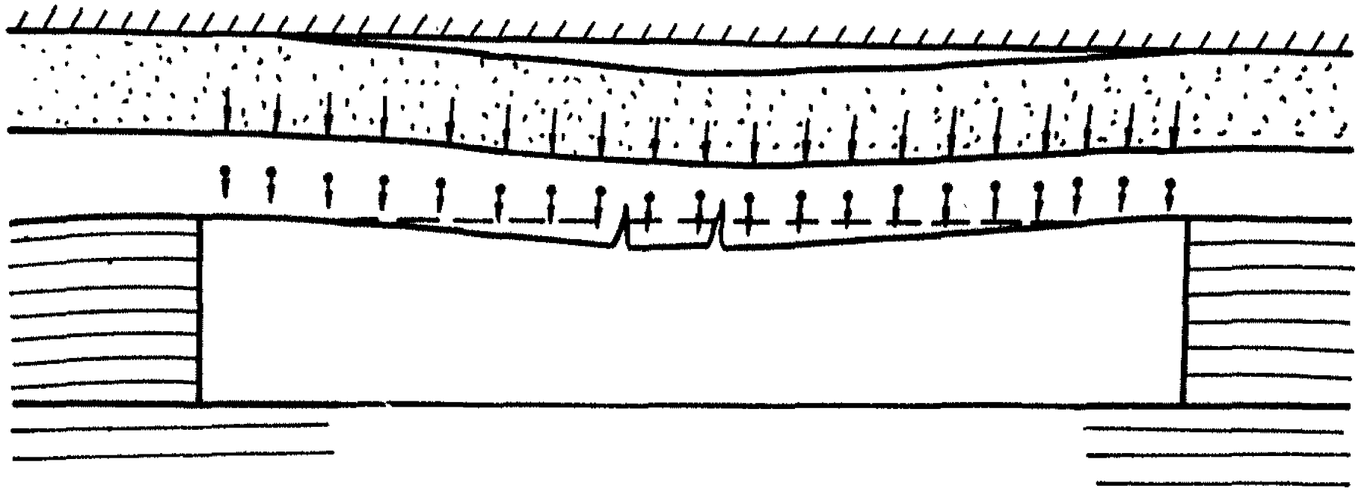


Рис. 7.

в существенной зависимости от толщины и упругости породных слоев, слагающих кровлю и от характера механической связи по контактам этих слоев. Маломощные и легко деформируемые слои со слабой взаимной связью легко прогибаясь ложаться на слой непосредственной кровли или на потолочину, полностью или частично пригружая ее своим весом и весом налегающих на них слоев. Мощные же и крепкие слои над этим слоем ("породы-мосты"), прогибаясь меньше его, не сообщают ему своего веса и не передают веса налегающих на них пород. Механическое сцепление по контакту слоя непосредственной кровли (потолочины) с вышележащими мощными слоями может разгрузить его даже от части собственного веса. Механизм этого сложного взаимодействия прогибающихся над камерой слоев обусловлен упругими свойствами слагающих эти слои пород.

Сыпучие и сильно нарушенные породы, с незначительными коэффициентами сцепления, залегающие выше слоя непосредственной кровли (потолочины), почти полностью передают ему свой вес в пределах контура камеры (в плане). Что касается слоев пластических пород, покрывающих непосредственную кровлю (потолочину), то возможность их выдавливания опорным давлением целиков (обусловленная пределом текучести и показателями бокового распора) создают особо тяжелые условия гидростатической пригрузки на непосредственную кровлю (потолочину), на которую в этом случае, независимо от наличия в кровельной толще "пород-мостов", может передаваться нормальное давление (рис.8), приближающееся по величине к давлению в нетронутом массиве до проведения в нем горных выработок.

Характер изгиба кровли над камерой, при более детальном рассмотрении, осложняется следующими факторами:

Рис. 8.

а) наличием перерезывающих кровлю напряжений, обычно возникающих при изгибе (рис.9),

б) податливым характером защемления над опорами кровли - целиками вблизи контура целиков (рис.10);

в) дополнительным изгибом кровли, вызванным неодинаковой осадкой опорных целиков (особенно - высоких) при неравномерности размещения целиков по площади очистного пространства;

г) дополнительными касательными нагрузками на слои кровли, приложенными по ее периметру и вызванными механической связью (сцеплением и трением) кровли с расплющиваемыми целиками (рис.11);

д) действием дополнительных тангенциальных компонент веса слоев кровли при наклонном залегании, растягивающих кровлю у одного ее края и сжимающих ее у другого края (рис.12).

Влияние указанных факторов на устойчивость кровли камеры зависит главным образом от упругих свойств пород, слагающих ее, а также и целики, а при наклонном и, особенно, крутом падении слоев - и от прочности их в условиях сложного напряженного состояния со сжимающими и растягивающими компонентами. В некоторых случаях излом кровли в результате ее прогиба приводит к образованию устойчивой арки, сложенной отломившимися блоками и распираемой их весом. Устойчивость этой арки зависит от прочности породы на сжатие в местах шарнирного упора блоков (рис.13).

3) Горное давление на крепь вертикальных шахтных стволов

С правильностью решения вопроса обеспечения длительной устойчивости шахтных стволов связано ограничение значительных расходов на их закрепление и эксплуатационных расходов, связанных с затруднениями работы горного предприятия в периоды ремонта шахтных стволов.

Геомеханические условия поддержания стволов существенно

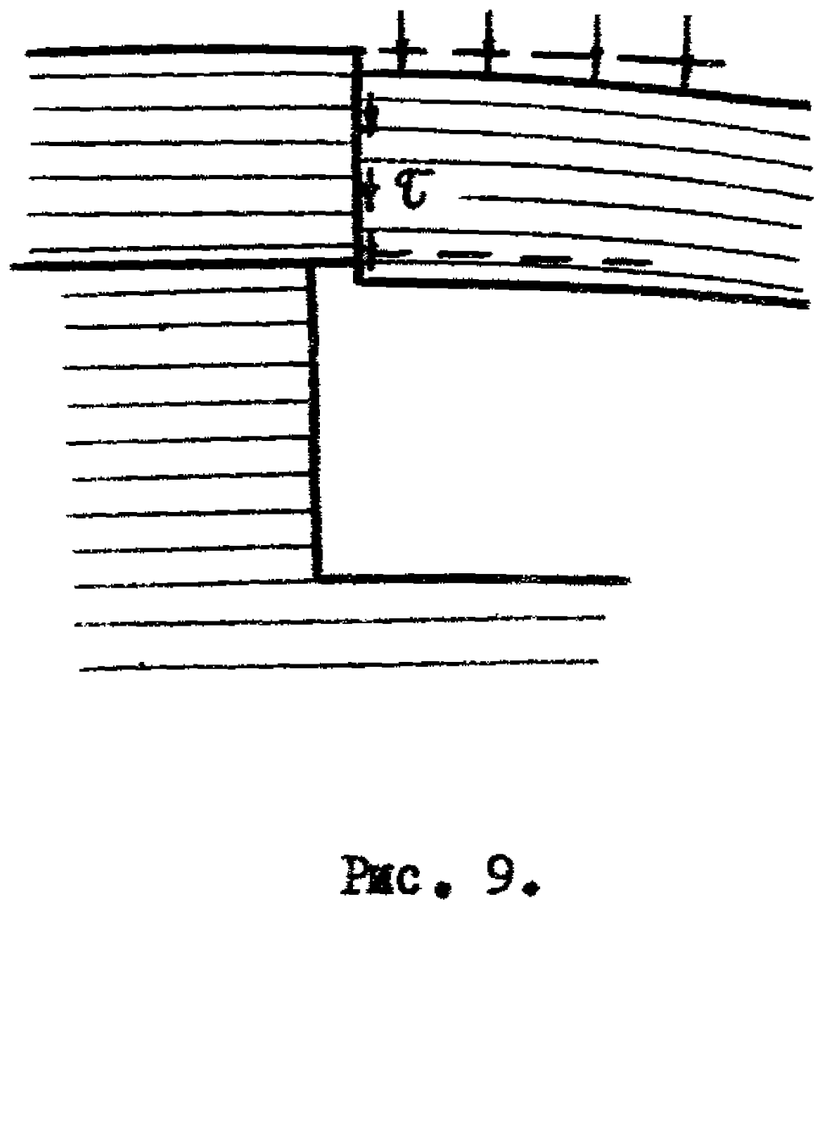


Рис. 9.

Рис. 10.

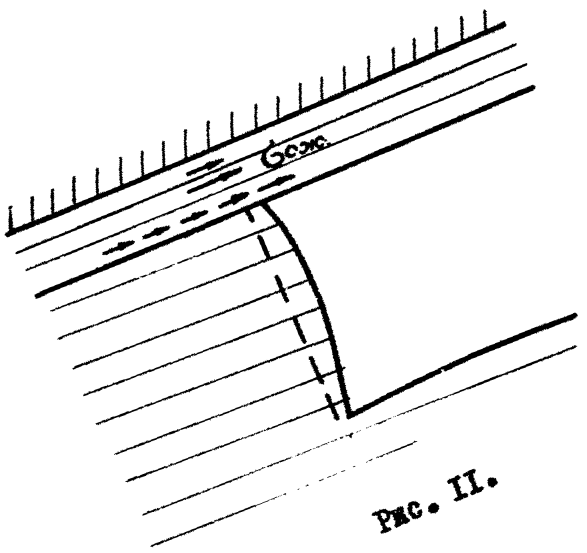


FIG. II.

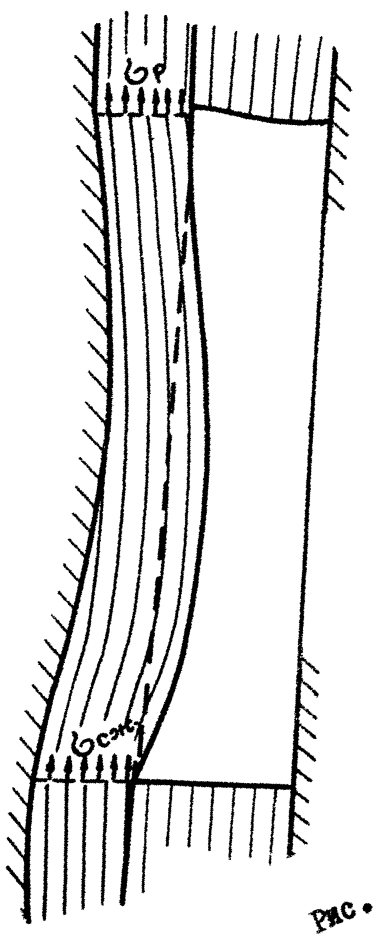


FIG. I2.

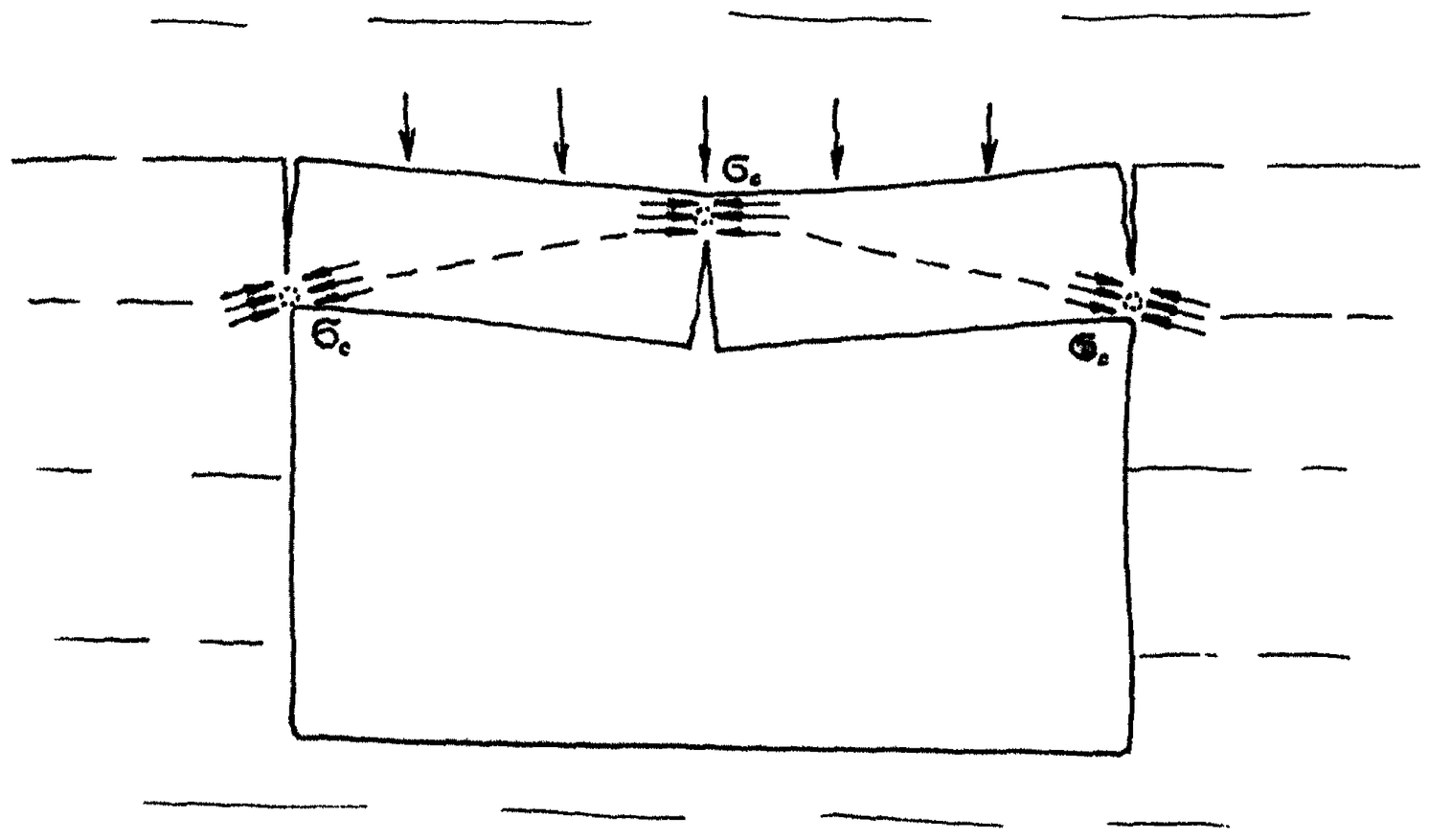


Рис. 18.

различаются на различных глубинах от дневной поверхности, а также в зависимости от типа вмещающих ствол пород. Имеет значение также угол падения слоев породы, способ и порядок проходки, наличие и тип крепи или способ охраны ствола и его параметры.

Напряженное состояние породы в стенках шахтного ствола, в случае пологого залегания слоев, характеризуется трехосным сжатием. Компоненты этого напряженного состояния, при упрощенном рассмотрении, представляют собой (рис.I4):

а) вертикальная компонента - равная весу массива пород до поверхности и на каждой данной глубине залегания одинаковая, независимо от показателей свойств слоя и от расстояния до обнаженной поверхности ствола;

б) тангенциальная компонента - максимальная у обнажения, могущая зависеть или не зависеть от показателей свойств слоя, и снижающаяся с удалением в массив до величины, отвечающей горизонтальному напряжению нетронутого массива пород до проходки ствола;

в) радиальная компонента - минимальная у обнажения и возрастающая с удалением в массив до величины, также равной горизонтальному напряжению нетронутого массива.

Соотношения величин компонент напряженного состояния породы обусловливают преобладающую возможность ее разрушения у обнаженной поверхности ствола, где разность величин максимальной и минимальной компонент больше, чем в массиве в удалении от этой поверхности.

При достаточно крепкой вмещающей породе, ее объемная прочность может оказаться достаточной даже при наибольшей разности

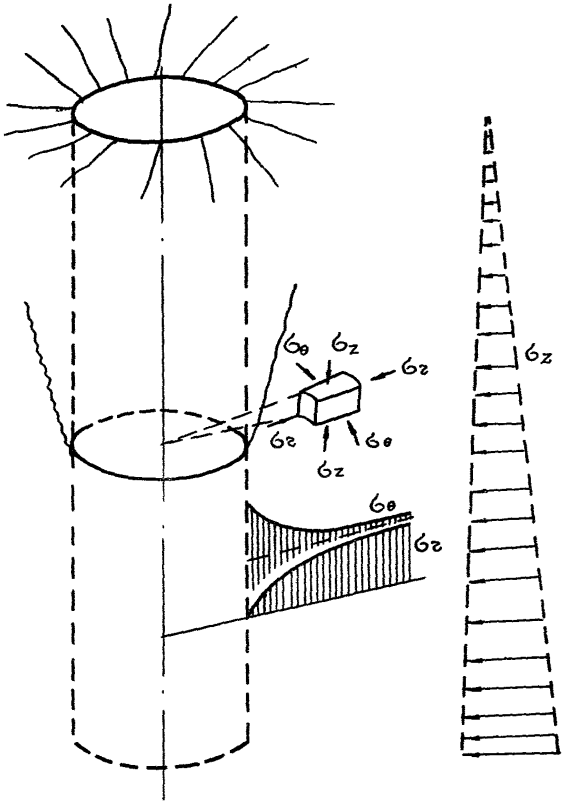

σ_θ
σ_z
σ_z
σ_z
σ_θ
σ_z
σ_θ
σ_z
σ_z

Рис. I4.

величин максимальной и минимальной компонент напряжения, что имеет место на обнажении незакрепленного ствола (радиальная компонента на обнажении равна нулю).

Проходка ствола на достаточно больших глубинах или в менее крепких породах, включая породы трещиноватые, пластичные и сыпучие, может явиться причиной превышения действующих напряжений по сравнению с прочностью породной стены незакрепленного ствола. При этом должно произойти разрушение и вероятны вывалы породы. В таком случае сооружение крепи обеспечивает реактивное давление крепи на обнаженную породу, благодаря чему радиальная компонента напряжения на обнажении оказывается отличной от нуля, несущая способность породы повышается и разрушение ее предотвращается (или прекращается, если оно началось). Однако радиальная компонента на контакте породы с крепью ствола нагружает также и крепь, которая должна быть поэтому рассчитана на эту величину горного давления.

В общем случае то же относится и к величинам касательных составляющих нагрузок на крепь, в том числе - к вертикальной касательной компоненте нагрузок.

Из изложенного видно, что если в случаях закрепленных стволов их устойчивость обусловливается объемной прочностью проходимых пород на сжатие, то при незакрепленных стволах соответствующее значение имеет предел прочности пород при одноосном сжатии.

Величина давления на крепь ствола (радиальная и касательная компоненты напряжения породы на контакте с крепью) зависит от механизма распределения напряжений и деформаций во вмещающем массиве и, в частности, от типа и деформативных свойств пород.

При крепких упругих породах распределение напряжений массива около ствола зависит от упругих свойств породы – модуля упругости и коэффициента Пуассона; при пластичных породах – от реологических показателей – коэффициента вязкости, предела текучести, коэффициентов бокового распора; при сыпучих породах – от коэффициентов сцепления и внутреннего трения.

Распределение напряжений в упругом массиве около ствола определяется упругими деформациями смещения стенок ствола в направлении к его оси и противодействием крепи этому смещению, если крепь установлена до исчерпания этих смещений.

Давление на крепь ствола со стороны рыхлых пород вызывается предельным равновесием этих пород у ствола, когда собственный вес части массива, достигшей предельного равновесия, и пригрузка на нее со стороны налегающих пород или поверхностных сооружений уравновешиваются сцеплением и внутренним трением вмещающей ствол по поверхностям скольжения, а также реакцией крепи.

Деформации пластичных пород около шахтного ствола характеризуются пластическим выпиранием породы в направлении выработки под действием сплющивающего веса покрывающего массива. Крепь, препятствующая этому выдавливанию, воспринимает реактивное давление бокового распора, величина которого зависит от активной сплющивающей нагрузки и от величины деформации выдавливания, отвечающей податливости крепи ствола, а также от показателей бокового распора породы. В случае, если реологическая характеристика породы включает в себя ее текучесть, давление на крепь ствола может в этой породе достигнуть величины веса массива по-

род до поверхности. Ограничение же текучести породы наличием у нее предела текучести, соответственно может снизить это давление.

Склонность некоторых глинистых пород к набуханию при поглощении воды может явиться (в случаях, если оно превосходит давление скелета породы) дополнительным источником давления на крепь выработки.

Анизотропия горных пород вносит осложнение в механизм взаимодействия пород, окружающих шахтные стволы, и крепи последних, так как показатели прочностных и деформативных свойств пород при этом осложняются соответствующими условиями ориентировки пород относительно ствола. При крутом падении результатом такой анизотропии, а также ориентировки ослабляющих массив расслоений, могут явиться даже растягивающие напряжения в стенках ствола и резкая ассиметрия смещений и давлений на крепь ствола.

Механизм формирования напряженного и деформированного состояния пород, по которым проходится ствол, и характер этого состояния в различные моменты его формирования осложняются также обстоятельствами, связанными с порядком проходки и закрепления ствола. Упругое смещение или пластическое выдавливание породы в выработку, перераспределяющее естественные напряжения нетронутого массива пород в результате проходки по ним ствола, встречает вблизи забоя ствола сопротивление со стороны непройденной еще части массива, играющей как бы роль крепи. Поэтому это смещение, вблизи забоя невелико, увеличиваясь с удалением от забоя вверх по стволу (рис. I5). Достаточно высоко над забоем (на высоте, зависящей от деформативных свойств породы и, иногда, от скорости проходки ствола)

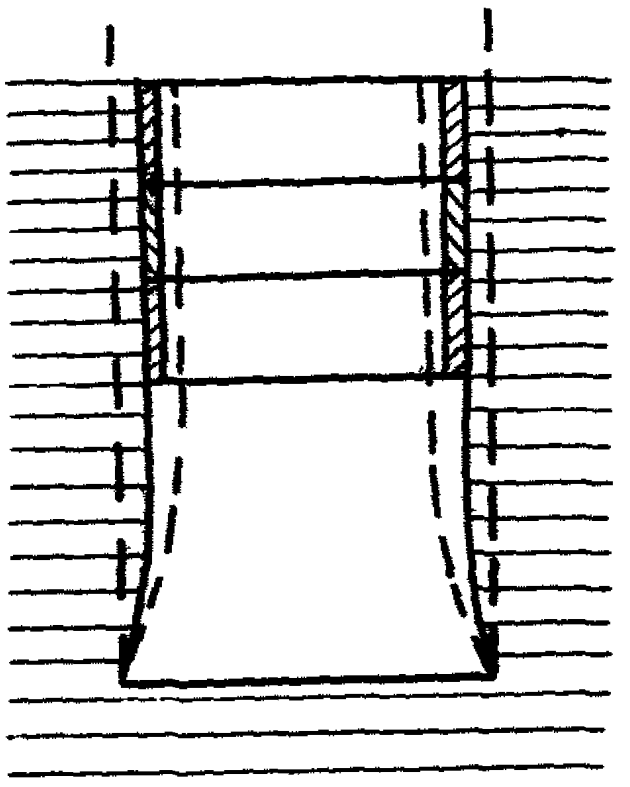


Рис. 15.

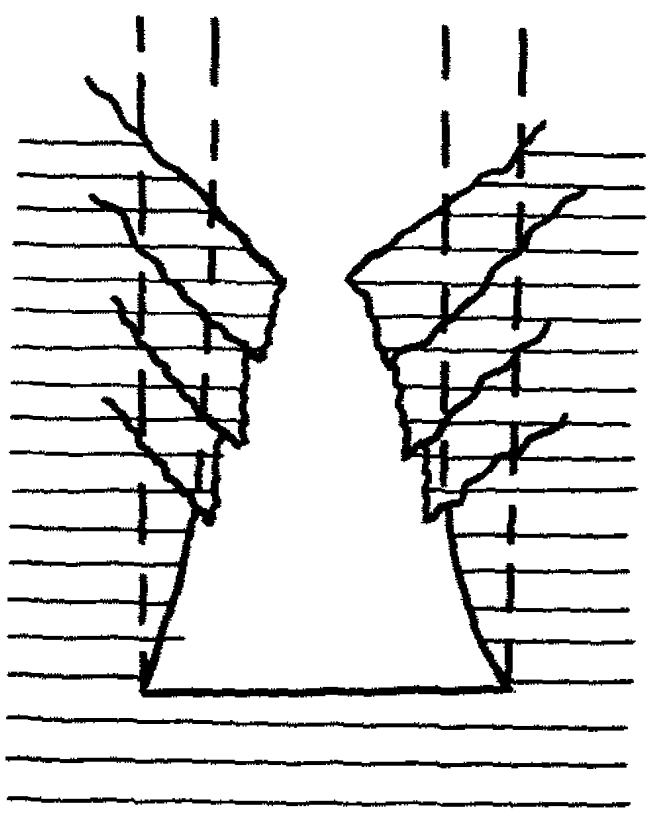


Рис. 16.

величины смещения принимают значения, уже не зависящие от указанного влияния забоя. Наличие этой зоны влияния забоя ствола, и высота этой зоны имеют существенное значение для эффективности закрепления ствола и давления на его крепь.

Значение этой зоны особенно очевидно, если на данной глубине прочность породы на одноосное сжатие не обеспечивает устойчивости стенок ствола в незакрепленном состоянии (рис.16). В этом случае установка крепи в стволе должна отставать от забоя настолько мало, чтобы введение ее в механическое взаимодействие со стенками ствола происходило на таком расстоянии от забоя, где смещения еще не достигают величины, обусловливающей потерю устойчивости стенок ствола.

Вместе с тем, определенное отставание крепления от забоя выгодно, так как уменьшает нагруженность крепи вследствие реализации части смещений еще до возникновения взаимодействия крепи с породными стенками.

4) Устойчивость подготовительных выработок

Обеспечение устойчивости подготовительных выработок, путем соответствующего выбора места их расположения, размеров, способа и порядка закрепления, связано с расходами, существенно влияющими на себестоимость добываемого шахтой полезного ископаемого.

Условия устойчивости горизонтальных подготовительных (а также и капитальных) выработок, расположенных на достаточном удалении от очистных работ, имеют много общего с рассмотренными выше условиями устойчивости шахтных стволов. В обоих случаях налицо:

а) протяженность выработки при сравнительно малом поперечном сечении;

б) примерно одинаковый порядок соотношения габаритных размеров сечения выработки;

в) трехосно-сжатое напряженное состояние массива пород до проходки в нем выработки;

г) в какой-то мере аналогичная последовательность работ по проходке и закреплению выработки.

В этих условиях устойчивость выработки и давление на ее крепь, как показано для стволов, зависят от смещения пород в выработку вслед за ее проходкой, причем эти смещения обусловлены типом и деформативными свойствами пород, а также наличием, конструкцией и порядком возведения крепи.

Существенными особенностями условий устойчивости горизонтальных подготовительных выработок, по сравнению с вертикальными стволами, являются следующие.

а) Перпендикулярное расположение выработок относительно направления веса массива пород обусловливает асимметрию напряженного состояния пород в стенках выработок, смещений этих стенок и давлений на крепь, в еще большей степени, чем даже асимметрия, отмеченная выше для стволов, пройденных по крутопадающим слоям пород.

б) Форма сечения подготовительных выработок большей частью применяется не круглая, а четырехугольная или сводообразная. Лишь для капитальных горизонтальных выработок иногда применяются и круглое, а также эллиптическое, сечения.

в) Подготовительные выработки большей частью имеют сравнительно небольшой срок службы, что отражается на соответствующем понижении требований надежности обеспечения их устойчивости.

г) Подготовительные выработки, в отличие от шахтных стволов, крепятся большей частью не сплошной крепью и часто не по всему контуру сечения выработки. Последнее вызвано указанной выше асимметрией условий устойчивости, напряжений и давлений по контуру сечения выработки.

Одно из существенных выражений асимметрии механизма горного давления и сдвижения по контуру сечения подготовительной выработки заключается в зависании слоев кровли. При залегании в непосредственной кровле выработки тонких и малопрочных породных слоев налицо возможность их прогиба и обрушения под нагрузкой собственного веса. При этом, конечно, проявляется свойство прочности на изгиб породы, слагающей кровлю выработки.

Устойчивость кровли подготовительных выработок в значительной мере зависит также и от наличия и ориентировки в слагающих породах трещин. При этом даже у мощных и крепких слоев кровли подготовительных выработок может возникнуть опасность обрушения в результате среза породы по этим ослаблениям,

Проявления изгиба кровли и опасность вывалов породы, по трещинам обусловливают соответствующую конструкцию поддерживающей кровлю крепи (верхняки с опорными стойками, металлические или бетонные арки и т.п.). Эта крепь рассчитывается таким образом чтобы часть изгибающей и срезающей кровлю нагрузки веса пород воспринималась крепью (рис.17), соответственно частично разгружая кровлю, несущую поэтому лишь часть указанной нагрузки, отвечающую

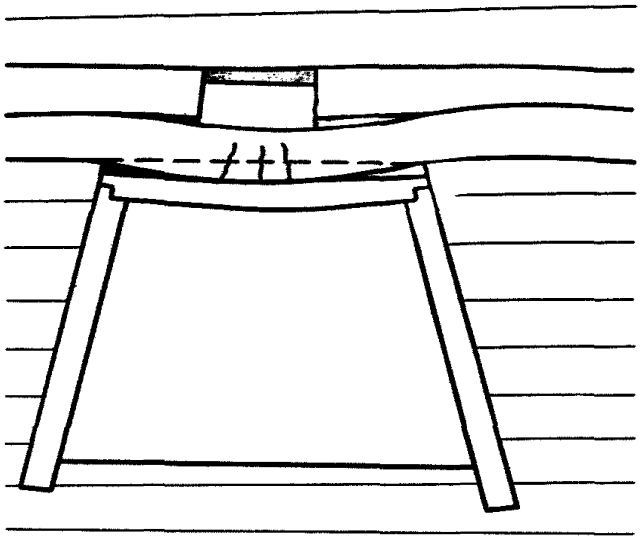


Рис. I7.

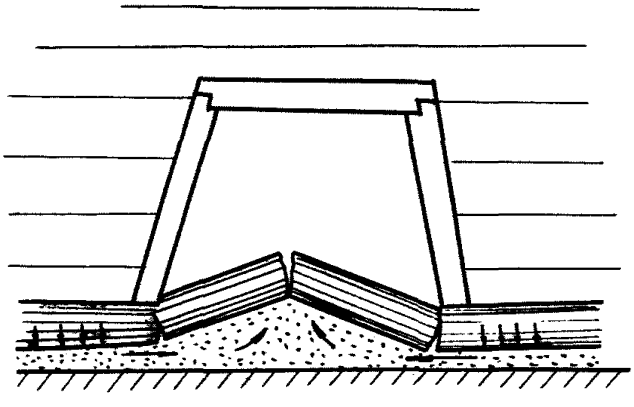


Рис. I8.

прочностным свойствам кровли. Большая или меньшая несущая способность кровли обусловливает, в частности, интервалы размещения комплектов крепи вдоль выработки. В наиболее тяжелых случаях залегания в кровле выработки малоустойчивых пород (в особенности - рыхлых), практически не обладающих прочностью на изгиб, возникает необходимость в сплошном закреплении кровельного обнажения затяжкой.

Процессы горного давления со стороны подошвы горизонтальной или полого пройденной выработки обычно гораздо менее интенсивны, чем со стороны кровли и для эксплуатации выработки эти процессы не столь опасны; поэтому нередко они не имеют существенного значения для строительства и эксплуатации выработки. Процессы эти проявляются в некотором смещении породы подошвы выработки внутрь выработки под действием напряженного состояния трехосно-сжатого массива горных пород, как это выше описано для вертикальных шахтных стволов, но при противодействующем влиянии собственного веса пород подошвы выработки. Другим специфическим обстоятельством для подошвы горизонтальных выработок является то, что даже значительное выпирание и разрушение породы подошвы выработок, конечно, не сопровождается вывалами или обрушениями.

В результате противодействующего влияния собственного веса пород подошвы выработки, значительное выпирание (пучение) или даже разрушение подошвы выработки происходит не во всех случаях. Пучение подошвы выработок обычно имеет место:

а) при залегании в подошве пород со значительными пластическими свойствами или сильно разбухающих глинистых пород (рис.I8);

б) при больших глубинах заложения выработки, где пучение проявляют иногда даже породы, не пучащие на меньших глубинах. Значение пучения подошвы при строительстве и эксплуатации подготовительных выработок состоит в том, что при пучении ухудшается проходимость выработок для шахтного транспорта, а разлом обнаженной породы в подошве выработки под давлением пучащей пластической породы, кроме того, может существенно повлиять на водопритоки в выработку. В целях противодействия вредному проявлению пучения подошвы выработок применяются, в частности, специальные конструкции крепления выработок.

Возможность и интенсивность пучения подошвы выработок зависят от пластических свойств пород подошвы (показатели бокового распора, реологическая характеристика).

В некоторых случаях, кроме поддержания кровли и борьбы с пучением подошвы, приходится проводить специальные мероприятия по обеспечению устойчивости боков выработок. Обычно необходимость в этом возникает при пластическом характере пород, образующих эти бока; в этом случае механизм их смещений и давлений на крепь в какой то мере подобен механизму пучения подошвы выработки.

Из изложенного видно, что при проведении подготовительной выработки по слоистой пачке разнородных пород очень важно размещение выработки (особенно - ее кровли) в наиболее крепких породах, разумеется, не в ущерб назначению выработки. При этом может быть обеспечен минимальный расход средств на крепление и поддержание выработки.

Выбор способов крепления и конструкции крепи подготовительных выработок производится с учетом ограниченных сроков эксплуа-

тации этих выработок, по истечении которых выработки не нуждаются в поддержании. Поэтому иногда допускается эксплуатация подготовительных выработок при одновременно развивающихся процессах деформирования и смещения контура выработки и ее крепи в расчете, что срок эксплуатации выработки истечет ранее, чем эти смещения и повреждения крепи достигнут недопустимых величин. В других случаях крепление выработки предусматривает периодическое проведение, в пределах срока ее эксплуатации, ремонтных работ: поддирку подошвы и боков для компенсации их пластического выдавливания, замену деформированных и поврежденных несущих элементов крепи с разгрузкой и повторным введением крепи в работу.

При закреплении подготовительных выработок, на характер и интенсивность проявления горного давления можно существенно повлиять применением податливой крепи и выбором целесообразной степени ее податливости. Податливая крепь с нарастающим сопротивлением допускает ограниченное смещение породы закрепляемого обнажения внутрь выработки, причем с величиной этого смещения связано прямой зависимостью реактивное усилие сопротивления крепи этому смещению. Одновременно с ростом сопротивления крепи, при смещении породы изменяется и напряженное состояние последней; таким образом крепь и массив породы взаимодействуют как взаимно-связанные элементы механической системы „крепь-порода". Работа этой системы зависит, помимо механической характеристики крепи, от деформативных свойств пород: от упругости для крепких пород, от коэффициентов бокового распора - для пластичных. При проявлениях текучести пород податливость крепи тесно связана со сроками необходимого проведения ремонтного перекрепления выработки.

Роль забоя подготовительной выработки и значение последовательности во времени операций ее проходки и закрепления, в основном таковы же, что и в случаях вертикальных шахтных стволов с дополнительными особенностями, вызванными применением податливых крепей. Забой подготовительной выработки оказывает подкрепляющее влияние на призабойную часть выработки, сопротивляясь свободному смещению породы в выработку и снижая величину этого смещения, как со стороны пучащей подошвы и боков, так и со стороны прогибающейся кровли. Величина этих смещений зависит:

а) для прогибающихся крепких слоев кровли - от упругих свойств слагающих кровлю пород;

б) для пучащих пород подошвы и боков - от реологических свойств пород подошвы и боков выработки.

Подкрепляющее влияние забоя подготовительной выработки позволяет осуществлять некоторое отставание крепления выработки от ее проходки, что выгодно как с точки зрения организации проходческих работ, так и вследствие обеспечения минимальных нагрузок на крепь.

В незакрепленной части подготовительной выработки напряженное состояние обнаженных пород изменяется с удалением от забоя в направлении снижения запаса устойчивости породы. Смещения обнаженных пород при этом возрастают и на некотором расстоянии от забоя могут достигнуть величин, при которых устойчивость выработки нарушается: кровля обламывается, бока отслаиваются и осыпаются, а поднятие подошвы достигает недопустимой величины. Для предотвращения этих нежелательных сдвижений отставание крепи от забоя не должно достигать расстояния, при котором устойчивость некрепленной выработки исчерпывается. При этом необходимо учитывать некоторое раз-

витие смещений пород уже после закрепления выработки - в пределах податливости крепи.

5) Опорное давление

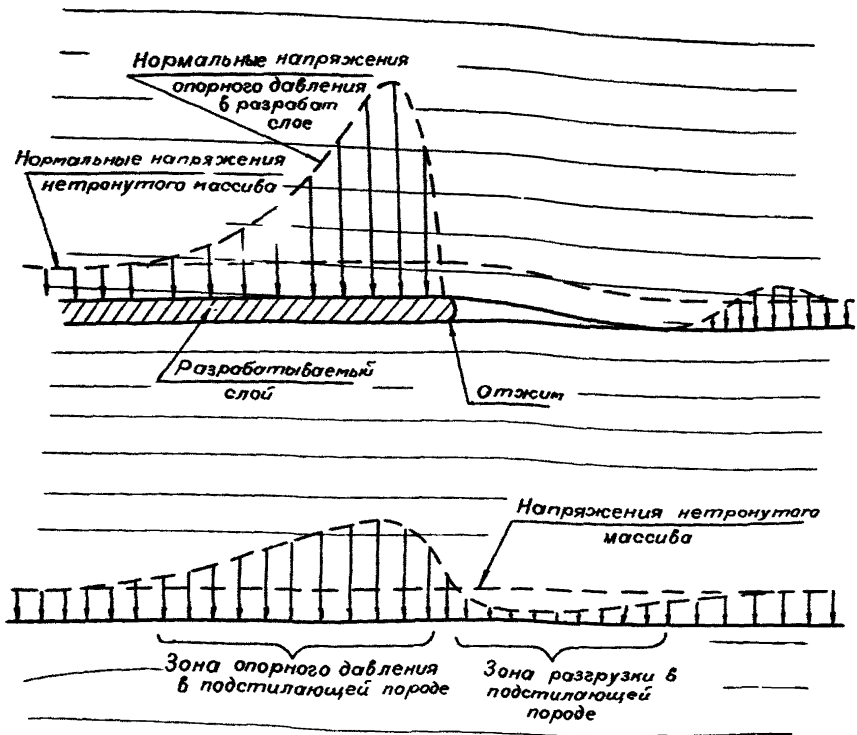
Источниками естественного напряженного состояния горных пород, до проходки в них горных выработок, являются их вес, вес покрывающих пород и, иногда, гидростатические напоры подземных вод. В некоторых случаях, кроме того, предполагается возможность наличия дополнительных напряжений, обусловленных тектоникой и происхождением массива пород, например - вызванных складкообразованием, тектоническими разрывами, надвигами и т.п.

Напряженное состояние горных пород до проходки в них горных выработок представляет собою трехосное сжатие с неравными компонентами, количественное соотношение которых зависит от деформативных свойств бокового распора этих пород. Так например, в упругих породах боковой распор зависит от показателей их упругости: модуля упругости и коэффициента Пуассона; в сыпучих породах боковой распор определяется величиной коэффициента внутреннего трения; в текучих породах, не имеющих предела текучести, вес массива передается по всем направлениям гидростатически. В горных породах с одновременным наличием свойств упругости, пластичности и сыпучести в формировании бокового распора участвуют все указанные свойства. Следует отметить, что соотношение компонент напряженного состояния "нетронутого" массива пород до настоящего времени экспериментально почти не изучено. Не измерялись и указанные выше напряжения от "тектонических" пригрузок.

Проходка горной выработки в массиве пород, как выше показано, изменяет напряженное состояние этого массива, снижая величины нормальных к поверхности обнажения компонент напряжения и повышая величины тангенциальных компонент. Около очистных выработок, имеющих значительные размеры, такие изменения первоначального напряженного состояния особенно велики, составляя сущность явлений опорного давления части вмещающего выработку массива и разгрузки другой его части.

Опорное давление очистной выработки по пластообразному телу или слою представляют собою повышенные нормальные к слою сжимающие напряжения в неизвлеченной его части вблизи контура очистной выработки в плане, а также соответствующие напряжения в породах, покрывающих и подстилающих эту часть слоя (рис.19) Деформации извлекаемого пласта (слоя) в зоне опорного давления представляют собою его выдавливание в очистную выработку: сжатие слоя (пласта) по нормали и растяжение вдоль слоя в направлении от массива к обнажению. Эти деформации относительно малы в глубине массива и возрастают по величине с приближением к обнажению, достигая иногда величин, обусловливающих отжим пласта, то есть раздавливанние призабойной части пласта. Отжим проявляется особенно интенсивно при очистной внемки пласта механически непрочного полезного ископаемого (например, слабых разновидностей каменного угля) на большой глубине разработки.

Интенсивность проявления опорного давления существенно зависит от угла падения вынимаемого слоя (пласта), так как для наклонных и, особенно, для полого расположенных очистных выработок на-



Разрез по нормали к вынимаемому слою

Рис. 19.

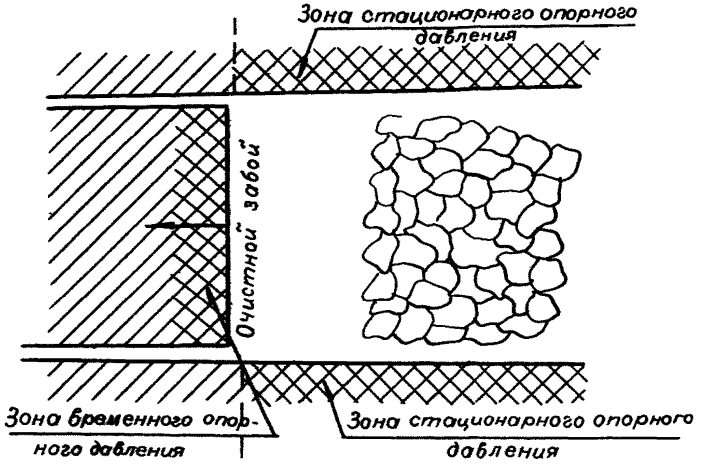
грузка, являющаяся источником напряженного состояния зоны опорного давления и обусловленная соответствующей составляющей всей зависающей кровли выработки, зависит от угла падения выработки или, если выработка ведется по пласту - от угла падения пласта.

Напряженное и деформированное состояние опорной зоны вблизи краев очистной выработки имеет место не только в разрабатываемом пласте (слое), но и в подстилающих и покрывающих этот пласт породах, простираясь в них в направлении, нормальном к плоскости разрабатываемого пласта и образуя, таким образом, у контура очистной выработки зону опорного давления, протяженную как по пласту - со снижением опорных пригрузок с удалением от обнажения, так и по нормали к напластованию - тоже со снижением опорных пригрузок с удалением от плоскости вынимаемого пласта как в направлении покрывающих пород, так и в направлении пород подстилающих.

Для управления горным давлением в зонах опорного давления большое значение имеет то, что при очистной выемке ископаемого и продвигании очистного забоя, возникает два вида зон опорного давления (рис.20):

а) стационарное опорное давление, возникающее в породах массива у бортов очистной выработки при прохождении очистного забоя и частично сохраняющееся после ухода этого забоя, вследствие остающегося зависания кровли очистной выработки у ее бортов над выработанным пространством;

б) временное опорное давление в породах массива впереди фронта очистного забоя, движущееся вместе с этим забоем таким образом, что, с приближением очистного забоя к какой-нибудь точке массива пород, напряжения опорного давления в этой точке возникают, разви-



Разрез по вынимаемому слою (план)

Рис. 20.

ваются и, с проходом забоя, исчезают или снижаются.

При ведении горных работ весьма большое значение имеют особенности условий устойчивости подготовительных выработок, проходимых в зонах опорного давления или оказывающихся в этих зонах при приближении очистных выработок.

Прохождение подготовительной выработки по массиву вблизи борта очистной выработки в зоне ее стационарного опорного давления происходит, таким образом, в условиях соответственно более высокого исходного напряженного состояния пород, чем при прохождении изолированной подготовительной выработки по нетронутому массиву. В остальном характер развития деформаций, сдвижений и давлений пород при проходке, креплении и последующем поддержании подготовительной выработки качественно остается таким же, как это описано выше, приобретая лишь соответственно большую интенсивность, вследствие наложения на напряженное состояние пород вокруг изолированной выработки добавочных напряжений стационарного опорного давления массива. Разумеется, эти условия поддержания подготовительной выработки более тяжелы, чем в случае изолированной выработки: больше возможность образования вывалов и обрушений кровли, сложенной трещиноватыми и сыпучими, а иногда и крепкими породами, больше скорости пучения подошвы и боков, сложенных пластичными породами; в результате может потребоваться более прочная крепь или крепь с большей податливостью, малые отставания крепления от забоя при проходке и более частые ремонты выработки.

В случае, если к существующей подготовительной выработке приближается фронтом забой очистной выработки (по пласту, вмещаю-

щему, подрабатывающему, или же надрабатывающему эту подготовительную выработку), выработка на время продвижения очистного забоя оказывается в зоне временного опорного давления. В этот период времени на напряженное состояние изолированной подготовительной выработки дополнительно накладывается изменяющаяся во времени и передвигающаяся в пространстве волна напряженного состояния. В результате выработка, устойчивость которой была обеспечена соответствующим порядком ее проходки и крепления, испытывает на некоторый период времени добавочное воздействие опорного давления, причем вмещающие выработку породы нагружаются добавочными напряжениями, вызывающими временное усиление процессов пучения, добавочное давление на крепь, а иногда и разрушение крепи, образование вывалов кровли и резкое нарушение проходимости выработки. При этом может оказаться необходимым проведение текущих ремонтов выработки, имеющих целью сохранение ее в состоянии пригодном для последующего восстановления. Интенсивные деформации, давления и разрушения развиваются в выработке вплоть до ухода очистного забоя, на достаточное расстояние, после чего дальнейшие разрушения прекращаются, а интенсивность пучения пластичных пород уменьшается. К этому моменту целесообразнее всего приурочивать восстановительный ремонт выработки: уборку вывалов и выдавленной породы, заполнение пустот, оставшихся после вывалов, замену поврежденных элементов крепи.

В зависимости от ориентировки линии забоя очистной выработки относительно оси подготовительной, последняя либо испытывает прохождение волны опорного давления одновременно на всем своем

протяжении, либо эта волна перемещается вдоль выработки.

Нарушение целостности массива пород в результате прохождения волны опорного давления может явиться причиной несколько меньшей, по сравнению с первоначальной, устойчивости подготовительной выработки, даже после полного прекращения действия опорного давления и ухода очистного забоя от места расположения выработки. Это нарушение целостности пород, в частности, используется как средство защиты выработки от опасности возникновения горных ударов.

Отличный от описанного случай влияния опорного давления очистной выработки имеет место, когда после прохода очистного забоя подготовительная выработка остается в зоне стационарного опорного давления борта очистной выработки. Напряжения и деформации в зоне этого стационарного опорного давления, накладываясь при подходе очистного забоя на собственные напряжения и деформации изолированной подготовительной выработки, в дальнейшем сохраняются. Это обстоятельство особенно важно при заложении подготовительной выработки в пластичных породах, интенсивное пучение которых, возникшее при подходе очистного забоя, остается таким же интенсивным и при уходе последнего. В результате, в таких случаях нередко выработка, ранее устойчивая, нуждается уже не в однократном восстановительном ремонте, а в систематически проводимых поддирках подошвы, уборках выпученной породы, ремонтах крепи и перестилках транспортных путей, если соответствующие меры охраны выработки не были приняты предварительно.

6) Сдвижение кровли очистных выработок и давление на их крепь

При разработках полезных ископаемых с применением систем, не предусматривающих постоянного поддержания очистных выработок (камер) или закладки выработанного пространства, управление кровлей осуществляется так, что поддерживается крепью лишь призабойная часть очистной выработки, остальная же ее часть, обычно значительная по размерам, по мере ухода очистного забоя ликвидируется путем полного или частичного обрушения или плавного опускания кровли. Способ управления кровлей существенно влияет на производительность горного предприятия и на полноту извлечения ископаемого, а расходы на управление кровлей и крепление составляют значительную часть себестоимости добычи полезного ископаемого.

Механизм обрушения или опускания кровли очистной выработки, различен в зависимости от следующих (в основном) факторов:

а) угла падения пород, извлекаемой мощности полезного ископаемого, ориентировки и длины очистного забоя;

б) стратиграфического сложения покрывающего выработку массива пород, мощности, строения и механических свойств слоев, слагающих кровлю выработки;

в) способа крепления, порядка установки и уборки крепи призабойной части выработки и ее передвижения, в случаях, когда это предусмотрено; механических характеристик крепи.

Например, при очистной выемке горизонтального или пологого залегающего пласта или слоя полезного ископаемого, покрываемого согласно залегающим слоистым массивом, нагрузка собственного (включая и

часть покрывающих пород) веса этого массива сообщается слоям кровли выработки, вызывая их изгиб. Напряжениям изгиба пород кровли сопутствуют также касательные напряжения в вертикальных сечениях, параллельных линии забоя выработки. При наклонном и крутом залегании, к этим напряжениям добавляются еще и нормальные напряжения, действующие вдоль слоев кровли по направлению ее падения; сжимающие в нижней части выработки и растягивающие – в верхней.

Наличие в породах кровли систем трещин предопределяет легкость скола или облома слоев кровли с образованием обрушающейся или оседающей системы породных блоков. В зависимости от мощности и угла падения извлекаемого слоя, а также слоистости, трещиноватости и порядка сочетания слоев кровли, обрушения может иметь следующий характер (рис.21):

а) Беспорядочное обрушение , когда один или несколько смежных маломощных и сильно-трещиноватых слоев, не подстилаемых более мощными, ненарушенными и крепкими слоями, обламываясь мелкими блоками оснимутся, беспорядочно падая на почву разрыхленной массой обломков. Беспорядочно-обрушаемая часть кровли (непосредственная кровля) всем своим весом полностью ложится на почву. В призабойном же пространстве крепь, препятствующая обрушению этих блоков разломившейся кровли, также воспринимает полный их вес, работая при этом по механической схеме "задаваемой нагрузки", не зависящей от податливости крепи.

Для поддержания призабойного пространства неблагоприятными являются следующие свойства пород непосредственной кровли: трещиноватость, расслоенность, особенно при общей значительной мощности, сыпучесть, малая прочность на срез и изгиб. При наиболее

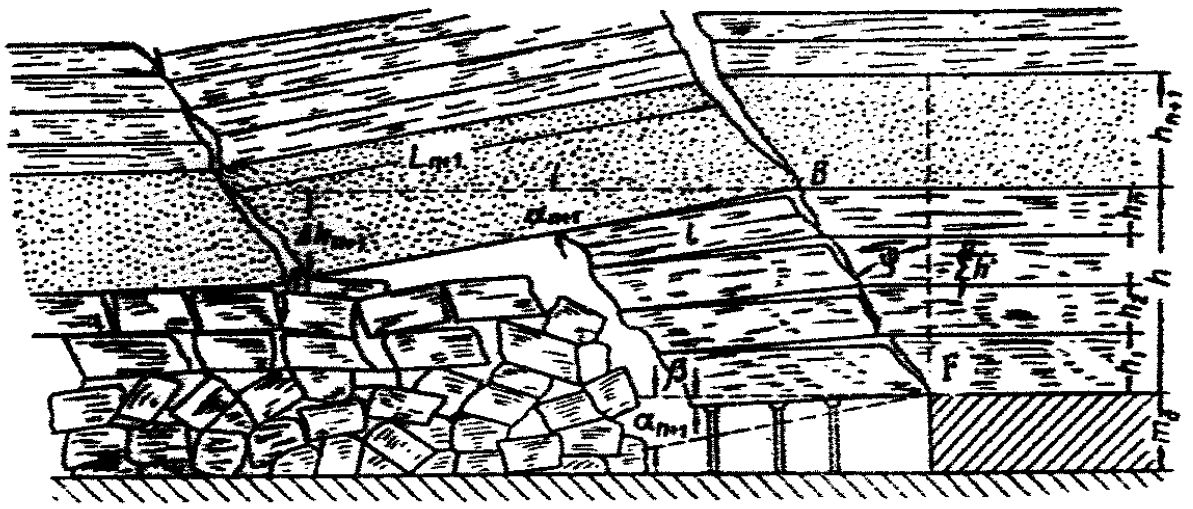


Рис. 21.

неблагоприятных значениях этих показателей кровля призабойного пространства обычно должна поддерживаться сплошной ограждающей крепью (безорганная посадка), а внемка ископаемого должна вестись узкозахватными средствами или с последующим немедленным закреплением.

б) Упорядоченное обрушение, когда мощный, по сравнению с извлекаемым слоем, прочный и мало-трещиноватый слой породы обламывается у забоя очистной выработки консолями, образуя крупные плиты, связь которых у места облома преобразуется в шарнирную: плита поворачивается, опираясь обломившимся краем в место облома и опускаясь противоположным краем до упора в почву, или на беспорядочно обрушенные слои непосредственной кровли. Таким образом "цепочка" последовательно обломившихся плит упорядочно-обрушающегося слоя (основная кровля), опускается на почву или на обрушенные слои непосредственной кровли, не теряя взаимной ориентировки и механической связи друг с другом. Маломощные, непрочные и сильно-трещиноватые слои, покрывающие упорядоченно-обрушающийся слой, участвуют в его упорядоченном опускании.

Вследствие большой мощности и размеров обламывающихся плит, вес упорядоченно-обрушающихся кровельных слоев (с добавлением веса покрывающих маломощных слоев, участвующих в упорядоченном обрушении) обычно оказывается настолько велик, что противодействие этому весу какой-либо крепью нецелесообразно. Поэтому наклон обломившихся у забоя блоков упорядоченно-обрушающейся кровли вызывает соответствующее сокращение по высоте призабойной крепи, работающей поэтому по механической схеме "задаваемой деформации", когда давление на крепь (и реакция крепи) зависит от степени ее податливости.

Для работы основной кровли весьма важна длина обламывающихся консолей - плит (шаг обрушения), определяющая соответствующую ширину призабойного пространства и соответствующую деформацию податливости крепи. Поэтому из механических свойств пород основной кровли важны: отсутствие расслоенности, редкая трещиноватость и высокая прочность на изгиб и срез.

При большой мощности и прочности основной кровли, однако, происходит значительное ее зависание, что связано с передачей больших нагрузок опорного давления на забой и борта очистной выработки. Если при этом извлекаемое полезное ископаемое, имеет малую прочность на сжатие, то возможен его отжим, иногда используемый для облегчения выемки ископаемого. При высокой же прочности и упругих свойствах полезного ископаемого, энергия его сжатия опорным давлением может явиться причиной внезапного и бурного раздавливания полезного ископаемого с возникновением опасных горных ударов.

Облом и обрушение консолей мощной и прочной основной кровли (посадка кровли) носят динамический характер и являются ответственной операцией управления кровлей. Призабойная часть выработки крепится на ширину несколько большую, чем это требует обеспечение рабочего пространства для выемки полезного ископаемого, а для проведения управляемой посадки кровли применяется специальная посадочная крепь.

Однако, большая мощность и высокая прочность на изгиб основной кровли очистной выработки при малой мощности слоя извлекаемого полезного ископаемого (или при крутом его падении)приводят к случаю когда прогибающаяся кровля ложится на почву (или на беспорядочно

обрушенную непосредственную кровлю) без облома плит. Такому плавному оседанию способствует также наличие у породы оседающего пласта кровли выраженных пластических свойств, а также крутое падение извлекаемого пласта (слоя). Из искусственных мероприятий, способствующих плавному оседанию кровли, следует упомянуть о применении специальной костровой крепи с весьма высокой податливостью.

Вместе с опусканием или обрушением кровли очистной выработки опускается и деформируется также весь массив покрывающих выработку пород вплоть до дневной поверхности, образуя значительную по размерам зону сдвижения пород. При этом, на достаточной высоте над упорядоченно-обрушающимися блоками основной кровли, углы взаимного поворота блоков уменьшаются, характер разломов становится менее четким; а обрушение менее бурным и оседание цепочкообразно связанных блоков сменяется плавным оседанием прогибающихся слоев.

Сдвижение подрабатываемого массива пород осложняет строительство и эксплуатацию различных расположенных или располагаемых в его зоне подземных выработок (очистных, подготовительных и капитальных), а также сооружений на земной поверхности.

Деформации земной поверхности, вызванные подработкой очистным забоем, сообщаются жестким конструкциям зданий, трубопроводов и других сооружений на этой поверхности, могут в различной степени повредить их, что связано с крупным материальным ущербом. При этом существенными в различных случаях являются различные проявления смещения земной поверхности. Опускания и наклоны дневной поверхности нарушают работу самотечных гидротехнических соо-

ружений (каналы, канализация); наклоны поверхности представляют опасность также для устойчивости заводских труб, водонапорных башен и высотных сооружений; растяжения и сжатия дневной поверхности могут явиться причиной разрушения всевозможных трубопроводов, а также зданий и иных инженерных сооружений, для которых вредны также и искривления дневной поверхности, вызванные сдвижением подрабатываемого массива.

Деформации массива горных пород над очистной выработкой, существенно влияющие на целость подрабатываемых сооружений, охватывают не только непосредственно-подработанную и оседающую на почву очистной выработки часть массива, но и зону влияния опорного давления, простирающуюся до дневной поверхности (рис.22), где это влияние проявляется в виде опускания (вследствие опорного сжатия массива), искривления, растяжения и сжатия дневной поверхности.

Границы зон вредного влияния подработки на сооружения на дневной поверхности зависят от мощности, глубины и падения извлекаемого пласта, от деформируемости массива пород и от повреждаемости подрабатываемых сооружений. При этом, в существующих правилах охраны сооружений от вредного действия подработки, деформируемость массива пород учитывается обычно отнесением этих правил к определенным геологическим районам страны, отличающимся приблизительно одинаковой деформируемостью подрабатываемого массива в целом (без уточнения деформируемости по отдельным слоям слагающим массив).

При очистной выемке ископаемого может оказаться, что в зоне подработки массива пород над очистной выработкой располагается

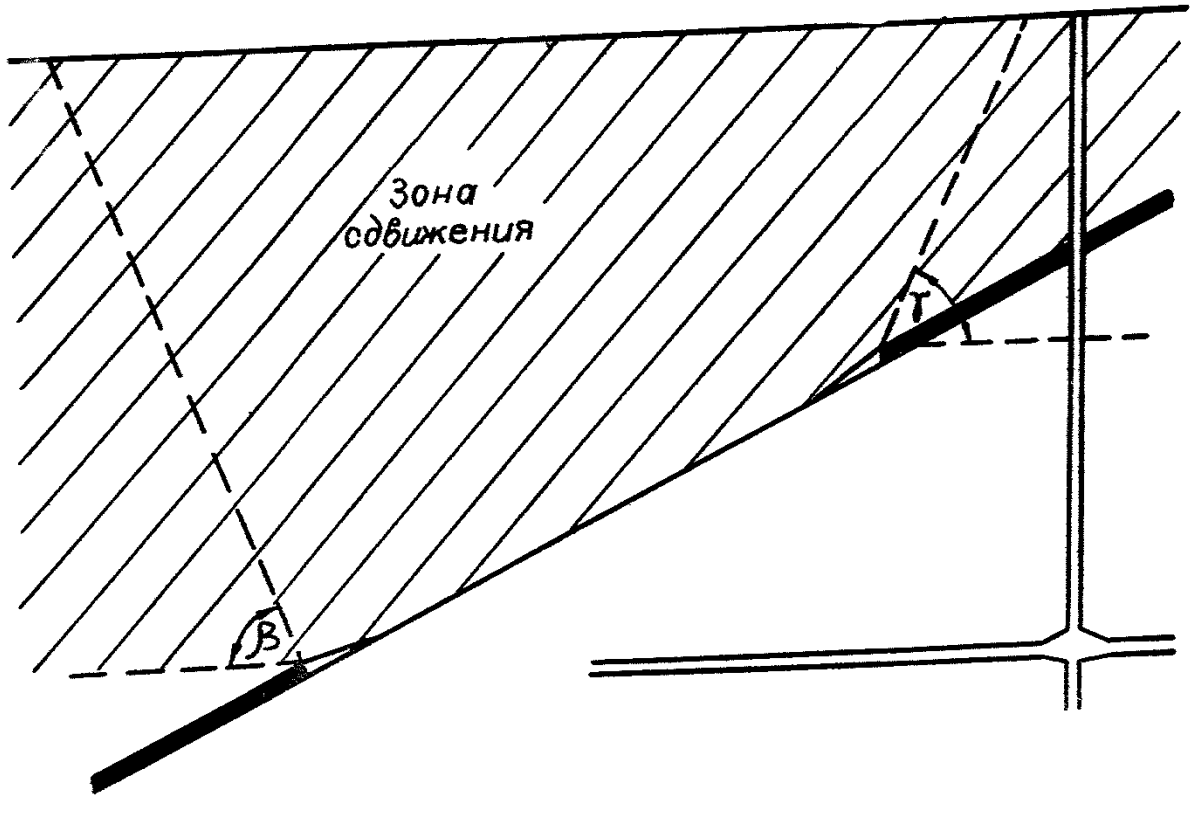


Рис. 22.

подготовительная выработка. При достаточной близости этой выработки к очистной, первая испытывает следующие вредные влияния:

а) Дополнительные снимающие напряжения массива пород в зоне опорного давления очистной выработки и вызванные этими напряжениями деформации и иногда разрушения породы и повреждения выработки, как это описано выше.

б) Искривление выработки вместе со слоями вмещающего ее массива при подходе зоны оседания пород над очистной выработкой. Это искривление может вызвать ряд повреждений крепи подготовительной выработки; поломку или выпадение рам, разлом и выколы жесткой бетонной обделки и разрыв ее арматуры.

в) Нарушение связности вмещающих выработку пород вследствие раздробления массива трещинами разлома блоков основной кровли и деформациями изгиба оседающих слоев. Это раздробление массива создает условия для образования дополнительных вывалов разрыхленной породы в выработку со стороны ее кровли, что является причиной соответственно дополнительного давления на крепь, поддерживающую породу. Повреждение крепи этой дополнительной нагрузкой в свою очередь усугубляет возможность образования вывалов разрыхленной породы.

В результате подработки, подготовительные выработки обычно выходят из строя и нуждаются в серьезном восстановительном ремонте, иногда вплоть до повторной проходки, с заменой и усилением крепи выработки. Однако, с окончанием процесса оседания подработанных пород, напряженное состояние осевшего массива пород вновь становится близким к имевшему место до подхода к выработке подрабатывающего очистного забоя и стабилизируется, а деформации крепи

и пород на контуре выработки, вызванные сдвижением, затухают. В частности, интенсивное пучение пластичных пород подошвы во время подхода к выработке подрабатывающего очистного забоя, после отхода последнего ослабевает.

Условия устойчивости выработки, находящейся в уже подработанной зоне отличаются от условий устойчивости изолированной выработки лишь большей нарушенностью и меньшей прочностью вмещающих пород вследствие их разлома, растрескивания и перенапряжения во время подработки. Эти же условия имеют место и для случая проходки подготовительной выработки в ранее подработанном массиве.

Подработка очистным забоем капитальных выработок и, в частности, вертикальных шахтных стволов, по характеру геомеханических проявлений мало отличается от описанной подработки подготовительных выработок. Отличия эти определяются, в основном, повышенными требованиями к устойчивости стволов и их прямизне, а также недопустимостью ориентироваться на необходимость их ремонтов.

Деформации дополнительного вертикального сжатия вмещающих ствол пород в зоне опорного давления, сообщаясь крепи ствола по механической схеме "задаваемой деформации", могут явиться причиной поломки крепи вследствие обычно имеющей место ее жесткости.

Дополнительные напряжения опорного давления приближающегося забоя подрабатывающей ствол очистной выработки, способствуя разрушению и вывалам крепких пород, вмещающих ствол, осыпанию сыпучих и выпиранию пластичных, тем самым являются причиной снижения

устойчивости стенок ствола и повышенного давления на его крепь.

Деформации искривления слоев массива в зоне сдвижения пород являются для ствола весьма опасными, так как почти неизбежно вызывают разрушение обычно жесткой его крепи и деформирования его армировки (по механической схеме "задаваемой деформации"), а также искривляют, соответственно, самую ось ствола, нарушая работу шахтных подъемных устройств.

Ввиду большой опасности всех указанных видов нарушений стволов вследствие падения с большой высоты разрушенных частей крепи и вывалившейся породы, а также ввиду сложности ремонтных работ в стволе, сопровождающихся нарушением ритма добычных работ всей шахты (рудника), подработка стволов очистными работами обычно не допускается и стволы охраняются оставлением достаточных целиков полезного ископаемого. Устанавливаемые размеры этих целиков, достаточные для охраны ствола, зависят от размеров опорной зоны и зоны сдвижения (оседания) пород при подработке, а эти размеры определяются, помимо морфологии подрабатываемого массива, его деформативными свойствами: упругостью, пластичностью, а также углами внутреннего трения слагающих массив пород. Следует заметить, что зависимость формы и размеров зон опорного давления и сдвижения подрабатываемых пород от этих механических свойств изучена еще весьма поверхностно и учет этих свойств при определении размеров охранных целиков достигается применением нормативных углов сдвижения массива, установленных для геологических районов с одинаковой деформируемостью подрабатываемых массивов.

Указанный способ охраны шахтных стволов целиками, при больших глубинах залегания полезного ископаемого и при крутых углах

его падения, приводит к весьма значительным потерям полезного ископаемого в охранных целиках. Поэтому в настоящее время изыскиваются способы ведения горных работ с допущением подработки шахтных стволов и управлением описанными проявлениями горного давления в стволах.

7) Надработка массива пород очистной выработкой

При очистной выемке ископаемого, в массиве пород, надрабатываемом ею возникают существенные изменения напряженного состояния. Непосредственная почва призабойной незакрепленной части очистной выработки освобождается от нагрузки веса массива, покрывающего извлекаемый слой полезного ископаемого. Закрепленная же часть очистной выработки, а также часть ее завалленная обрушенной кровлей или закладкой, передает подошве вес покрывающих пород лишь частично за вычетом части этого веса, воспринимаемого прогибающимися и шарнирно-связанными слоями основной кровли и передаваемого этими слоями на забой, борта и целики ископаемого в виде опорного давления. На достаточным удалении от бортов, целиков и забоя очистной выработки, где слои кровли и всего покрывающего массива полностью легли на подошву очистной выработки, вес покрывающего массива вновь полностью передается надработанному массиву, как это имело место до надработки.

Таким образом, напряженное состояние пород, подстилающих извлекаемый слой, характеризуется наличием следующих последовательно расположенных зон:

а) в нетронутом массиве достаточно далеко от очистной выработки - естественное напряженное состояние, отвечающее весу мас-

сива покрывающих пород;

б) вблизи очистного забоя впереди него (а также в массиве под бортами очистной выработки) - повышенное напряженное состояние опорного давления;

в) вблизи очистного забоя, непосредственно вслед за ним (а также под очистной выработкой в непосредственной близости от ее бортов) - разгруженное от вертикальных нагрузок состояние;

г) в достаточном удалении от забоя - вновь напряженное состояние, отвечающее весу массива покрывающих пород.

Зоны эти не имеют резких границ и плавно переходят одна в другую.

Слои надрабатываемого массива, удаленные от обнажения в направлении нормали к извлекаемому слою в меньшей мере испытывают добавочные напряжения опорного давления и разгрузку, чем слои непосредственно обнажаемой подошвы очистной выработки. При этом и переходы напряженного состояния между указанными зонами также плавнее, чем в слоях непосредственно-обнажаемой почвы.

Изменение напряженного состояния надрабатываемого массива горных пород является причиной соответствующих деформаций и смещений пород. Деформации пород и проявления горного давления в опорных зонах надрабатываемого массива вполне аналогичны описанным выше соответствующим проявлениям в подрабатываемом массиве; аналогична также при этом и определяющая роль тех же, указанных выше, механических свойств горных пород. В зоне же разгрузки, деформации и смещения массива пород обусловливаются упругим их восстановлением. Однако, в силу малости этих деформаций и смещений, они обычно не сопровождаются разрушением породы и потому в меньшей мере оказывают вредное влияние на состояние надрабатыва-

емых подготовительных или капитальных выработок и, обычно, не имеют значения при проходке таких выработок по зоне разгрузки ранее надработанных массивов. Повреждения надрабатываемых подготовительных и капитальных выработок, а также вертикальных стволов, обычно приурочены к зонам опорного давления и потому они носят одинаковый характер с повреждениями подрабатываемых выработок в зонах опорного давления. То же относится и к случаям проходки этих выработок по зонам опорного давления ранее надработанных массивов.

8/ Горные удары

Случаи, когда пределы упругости полезного ископаемого и вмещающих его пород высоки и близки по значениям к пределам их прочности (то-есть, когда породы и полезное ископаемое прочны и хрупки), связаны с возможностью накопления массивом пород потенциальной энергии сжатия со значительной концентрацией ее в наиболее напряженных местах массива. Разрушение породы в этих местах, при достижении соответствующих значений напряжений; развивается в таких случаях весьма бурно, с внезапным переходом накопившейся потенциальной энергии упругого сжатия в кинетическую, в форме горного удара, с сильным разбросом обломков раздробленной породы, что сопряжено с большой опасностью ведения горных работ.

Местами такой концентрации упругой энергии сжатия являются обычно зоны опорного давления впереди очистного забоя, в бортах очистных выработок и в ограничивающих их околоштрековых целиках. Высокая прочность пород кровли очистных выработок, со своей сто-

роны, обусловливает значительные пролеты ее зависания и, как следствие, высокие нагрузки опорного давления. Особенно большие концентрации упругой энергии сжатия возникают в местах наложения зон опорного давления двух сближающихся выработок, например, в случаях подработки или надработки очистным забоем околоштрековых и других целиков или забоя очистной выработки по другому (сближенному) пласту.

Наиболее опасными местами в отношении возможности возникновения горных ударов на угольных шахтах, разрабатывающих сплошными системами разработки пологопадающие тонкие и средней мощности пласты крепкого угля с весьма прочной кровлей, являются как сам очистной забой при широкозахватной его выемке, так, и, особенно, околоштрековые целики и целики вмещающие уклоны, а также соответствующие этим местам участки подрабатываемых или надрабатываемых пластов.

Таким образом, признаками удароопасности являются высокие пределы прочности и упругости полезного ископаемого и пород кровли очистных выработок.

Близки к горным ударам внезапные выбросы угля и газа на угольных шахтах, где раздавливание угля сопровождается интенсивной его дегазацией с бурным выделением большого количества метана, увеличивающего кинетическую энергию выноса и разброса разрушенного угля. Сорбционные свойства каменного угля обусловливают наибольшую опасность по внезапным выбросам слабых, трещиноватых и перетертых разновидностей угля. Поэтому признаками опасности угля по внезапным выбросам являются (помимо высокой газоносности) его низкая прочность и весьма разрыхленное строение, свойственное высокой степени тектонической нарушенности.

У. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕДЕНИЙ О МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведенные случаи проявлений горного давления изучены путем обобщения опыта ведения горных работ в соответствующих горнотехнических условиях, путем наблюдения и измерения этих проявлений в натуре и на моделях, а также путем привлечения аналитических методов исследований. Эти случаи не исчерпывают фактически имеющегося разнообразия горногеологических условий, при которых для успешного ведения горных работ используется знание механизма горного давления и сдвижения пород. Вместе с тем, даже для рассмотренных, важнейших случаев, глубина изученности этого механизма в настоящее время большей частью не вполне исчерпывающая и не позволяет детально установить все количественные показатели проявления горного давления, необходимые для строго обоснованного проектирования мероприятий по управлению горным давлением.

От полноты изученности механизма горного давления зависит способ использования сведений о механических свойствах пород для целей управления горным давлением и для проектирования горных работ с учетом управления горным давлением.

При вполне отчетливом понимании механизма проявления горного давления, нашедшем свое выражение в наличии соответствующего разработанного математического расчетного аппарата, показатели механических свойств пород используются путем подстановки в его расчетные зависимости. Расчет, связывающий элементы указанного механизма, позволяет рассчитать и рекомендовать рациональные параметры горных работ (пролеты выработок, размеры целиков, шаги

посадки и т.п.) или величины расчетных нагрузок и сдвижений, сообщаемых горными породами крепи выработок.

В случаях, когда механизм проявления горного давления изучен в значительной мере, но соответствующий математический аппарат, ввиду сложности случая, еще не разработан, приходится прибегать к расчетам, отражающим частную зависимость отдельных горнотехнических параметров этого механизма от имеющих при этом значение показателей свойств породы. В этих случаях расчет дает возможность рекомендовать рациональные параметры горных работ на основе учета опыта и улучшения существующих, менее рациональных способов ведения этих работ в аналогичных геологических условиях.

В менее изученных случаях проявлений горного давления, численные значения показателей механических свойств пород могут быть использованы только в приближенных расчетах, использующих эмпирические зависимости какого либо параметра горных работ от свойств пород с узкой областью применимости. Использование таких зависимостей предполагает использование существующего опыта ведения горных работ, с указанием рекомендуемого направления его усовершенствования.

Уровень изученности механизма разнообразных проявлений горного давления и сдвижения пород в настоящее время еще не во всех случаях достаточно высок. Несмотря на значительное число проведенных работ и на большой накопленный материал по наблюдениям проявлений горного давления и сдвижения пород, обобщение этих работ и установление соответствующих закономерностей, выраженных в аналитической форме, выполнено еще крайне недостаточно. В связи с этим уровень обоснованности проектирования горных работ, в час-

ти выбора и использования способов управления кровлей и крепления выработок, еще низок. Проектные организации располагают весьма малым числом надежных и детально разработанных расчетных методов по определению параметров систем разработки, управления кровлей и крепления выработок, учитывающих соответствующие геомеханические процессы и механические свойства горных пород. При этом и используются эти методы зачастую недостаточно. Поэтому в проектах горных работ (и в их осуществлении) нередко допускаются необоснованно закладываемые неумеренные запасы "на незнание" в худших же случаях - волевые решения, базирующиеся (иногда - слабо) на интуицию, глазомер и опыт проектанта. В этих случаях сведения о свойствах горных пород, существенно влияющих на проявления горного давления, являются необходимыми для пополнения общей оценки геологической ситуации, требующейся для проектирования горных работ.

Настоящие требования поэтому следует считать одним из предварительных шагов по пути установления и использования роли механических свойств пород при проектировании горных работ с учетом управления горным давлением и сдвижением пород.

Следует отметить, что изучение свойств горных пород, вмещающих горные выработки или находящиеся в окрестности ведущихся горных работ, нередко само по себе дает сведения, содействующие выявлению механизма горного давления и сдвижения пород в данных горнотехнических условиях, а иногда даже и непосредственно выявляющие этот механизм. В этих случаях сведения о свойствах (особенно - о механическом типе) пород могут свидетельствовать о возмож-

ности проявления специфического механизма, присущего различным типам пород (текучесть, сыпучесть, обрушаемость и проч.), и почему-либо не выявленного натурными наблюдениями за проявлениями горного давления.

VI. СОСТАВ СВЕДЕНИЙ О МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОРОД, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Применимость тех или иных систем горных работ для подземной добычи различных полезных ископаемых на месторождениях разных морфологических типов приводит к тому, что на этих месторождениях существенное значение приобретают, соответственно, те или другие механические свойства пород, слагающих месторождение (при том различные свойства для разных частей массива, вмещающих соответствующие элементы принятой системы разработки). Поэтому, состав сведений о механических свойствах пород, имеющих значение для проектирования, строительства и эксплуатации месторождений устанавливается в зависимости:

а) от применимости различных систем разработки для месторождений различного морфологического типа и для разных полезных ископаемых;

б) от элементов принятой системы разработки, специфически связанных с проявлениями горного давления: целиков различных типов и назначений, поддерживаемых камер, очистных выработок с обрушаемой кровлей, а также от различной ориентировки подготовительных и капитальных выработок относительно очистных, порядка их проходки и способов поддержания,

Применимость той или иной системы разработки полезного ископаемого зависит (см.например, курсы С.Д.Сонина и М.И.Агошкова) от следующих факторов:

а) от мощности пласта или размеров рудного тела;

б) от формы рудного тела или пласта, включая сюда и их нарушенность, расположение пластов в свите, и строение пласта;

в) от угла падения пласта или рудного тела;

г) от глубины разработки;

д) от крепости полезного ископаемого;

е) от кливажистости угля или структурной ослабленности руды;

к) от механических свойств вмещающих (особенно - покрывающих) пород;

з) от кливажистости или структурной ослабленности боковых пород (особенно - покрывающих полезное ископаемое);

и) от ценности и богатства полезного ископаемого;

к) от особых условий залегания: газоносности или самовозгораемости полезного ископаемого, залегания его под крупными водоемами или сильно обводненными породами, а также в зонах вечной мерзлоты.

В таблицах (I) и (2) приводятся краткие сведения о рекомендуемых С.Д.Сониным условий применения основных систем подземной разработки угольных месторождений и рекомендуемых М.И.Агошковым условий применения основных систем подземной разработки рудных месторождений. Сущность этих систем разработки, позволяющая установить наличие элементов, связанных с проявлениями горного давления и сдвижения пород, изложена в соответствующих трудах по системам разработки, например в (I) и (2).

Ввиду того, что выбор системы разработки полезного ископаемого определяется, главным образом, морфологическим типом его месторождения, в таблице (3) приводятся сведения о важнейших морфологических показателях предусмотренных классификацией запасов полезных ископаемых (3) основных существующих типов месторождений различных полезных ископаемых, имеющих промышленное значение. Разумеется, при выборе системы разработки какого либо месторожде-

ния, кроме учета его морфологических показателей предусмотренных классификацией запасов, учитываются и другие специфические условия: ценность полезного ископаемого и экономика его добычи, детали геологии и гидрогеологические условия, условия на земной поверхности и т.п.

Перечни механических свойств горных пород, влияющих на управление горным давлением, при различных системах горных работ, составлены на основании содержания предыдущей главы настоящих требований и приведены в таблицах (4-7).

Следует учесть, что на различных этапах промышленного освоения месторождения сведения о механических свойствах пород используются с различной степенью детальности вследствие различия целей этих этапов.

Освоение месторождения слагается из следующих основных этапов:

I. Установление целесообразности промышленной разработки месторождения, предварительное определение контуров его разработки (по площади и глубине).

2. Предварительный выбор способа добычи ископаемого (системы разработки) и интенсивности разработки месторождения (производственной мощности предприятия.

3. Проектирование горнодобывающего предприятия (составление проектного задания, рабочего проекта).

4. Строительство горного предприятия: строительство комплекса сооружений на поверхности, проходка и техническое оснащение капитальных и части подготовительных выработок, вскрывающих полезное ископаемое, нарезка, техническое оснащение некоторого

Таблица 4

Перечень механических свойств горных пород, влияющих на управление горным давлением в очистных выработках при камерных системах разработки

Геологические условия залегания		Показатели механических свойств для: крепких пород	трещиноватых пород	пластичных пород	рыхлых пород	контакты слоев	Определяемый парамет управления горным давлением
I	2	3	4	5	6	7	8
Пологое и наклонное залегание	Полезное ископаемое; непосредственно покрывающие его породы, общей мощностью до 5-8 крат превышающие мощность полезного ископаемого; подстилающие породы до 5 м от полезного иск.	Механический тип породы					Способ управления горным давлением
	Полезное ископаемое	σ_c					Примерные размеры целиков в плане
		$\sigma_{из}$					Размеры потолочины (мощность, пролеты) при большой мощности полезного иск. и слабой непосредственной кровле
		c φ					Размеры целиков при малой мощности полезного иск.
		E μ					Размеры целиков; пролеты камер при большой мощности полезного иск.; удароопасност
		σ_e					Удароопасност
			σ_c $K_{стр}$	c φ $K_{сцеп}$	c φ $K_{сцеп}$		Размеры целиков

I	2	3	4	5	6	7	8
	Пласт (слой) непосредственной кровли	$\sigma_{из}$. σ_c $\sigma_р$ c φ	σ_c $K_{стр}$	$K_{дин}$. c φ	c φ	c	Примерные пролеты камер Пролеты камер
	Каждый слой покрывающей толщи до 20 м от полезного ископаемого	$\sigma_{из}$ E	σ_c $K_{стр}$	$\sigma_т$ A_{∞}	c		
Крутое и неправильное залегание	Полезное ископаемое; непосредственно покрывающие породы до 5–8 крат превышающие мощность полезного ископ.; подстилающие породы до 5 м от полезного ископ.	Механический тип породы					Способ управления горным давлением
	Полезное ископаемое	σ_c $\sigma_р$	σ_c $K_{стр}$	σ_c $K_{дин}$	c φ		Размеры целиков
	Пласт (слой) непосредственной кровли	$\sigma_{из}$ $\sigma_р$ σ_c	$K_{стр}$ σ_c	σ_c			Пролеты камер
	Каждый слой покрывающей толщи до 20 м от полезного ископ. и подстилающей толщи до 5 м от полезного ископаемого	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c	σ_c		c	

Таблица 5

Перечень механических свойств горных пород, влияющих на управление горным давлением в очистных выработках при системах разработки с обрушением кровли

Геологические условия залегания		Показатели механических свойств для: крепких пород	трещиноватых пород	пластичных пород	рыхлых пород	контакты слоев	Определяемый параметр управления горным давлением
I	2	3	4	5	6	7	8
Пологое залегание	Полезное ископаемое; непосредственно покрывающие полезное ископ. породы, общей мощностью до 5–8 крат мощности полезного ископ.; подстилающие породы до 2 м от полезного ископ.	Механический тип породы					Способ управления кровлей
	Полезное ископаемое	σ_c E					Условия отжима; удароопасность
	Каждый слой непосредственной кровли	σ_c $K_{стр}$ $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$		c	c	Шаг обрушения; несущая способность крепи
				c φ $\varepsilon_{кай}$			Шаг обрушения; несущая способность крепи, условия плавной посадки.
	Каждый слой основной кровли	$\sigma_{из}$					Шаг посадки; несущая способность посадочной и податливой призабойной крепи
	Каждый слой подстилающий полезное ископаемое до 2 м от него	σ_c E	σ_c	B_o	c		Размеры опорных элементов крепи.
	Представительные слои каждой пачки, мощностью более 2м, однотипных пород массива, покрывающего полезное ископ.	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c		Оценка условий охраны поверхности

I	2	3	4	5	6	7	8
Крутое и неправильное залегание	Полезное ископаемое; непосредственно покрывающие полезное ископ. породы, общей мощностью 5-8 крат мощности полезного ископ. подстилающие породы до 5 м от полезного ископаемого	Механический тип породы					Способ управления кровлей
	Полезное ископаемое	σ_c σ_p	σ_c $K_{стр}$	σ_c	C φ		Условия отжима; ширина захвата (вруба)
	Каждый слой толщи непосредственно покрывающих полезное ископаемое пород до 5-8 крат превышающей мощность полезного ископ.	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$		C φ	C	Условия обрушения; несущая способность и податливость крепи
				C φ A B			Условия обрушения и плавной посадки; несущая способность и податливость крепи.
	Каждый слой подстилающий полезное ископ. до 5 м от него	σ_c	σ_c	σ_c $\varepsilon_{наб}$	C φ		Размеры опорных элементов крепи, устойчивость почвы.
	Представительные слои каждой пачки, мощностью более 5 м, однотипных пород покрывающего массива	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c		Оценка условий охраны поверхности.

Таблица 6

Перечень механических свойств горных пород, влияющих на управление горным давлением при сооружении и эксплуатации вертикальных шахтных стволов

Геологические условия залегания		Показатели механических свойств для:					Определяемый параметр управления горным давлением
		крепких пород	трещиноватых пород	пластичных пород	рыхлых пород		
I	2	3	4	5	6	7	8
Пологое залегание	Каждый пересекаемый стволом слой	Механический тип породы					Способ управления горным давлением.
		σ_c					Необходимость крепления.
		c, φ, E, μ	c, φ, $K_{стр}$	c, φ, $K_{длит}$	c, φ, $K_{длит}$		Несущая способность крепи; допустимая величина отставания крепления.
				A_o, A_∞, B_o, B_∞, η, $\sigma_т$, $\varepsilon_{наб}$			Несущая способность и податливость крепи; допустимая величина отставания крепления
Крутое и неправильное залегание	Каждый пересекаемый стволом слой	Механический тип породы					Способ управления горным давлением
		σ_c, $\sigma_р$, $\sigma_{из}$	σ_c, $K_{стр}$	c, φ, $K_{длит}$	c, φ		Несущая способность крепи; допустимая величина отставания крепления.
				A_∞, B_o, $\varepsilon_{наб}$			Несущая способность и податливость крепи, допустимая величина отставания крепления

Таблица 7

Механические свойства горных пород, влияющие на управление горным давлением при проходке и эксплуатации горизонтальных, капитальных и подготовительных выработок

Геологические условия залегания		Показатели механических свойств для: крепких пород	трещиноватых пород	пластичных пород	рыхлых пород		Определяемый параметр управления горным давлением
I	2	3	4	5	6	7	8
Пологое залегание	Каждый слой пачки от 5 м выше кровли выработки до 3 м ниже подошвы выработки	Механический тип породы					Целесообразное расположение выработки; способ поддержания выработки
	Каждый слой пачки, мощностью 3-5 м, кровли выработки	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$				Несущая способность крепи; допустимая величина отставания крепления
				σ_c A_o B_o	C φ		Несущая способность и податливость крепи; допустимая величина отставания крепления
		E					Податливость крепи; допустимая величина отставания крепления
	Каждый слой слагающий бока выработки	σ_c E	σ_c	A_∞ B_∞ $\varepsilon_{наб}$	C φ $\varepsilon_{наб}$		Податливость крепи; сроки перекреплений
	Каждый слой пачки, мощностью 2-3 м; подошвы выработки	σ_c	σ_c	A_o, B_o A_∞, B_∞ $\eta, \sigma_т$ $\varepsilon_{наб}$	C φ $\varepsilon_{наб}$		Размеры опорных элементов крепи; сроки перекреплений и поддирок подошвы
Крутое и неправильное залегание; выработка по простиранию	Каждый слой пачки от 3 м выше кровли выработки до 3м ниже подошвы выработки	Механический тип породы					Способ поддержания выработки

1	2	3	4	5	6	7	8
	Каждый слой пачки, мощностью 2-3 м; кровля выработки	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	σ_c	C φ		Несущая способность и податливость кровли; допустимая величина отставания крепления
	Каждый слой, вскрытый выработкой	σ_c E	σ_c	σ_c A_∞, B_∞ $\varepsilon_{нас}$	C φ $\varepsilon_{нас}$		Податливость кровли; сроки перекрепления
	Каждый слой пачки, мощностью 2-3 м, подошвы выработки	σ_c	σ_c	A_∞ B_∞ $\varepsilon_{нас}$	C φ $\varepsilon_{нас}$		Податливость кровли; сроки перекрепления
Крутое и неправильное залегание; выработка вкрест простирания	Каждый пересекаемый выработкой слой породы	Механический тип породы					Способ поддержания выработки
		σ_c E	σ_c $K_{стр}$	σ_c C φ A_∞ B_∞ $\varepsilon_{нас}$	C φ		Несущая способность и податливость кровли; допустимая величина отставания крепления; сроки перекрепления и поддирок подошвы

количества очистных выработок с опытным опробованием очистных работ.

5. Эксплуатация горного предприятия с опытным уточнением и совершенствованием элементов системы разработки.

А. При установлении целесообразности и предварительных границ промышленной разработки месторождения нужны сведения, главным образом, о ценности полезного ископаемого и основных размерах слагающего его рудного тела. Сведения о механических свойствах пород могут иметь при этом значение лишь в отдельных случаях и при этом лишь в виде весьма грубой оценки механического типа основных частей массива пород, покрывающих полезное ископаемое (твердые, пластичные, сыпучие).

Б. Для предварительного выбора способа добычи ископаемого механический тип слагающих месторождение пород требуется знать как для полезного ископаемого, так и для основных представителей вмещающих его пород. При этом, при пологом, наклонном или неправильном залегании сведения о породах кровли полезного ископаемого нужны до дневной поверхности, а о подстилающих полезное ископаемое породах - на глубину 20-30 м. Для полезного ископаемого и пачек непосредственно покрывающих его пород на 20-30 м по нормали к залеганию, целесообразно также иметь приближенные (с точностью до 200-400 кг/кв.см) сведения о крепости этих пород на сжатие.

При крутопадающем залегании месторождения сведения о механическом типе нужны, кроме полезного ископаемого, для основных видов вмещающих пород на расстояния по нормали к залеганию: для пород кровли - до двух-трех величин намеченной к разработке глубины месторождения, а для пород почвы - до полутора - двух этих величин.

Эти данные о типе пород должны иметься раздельно для различных участков месторождения по его площади (а при крутопадающем залегании - по простиранию), в случае наличия сведений о существенном различии геологического сложения этих участков.

В. Сведения о механических свойствах горных пород, необходимые для разработки проектного задания горнодобывающего предприятия, и позволяющие выбрать систему разработки месторождения, также, как и необходимые для этого данные геологической изученности месторождения, значительно шире и детальнее и для получения их обычно уже требуется выполнение специального комплекса испытательных работ.

Необходимая и достаточная представительность этих сведений о механических свойствах горных пород обеспечивается размещением мест извлечения проб этих пород, причем выбор этих мест должен в достаточной мере отражать как морфологически и литологически выдержанные части месторождения, так и наиболее характерные морфологически и литологически различающиеся его части. Поэтому размещение по месторождению интервалов опробования механических свойств слагающих его горных пород в какой-то мере отвечает размещению разведочных выработок (в том числе скважин), проводимых для геологического изучения месторождения, установления запасов и качества полезного ископаемого и технологического опробования последнего. Во всяком случае, для получения проб горных пород, предназначенных для механических испытаний, должны быть использованы именно эти разведочные выработки. Однако вопросы управления кровлей очистных выработок при промышленной добыче ископаемого и выбор мест проходки капитальных и подготовительных выработок, с обеспечением их устойчивости, не требует столь частой сетки опробования, как это предусмотрено соответствующими инструкциями для разведочных выработок, особенно для ценных видов

полезных ископаемых. В таблице (8) даются рекомендуемые примерные расстояния между местами опробования, а также указываются интервалы и места опробования механических свойств пород, необходимых для составления проектного задания горной разработки месторождений рудных типов.

Примерные величины рекомендуемых расстояний по площади между местами опробования в таблице (8) даны в 2-3 раза больше, чем применяющиеся расстояния сетки разведочных выработок (скважин), то-есть из числа последних для опробования механических свойств пород используется 10-25% скважин (выработок). При этом отбор проб для этой цели производится не по всей скважине, а лишь в указанных в таблице местах и интервалах.

Для мест опробования, указанных в этой таблице, требуются следующие сведения о механических свойствах пород, наиболее важных для суждений об устойчивости элементов систем разработки:

для твердых и трещиноватых пород и твердого и трещиноватого полезного ископаемого всех опробуемых мест -

- предел прочности на сжатие (σ_c);

кроме того, для твердых пород и твердого полезного ископаемого всех опробуемых мест при крутом и наклонном падении, а также для твердых пород непосредственной кровли при пологом падении

- предел прочности на растяжение (σ_p);

кроме того, для трещиноватых пород непосредственной кровли и трещиноватого полезного ископаемого -

- структурная ослабленность ($K_{стр}$);

для пластичных и рыхлых пород пластичного и рыхлого полезного ископаемого всех опробуемых мест -

- коэффициент сцепления (C), -
  угол внутреннего трения (φ).

Г. Для разработки рабочих чертежей проекта предприятия по эксплуатации месторождения, наряду с более подробными сведениями о его геологических и гидрогеологических условиях, требуются еще

более детальные сведения о механических свойствах пород месторождения, позволяющие не только выбрать систему его разработки в целом, но и уточнить параметры элементов этой системы по отдельным участкам месторождения. Сущность этой детализации сведений о механических свойствах пород состоит:

а) в выявлении постоянства или изменчивости изученных ранее свойств пород по полю месторождения;

б) в углублении имеющихся сведений о свойствах пород для более детального учета всех особенностей управления горным давлением в проектируемых выработках месторождения.

Первая из этих целей достигается расширением состава опробований механических свойств пород в части их массовости: показатели свойств пород, использованные при составлении проектного задания предприятия, должны быть для разработки рабочих чертежей проекта даны по более сгущенной сетке интервалов опробования. предыдущем случае, это в какой-то мере отвечает более сгущенной сетке разведочных выработок, предусмотренной инструкциями по применению классификации запасов на более детальном этапе разведки.

Для достижения второй цели, комплекс ранее опробованных механических свойств типичных представителей пород месторождения пополняется максимально доступным числом показателей из имеющих существенное значение для управления горным давлением при принятой системе разработки. Сетка опробования массива горных пород месторождения по этому расширенному комплексу показателей механических свойств может быть не частой :породы исследуются лишь в литологически-типичных представителях. Для опробования могут использоваться специальные инженерно-геологические скважины.

Таким образом, материалы опробования горных пород месторождения требуемые в качестве материалов к разработке рабочего проекта горнодобывающего предприятия, должны состоять из двух частей:

а) из материалов массового опробования показателей важнейших механических свойств пород месторождения и изменчивости этих свойств по месторождению;

б) из материалов углубленного изучения механических свойств основных представителей горных пород месторождения.

В таблице (9) даются рекомендуемые интервалы массового опробования, примерная густота сетки этого опробования и места опробования важнейших механических свойств пород месторождений различных типов.

Здесь, как и в табл.(8), для обоснования примерных расстояний по площади между местами опробования механических свойств пород, принято разряжение в 2-3 раза применяющейся сетки разведочных выработок (скважин), предназначенных для детального геологического изучения месторождения, его запасов и качества полезного ископаемого, необходимых для составления рабочего проекта разработки месторождения.

Необходимые для составления рабочих чертежей проекта предприятия показатели свойств пород, отобранных с указанных выше мест массового опробования, - таковы же, как и в случае опробования пород с целью разработки проектного задания предприятия. Однако, наряду с величинами средних значений показателей механических свойств по каждому опробованному слою породы должны даваться сведения об изменчивости этих показателей: в виде корреляционной зависимости от мест залегания или в виде характера статистического распределения даваемого показателя или же, наконец, в виде коэффициента его вариации.

Более углубленные и подробные сведения о механических свойствах горных пород, необходимые для разработки рабочего проекта горного предприятия даются лишь для мест вероятного заложения вертикальных шахтных стволов, а также для небольшого числа

наиболее типичных по геологическому сложению мест месторождения. Расположение последних устанавливается программой разведочных работ с учетом проектного задания проектируемого горного предприятия; это расположение должно быть таким, чтобы было обеспечено опробование наиболее типичных для месторождения представителей горных пород в местах наиболее типичных с точки зрения возможного размещения эксплуатационных выработок. Ориентировочно общая численность таких мест детального опробования на месторождении (не считая мест заложения шахтных стволов) может быть в среднем принята от 0,2 на кв.км (для месторождений со спокойным залеганием) до I,0 на кв.км (для месторождений с сильно нарушенным строением).

Как на местах вероятного заложения шахтных стволов, так и на других выбранных местах опробования пород месторождения по широкому комплексу механических свойств, для целей опробования должны использоваться инженерно-геологические скважины диаметром не менее I08 мм с максимальным технически возможным выходом керна. Породы, проходимые этими скважинами, должны отбираться для опробования от каждого литологически различающегося слоя пород, мощностью не менее 0,5 м, пройденного скважиной, а при мощности слоя свыше 5,0 метров - от каждых полных или неполных пяти метров мощности этого слоя. Диапазон отбора таких проб по скважинам:

а) в местах предполагаемого заложения шахтных стволов - от земной поверхности до глубины на 20 м большей предполагаемой глубины ствола;

б) в прочих местах - по всей пройденной скважиной мощности полезного ископаемого, по породам его кровли мощностью (по нор-

мали к залеганию) не менее 50 м и по породам его почвы мощностью (по нормали к залеганию) не менее 20 м.

Комплекс углубленных сведений о механических свойствах горных пород в местах предполагаемого заложения вертикальных шахтных стволов, используемых при разработке рабочего проекта горного предприятия, указан в таблице 6.

Комплекс таких показателей по остальным местам детального опробования пород месторождения зависит, как указано выше, от принятой для месторождения системы разработки, а следовательно - от морфологического типа месторождения. В таблице IO приведен рекомендуемый комплекс показателей механических свойств пород при таком детальном опробовании.

Сведения о качестве и количестве полезного ископаемого, геологическом сложении месторождения и свойствах пород, необходимых для осуществления основных этапов освоения месторождения, получаются в результате проведения соответствующих видов разведочных работ.

I) Установление целесообразности промышленной разработки месторождения и определение границ его по площади и по глубине осуществляется поисковой стадией разведки, с использованием фондовых материалов по геологическому району и с проведением некоторых поисковых и съемочных работ. Запасы ископаемого при этом определяются, в основном, как возможные запасы.

2) Предварительный выбор системы разработки месторождения и составление проектного задания его разработки осуществляются на основе данных Технико-экономического доклада (ТЭД), подытоживающего результаты предварительной разведки, в ходе которой, наряду с определением возможных запасов полезного ископаемого, в случае, если промышленное значение месторождения установлено, получаются основные сведения о геологическом сложении месторождения, а также основная часть сведений о механических свойствах горных пород.

3) Рабочий проект горного предприятия по разработке месторождения основывается на данных детальной разведки, уточняющей действительные запасы ископаемого, дающей более подробные сведения о качестве полезного ископаемого и более детальные данные о геологии месторождения и механических свойствах слагающих его пород.

4) В некоторых геологически-сложных случаях в ходе проектирования (а иногда и строительства) горного предприятия возникает необходимость в получении дополнительных детальных сведений о геологическом сложении отдельных мест (главным образом - мест заложения шахтных стволов) месторождения. В этих случаях, в порядке исключения, по специальному решению осуществляются работы по доразведке месторождения, в соответствии с особо разработанными программами.

5) Совершенствование системы разработки месторождения и рациональное уточнение ее параметров, осуществляемое в ходе эксплуатации горного предприятия основывается на дополнительных геологических материалах, получаемых эксплуатационной разведкой.

В соответствии с указанным, содержание инструкций по ведению разведочных работ (предварительной и детальной разведки) должно быть уточнено в части установления состава работ по отбору и механическим испытаниям проб горных пород, отвечающего потребностям освоения месторождения, как это указано в настоящей главе.

Следует отметить, что выполнение разведочными организациями некоторых важных видов механических испытаний по расширенному комплексу, указанному в таблицах (6) и (10), в настоящее время еще затрудняется вследствие неосвоенности промышленностью выпуска необходимой аппаратуры, имеющейся в единичных количествах лишь у некоторых научно-исследовательских институтов. Между тем, результаты этих испытаний существенно важны для обоснованного проектирования горных предприятий. Поэтому невыполнение таких испытаний может быть допущено лишь временно, с всемерным привлечением указанных научно-исследовательских организаций для их выполнения.

УП. ОПРОБОВАНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Сведения о механических свойствах горных пород, используемые для проектирования горных выработок, должны быть представительными и надежными в мере, отвечающей использованию этих сведений.

Требование представительности показателей механических свойств горных пород сводится к тому, что получаемые испытаниями показатели должны наиболее близко соответствовать свойствам пород в натурных условиях проявления горного давления и сдвижения пород при строительстве и эксплуатации горных выработок. Эта представительность обеспечивается:

а) выбором представительных мест опробования массива горных пород, как это указано в предыдущей главе;

б) способом извлечения проб пород, обеспечивающим их типичность для мест опробования массива и сохранность естественных физико-механических свойств;

в) количеством и размерами отбираемых проб пород, достаточными для изготовления необходимого числа представительных образцов, подлежащих механическим испытаниям;

г) составом механических испытаний изготовленных из проб образцов пород, то есть видами опытных определений соответствующих свойств пород и объемами испытаний, как это предусмотрено в предыдущей главе;

д) методами проведения испытаний, в необходимой мере воссоздающими в опытных условиях механизм нагружения, деформирования и разрушения пород в естественных условиях массива, окружающего горные выработки.

Надежность сведений о показателях механических свойств пород обеспечивается

а) правильностью и четкостью указаний по выбору мест опробования и по способу извлечения проб, а также совершенством методики испытаний и точностью испытательной аппаратуры, допускающих минимальный произвол в действиях, могущих отразиться на результатах испытаний,

б) тщательностью практического выполнения этих правил.

Наряду с требованиями представительности и надежности сведений о показателях механических свойств горных пород, имеется еще важное требование их доступности, зачастую ограничивающее возможность полного осуществления первых двух требований.

При отборе проб пород для проведения их механических испытаний рекомендуется руководствоваться нижеизложенными указаниями по проведению отбора проб, их транспортировке, хранению и изготовлению из них образцов для испытаний.

Пробы горных пород, в зависимости от наличия скважин или разведочных горных выработок, используемых для опробования массива в намеченных местах, могут быть представлены кернами колонкового бурения или же монолитами, отделяемыми от забоев, почвы, кровли или стенок горных выработок.

Размеры и количество отбираемых для испытаний кернов или монолитов должны обеспечивать возможность изготовления необходимого числа образцов для всех предусмотренных видов их испытаний. Минимальные диаметры кернов, пригодные в качестве проб:

для твердых пород - 43 мм (для некоторых видов испытаний 60 мм)

для прочих типов пород - 70 мм (для некоторых видов испытаний 92 мм)

В качестве проб пород пригодны куски керна длиной (не считая скосов у торцов) не менее:

для твердых пород - 150 мм (предпочтительно 30-40 см);

для прочих типов пород - 100 мм (предпочтительно 30-40 см).

Минимальные размеры монолитов, отбираемых в качестве проб должны быть не менее 250х200х200 мм (предпочтительно 300х300х200 мм).

Общее количество отбираемых кернов или монолитов, отбираемых в качестве пробы какой либо литологически различающейся породы, в зависимости от состава испытаний этой породы, определяется таблицей (II).

Типичность места отбора пробы, помимо указаний, данных в предыдущей главе, обеспечивается выполнением следующих требований.

а) Извлечение из массива пробы должно осуществляться из типичной части опробуемого слоя, а не с мест перехода или контакта с соседним слоем.

б) Если геологическое сложение месторождения хорошо выдержано по простиранию, то, при невозможности отбора пробы непосредственно у исследуемого участка, допускается отбор пробы в других выработках, вскрывающих тот же слой породы.

в) В случае, если состав породных слоев по простиранию не выдерживается, отбор пробы необходимо производить в местах, максимально близко расположенных к исследуемым.

г) Состояние породы в обнажении (ее влажность и целостность) должно быть в месте отбора пробы наиболее представительным.

д) В случаях отклонения от перечисленных требований к месту отбора пробы, необходимо считаться с возможностью отклонения от представительности показателей механических свойств породы, полученных при испытаниях, и оценивать эти отклонения.

Механические свойства многих осадочных пород в большой степени зависят от их влажности. Поэтому весьма важно, чтобы при отборе проб, их хранении, транспортировке и изготовлении образцов влажность породы сохранялась и контролировалась.

При отделении проб от массива предпочтительны операции вращательного бурения, почти не нарушающие структуру и свойства породы в пробе. При этом при отборе керновых проб слабых пород, размокающих при увлажнении, необходимо прекращать подачу промывочного раствора за 10-20 см до места отбора и осуществлять отбор пробы без подачи раствора. Извлечение керна из колонки необходимо производить с соблюдением предосторожностей, предотвращающих излом керна. Извлеченный из колонки керн осторожно очищается ножом от посторонних частиц и намокшего слоя.

Извлечение из массива монолитов (глыб) - операция трудоемкая, и должна выполняться тщательно и аккуратно, при минимуме механических воздействий на пробу, отделяемую от массива. Взрывные работы и другие резко-ударные операции, а также естественное обрушение пород значительно ослабляют отделяющиеся от массива монолиты, нарушают целостность проб и искажает результаты их механических испытаний. Поэтому отделение монолита от массива рекомендуется производить после предварительной зачистки поверхности забоя от эрозированной и пересохшей породы, обуривания контура монолита в забое выработки частой строчкой шпуров, с последующим осто-

ронным отрывом монолита с помощью клиньев, распределяя усилие по периферийной части монолита и стараясь не перенапрягать его средней части.

При извлечении проб пород, изменяющих свои механические свойства при изменении влажности (особенно - глинистых пород), одновременно с пробой для механических испытаний отделяется проба для срочного определения естественной влажности породы. Эта проба представляет собой небольшие обломки (весом 80-120 г) породы, вырезаемые или отбиваемые молотком от средней части керна или остающиеся после обтесывания монолита до требуемого размера.

Для обеспечения сохранения пробами пород их естественной влажности пробы подвергаются консервации. Консервация проб должна производиться немедленно после их извлечения.

Если нет возможности законсервировать пробу немедленно после извлечения, проба временно (но не более, чем на 10 часов) должна быть обернута слоем клеенки, пластиката или кальки и уложена в ящик с влажными опилками.

Пробы,представленные кернами или монолитами консервируются в следующем порядке.

а) Пробы обильно смачиваются расплавленным парафином (желательно - с добавкой 10-15% битума) и к ним приклеивается маркирующая этикетка;

б) затем пробы обертываются в смоченную в парафине бумагу, которая плотно притирается к неровностям пробы для удаления воздушных пузырьков между пробой и бумагой;

в) наконец, пробы обертываются двумя слоями смоченной в парафине марли с обильным поливанием парафином всей поверхности после каждого обертывания;

г) поверх последнего слоя марли, под слоем парафина должна быть приклеена такая же этикетка, как и под парафинирующим слоем, для возможности определения пробы без нарушения консервации.

Консервация проб для определения естественной влажности породы должна производиться немедленно после отделения пробы, путем помещения в герметичные бюксы или, в крайнем случае, путем многослойного оборачивания в пластикат или клеенку. Эти пробы должны поступать в лабораторию для определения влажности не позже, чем через 1-2 суток после консервации.

Законсервированные монолиты и керны должны быть уложены в прочные дощатые ящики без щелей (выложенные толем) на слой стружек или опилок, смягчающий удары и толчки при транспортировке и сохраняющей целостность проб. Размеры ящиков должны быть рассчитаны на укладку проб в один слой с разделением монолитов друг от друга кусками фанеры или досок и с перегородками при упаковке кернов. Ящики с пробами досыпаются дополна стружками или опилками и в них вкладываются завернутые в пластикат или кальку сопроводительные записки с указанием номеров содержащихся в ящике проб. Ящики должны иметь ручки для удобства переноса. Максимальный вес ящика с упакованными в него пробами не должен превышать 60 кг.

Снаружи на ящике должны быть четко написаны порядковый номер ящика, наименование отправителя и наименование адресата.

Ящики с пробами не должны длительно оставаться под дождем и на морозе. При транспортировке ящики с пробами не следует бросать и кантовать. Одновременно с пересылкой проб пересылается и документация на них.

Тщательное документирование проб пород для механических испытаний является обязательным, так как осуществляет возможность установить место и время извлечения каждой пробы.

Документирование проб горных пород для механических испытаний должно проводиться одновременно с отбором проб. Документация состоит из этикеток, прикладываемых к каждому куску керна и к каждому монолиту, и из специального журнала (ведомости), заполняемого одновременно с отбором проб.

Форма этикетки предусматривает:

а) наименование разведочной организации, производящей отбор проб;

б) наименование или номер выработки или скважины;

в) номер пробы;

г) наименование породы;

д) глубина отбора пробы;

е) дата отбора пробы;

ж) фамилия лица, производившего отбор пробы.

В журнале по отбору керновых проб заполняются следующие графы:

а) наименование разведочной организации, производящей отбор проб;

б) номер скважины;

в) наименование породы опробуемого слоя;

г) краткая литологическая характеристика пробы;

д) глубина кровли слоя от земной поверхности;

е) мощность опробуемого слоя;

ж) глубина отбора пробы;

з) номер пробы;

и) естественная влажность породы слоя;

к) число кернов в пробе, их диаметр и длина;

л) номер ящика, содержащего данную пробу;

м) дата отбора пробы.

В журнале по отбору монолитов заполняются следующие графы:

а) наименование разведочной организации, производящей отбор проб;

б) наименование и номер горной выработки – места извлечения пробы;

в) место отбора пробы в горной выработке;

г) наименование опробуемой породы;

д) краткая литологическая характеристика пробы;

е) глубина кровли опробуемого слоя от земной поверхности;

ж) мощность опробуемого слоя;

з) номер пробы;

и) естественная влажность породы слоя;

к) число монолитов в пробе, их размеры;

л) номер ящика, содержащего данную пробу;

м) дата отбора пробы.

УШ. МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

В настоящее время, в результате работ ряда научных учреждений и изыскательских предприятий, имеется значительное количество сведений о механических свойствах многих горных пород по различным районам СССР. Между тем, общих путей, позволяющих уверенно прогнозировать механические свойства пород по их наименованию и литологическому составу пока не имеется. Кроме того различная степень совершенства методов испытания пород делает опубликованные различными из указанных организаций сведения о показателях свойств горных пород не всегда сопоставимыми. Ввиду этого, использование этих сведений в качестве аналога при прогнозе условий эксплуатации горных выработок и проектировании последних, допустимо лишь на начальных, поисковых этапах освоения месторождения.

Последующие этапы освоения месторождения нуждаются в получении более конкретных сведений, как о геологическом сложении массива горных пород, так и о показателях механических свойств пород, слагающих этот массив. Эти сведения должны поэтому выявляться постановкой механических испытаний пород, при которых образцы этих пород подвергаются действию нагрузок с определением искомых показателей по эффекту действия этих нагрузок.

Общими требованиями к методам опытного определения показателей механических свойств пород являются представительность, надежность и доступность этих методов.

Требование представительности методов испытания горных пород заключается в том, что получаемые в результате испытаний показа-

тели должны наиболее близко соответствовать свойствам горных пород в натурных условиях проявлений горного давления и сдвижения пород при строительстве и эксплуатации горных выработок. Для этого при испытаниях должен близко воссоздаваться натурный характер и условия механизма нагружения, деформирования и разрушения породы:

а) состав, строение и влажность породы, типичные для целиков, кровли и т.п. элементов проектируемой системы разработки;

б) характер деформаций и вид напряженного состояния, наиболее близкие к деформациям и напряженному состоянию массива пород в естественных условиях проявления горного давления в рассматриваемых элементах проектируемой системы разработки;

в) диапазон интенсивности испытательных нагрузок и деформаций, а также режим нагружения, близкие к величинам нагрузок и последовательности их приложения к породе при проходке и эксплуатации горных выработок.

Полное воспроизведение всех указанных условий при постановке испытаний обычно бывает недостижимо. Поэтому задачей правильного выбора метода испытаний является сведение отклонений условий испытаний от естественных условий проявлений горного давления до разумного минимума. При использовании же результатов испытаний необходимо оценивать и учитывать влияние этих отклонений на применимость результатов.

Следует отметить, что весьма близкое воссоздание большого количества естественных условий путем моделирования элементов систем разработки и лабораторного испытания их уменьшенных моделей из натурных пород, технически сложно, а потому обычно являет-

ся источником значительных погрешностей. Результаты таких испытаний, кроме того, имеют довольно узкую область надежного приложения - только применительно к моделируемому случаю.

Наиболее полно естественные условия воссоздаются при проведении на месторождении опытных (по специальной программе) горных работ, в ходе которых устойчивость элементов системы разработки устанавливается непосредственно, с последующим, надлежаще выполненным, распространением этого опыта на проектируемые элементы системы разработки. Такие натурные эксперименты, однако, обладают двумя отрицательными качествами:

а) выполнение их обычно весьма сложно, дорого и организационно-трудно, что исключает их применение на ранних стадиях освоения месторождения;

б) показатели механических свойств пород, определяемые по результатам натурных испытаний с использованием упрощенных теоретических схем механизма горного давления, являются по сути дела функциональными показателями, пригодными лишь для узкого диапазона условий, вне которого они недостаточно надежны.

Требование надежности (или точности) методов испытания горных пород сводится к тому, чтобы:

а) допущенные отступления условий методики испытаний от естественных условий массива пород обусловливали минимальные величины вызванных этими отступлениями систематических погрешностей измеряемого показателя свойств пород;

б) произвол в задании отдельных условий испытания, не нормированных методикой последнего, вносил бы минимальный разброс в результаты испытаний.

Следует отметить, что излишне высокая точность метода испытания может не оправдываться потребностями освоения месторождения, особенно на ранних стадиях этого освоения, когда требуются лишь ориентировочные сведения о свойствах горных пород. Между тем высокая точность испытаний связана с необходимостью применения сложной, дорогой и громоздкой испытательной аппаратуры и значительной трудоемкостью испытательных работ.

Требование доступности методов испытания пород сводится к:

а) простоте и малой трудоемкости работ, как по проведению самих испытаний, так и по их подготовке (извлечение проб пород, изготовление из них образцов для испытаний);

б) несложности, дешевизне и доступности приобретения предусмотренного для испытаний оборудования, а иногда и его компактности и транспортабельности (что связано с соответствующими требованиями к помещению для проведения испытаний);

в) потребности в минимальных количествах проб горных пород и в минимальных размерах образцов, достаточных для проведения испытаний.

Следует отметить, что излишняя примитивность методики испытаний обычно связана с невысокой представительностью и ненадежностью получаемых результатов.

Так для весьма грубой оценки механических свойств пород иногда используется имеющаяся слабая корреляционная связь между величинами различных показателей их механических свойств. Например, для многих разновидностей пород обнаружено, что пределы их прочности на одноосное сжатие, на изгиб и на одноосное растяжение относятся примерно как 10:3:1. Однако слабость этой корреляционной связи существенно сказывается на точности и представительности такой оценки.

Для опытного определения некоторых показателей механических свойств пород в настоящее время разработано и применяется по нескольку различных методов испытания, отличающихся друг от друга представительностью, точностью или доступностью. Выбор из их числа наиболее подходящего метода испытаний или решение о допустимости взаимной замены этих методов определяется уровнем целей

испытаний, предусматривающих большую или меньшую детальность изучения горных на различных этапах разведки и большую или меньшую степень использования показателей свойств пород при проектировании и строительстве горного предприятия. Например, на этапе подготовки проектного задания, когда требуются ориентировочные сведения о свойствах горных пород, могут применяться менее точные и представительные, но более доступные методы испытаний, которые могут быть применены разведочной организацией в ходе предварительной разведки в полустационарных условиях. Напротив, на этапах рабочего проектирования, строительства и эксплуатации шахты или рудника, требуется получение более детальных и точных сведений с использованием более точных и представительных, но и более сложных методов испытаний, с применением точного и капитального, а иногда и уникального оборудования и с привлечением в наиболее сложных случаях к проведению испытаний научно-исследовательских организаций.

Следует констатировать, что наука о механических испытаниях горных пород в настоящее время еще далека от своего завершения, что соответственно отражается на временном характере настоящих требований к проведению этих испытаний при разведке месторождений полезных ископаемых. В частности, неразработанность методов испытаний горных пород состоит в следующем.

а) Для опытного определения некоторых из важных показателей механических свойств горных пород методы испытания еще не разработаны или разработаны лишь в мере, доступной к использованию лишь отдельным научно-исследовательским организациям. В этих случаях требования к проведению механических испытаний при разведке

месторождений приходится временно соответственно сокращать по сравнению с потребностями в этих сведениях со стороны проектных и шахтостроительных организаций.

б) Разработка некоторых из существующих методов механических испытаний пород проведена еще в недостаточно полной степени: недостаточно изучено влияние на результаты испытаний ряда условий проведения этих испытаний. В итоге эти условия либо несмотря на их существенное влияние, остались не нормированными методикой, либо нормирование их произведено без надлежащего обоснования. Поэтому соответствующая часть настоящих требований к разведке месторождений может быть с течением времени, по проведении научной доработки указанных методов, в необходимой мере уточнена.

в) В некоторых случаях, когда для определенного вида испытаний имеется несколько разработанных методов испытаний, научная работа по сопоставительной оценке представительности и точности этих методов еще не проведена и не выполнен итоговый выбор эталонного (наиболее точного) и рабочих (наиболее доступных и приемлемых в различных условиях) методов испытаний.

г) Разработанность и промышленный выпуск универсальной и специализированной аппаратуры для проведения механических испытаний горных пород находятся в совершенно неудовлетворительном состоянии. Ряд универсальных испытательных машин отечественного производства выпускается в недостаточном количестве, они весьма дороги, не вполне отвечают нуждам механических испытаний горных пород и невысоки по качеству выполнения. Более специализированное оборудование (камнерезное и собственно испытательное), удачные образцы которого разработаны соответствующими научно-исследова-

тельскими организациями, не выпускается промышленностью, а иногда и не обеспечено достаточной технической документацией. Поэтому внедрение в практику разведки месторождений полезных ископаемых настоящих требований по проведению механических испытаний должно сопровождаться надлежащей организацией промышленного выпуска необходимой испытательной аппаратуры.

Ниже приводятся краткие описания применяющихся методов механических испытаний горных пород. Более детально эти методы изложены в соответствующих инструкциях и методических указаниях, на которые даются ссылки. В необходимых случаях положения этих указаний дополняются или несколько видоизменяются добавочными условиями проведения испытаний, например особо-оговоренной ориентировкой нагрузок относительно направления залегания, особо-оговоренным режимом приложения нагрузок и т.п.

I. Определение предела прочности при одноосном сжатии путем раздавливания кубических образцов

Этот метод установлен для испытания строительных материалов и его положения изложены в ГОСТ 8462-62 (5).

Испытаниям на сжатие до раздавливания между плоскими шлифованными плитами испытательного пресса подвергаются кубические образцы со стороной от 50 до 200 мм. Для равномерного распределения давления по опорным граням образца, предусмотрено сферическое опирание одной из давильных плит пресса.

Предел прочности на сжатие образца вычисляется по формуле

$$\sigma_c = \kappa (P:F)$$

где P - разрушающая образец нагрузка,

F – площадь поперечного сечения образца;

κ – коэффициент, примерно учитывающий влияние формы и размеров образца, и принимаемый:

для образцов со стороной	200 мм	$\kappa = 1{,}0$
– " –	– " – 150 мм	$\kappa = 0{,}9$
– " –	– " – 100 мм	$\kappa = 0{,}85$
– " –	– " – 70 мм	$\kappa = 0{,}75$
– " –	– " – 50 мм	$\kappa = 0{,}7$

Методикой не нормирован ряд условий испытаний, существенно влияющих на их результаты.

Например, некоторая непараллельность граней образцов и неточная прямизна их углов, а также отклонения от центричности установки образца относительно сферической опоры вызывают в образце дополнительные напряжения изгиба, а отклонения от плоскости опорных граней и плит пресса – местные контактные напряжения, вносящие существенные погрешности в результаты испытания в сторону их занижения. Размещение сферической опоры под или над образцом, высота центра сферы относительно образца, а также радиус сферы тоже влияют на возможность перекоса образца и соответствующее искажение разрушающей нагрузки. Трение о плиты пресса опорных граней образца (зависящее от их шероховатости) препятствует свободному расширению сдавливаемых образцов, что искажает механизм одноосного их нагружения, особенно в частях, близких к опорным торцам, и вносит систематическую погрешность в результаты испытания в сторону их завышения. Эта погрешность лишь в грубой мере учитывается использованием поправочного коэффициента, приведенного выше.

Малая представительность и надежность этого метода, а также большая трудоемкость изготовления кубических образцов заставляют рекомендовать этот метод лишь в порядке исключения - при отсутствии оборудования, необходимого для применения других, более удовлетворительных методов.

2. Определение предела прочности при одноосном сжатии путем раздавливания цилиндрических образцов

Основные положения этого метода как основного, рекомендованы Международным бюро по механике горных пород (6).

Испытаниям на сжатие до раздавливания подвергаются цилиндрические образцы (отрезки буровых кернов) породы с естественной влажностью, диаметром от 30 мм и выше (рекомендуется диаметр 42-43 мм) с высотой, равной двум диаметрам (допускается испытание образцов менее чем двукратной высоты, но не менее однократной). Торцы образцов должны быть перпендикулярны к образующей и параллельны друг другу с точностью до $1-2^{0}$. Торцы образцов должны быть выполнены плоскими с точностью 0,02-0,08 мм; шероховатость их допускается в пределах 2-6 классов чистоты поверхности. Боковая поверхность образцов может иметь неправильности геометрии (коничность, овал, шероховатость) до 1-2 мм, то есть не нуждается в дополнительной обработке после выбуривания керна.

Равномерное приложение к торцам образца нагрузки должно обеспечиваться плоскостью (по 2 классу точности - с точностью 1-2 мк) каленых (до твердости по Роквеллу R_c = 56-60) шлифован-

ных (по 8 классу чистоты) давильных плит испытательного пресса с применением сферической пяты над образцом, с центром сферы над его торцем (см.рис.23). При этом давильные плиты должны иметь толщину равную не менее полудиаметра образца, а верхняя плита (с паровой пятой) должна кроме того иметь круговой выступ для центрировки образца относительно центра сферы с точностью до I мм. Нагружение образца должно осуществляться с примерной величиной скорости нарастания нагрузки 5-I0 кг/кв.см.сек.

Предел прочности образца при одноосном сжатии вычисляется по формуле

$$\sigma_c = \frac{8}{7 + \frac{2d}{h}} \cdot \frac{P}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

Метод испытания на сжатие цилиндрических (и кубических) образцов успешно применяется ко всем связным разновидностям горных пород, из которых можно изготовить требуемые образцы без существенного нарушения их естественного строения. Применение этого метода к трещиноватым породам дает менее надежные результаты и может быть оправдано лишь при условии испытания образцов значительных размеров и осторожности при выполнении работ по вырезке образцов. Ограничивающими условиями применения этого метода является необходимость использования при испытании крепких и средней крепости пород испытательных прессов значительной мощности (до I00-300 тонн), сравнительно громоздких и нуждающихся в стационарной установке.

8. Определение предела прочности при одноосном сжатии путем раздавливания образцов полуправильной формы

К этому методу, значительно менее точному, чем метод испытания цилиндрических образцов, прибегают в крайних случаях, когда

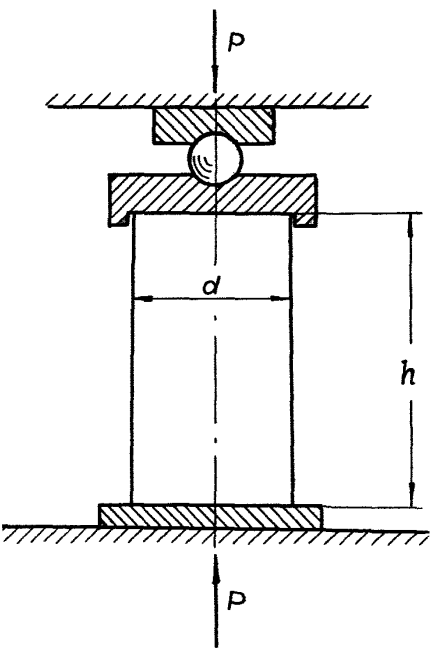


Рис. 23.

вследствие расслоенности, трещиноватости или других структурных ослаблений породы, или же при использовании в качестве проб породы маломерных монолитов, вырезка цилиндрических образцов затруднена.

Метод состоит (7) в раздавливании на испытательном прессе образцов, у которых обрабатываются путем шлифовки на плоскость (с допуском плоскости ± 0,02 мм) лишь две опорные поверхности, остальная же поверхность образца остается такой, какой она образуется после разлома (осторожного) монолита породы. Для испытания применяются образцы с отношением наибольшего размера к наименьшему не более 3, причем отношение высоты образца (расстояния между опорными поверхностями) к наименьшему поперечному размеру должно заключаться в пределах 0,5-3, а различие площадей опорных граней не должно быть более, чем полуторным. Параллельность опорных граней должна быть выполнена в пределах ± 0,5 мм. Минимальный размер образца не должен быть меньше 20 мм, а максимальный - больше 200 мм. Для обеспечения плотного прилегания образца к шлифованным плитам пресса верхняя плита должна иметь сферическое опирание, причем центр этого сферического шарнира должен устанавливаться на глаз над центром опорной грани образца (рис.24)

Предел прочности образца вычисляется по формуле

$$\sigma_c = \frac{8P}{(7+\frac{2\delta}{h})\alpha\delta}$$

где P - разрушающая образец нагрузка,

h - высота образца,

α, δ - соответственно, средние размеры ширины и длины образца в плоскости поперечного сечения.

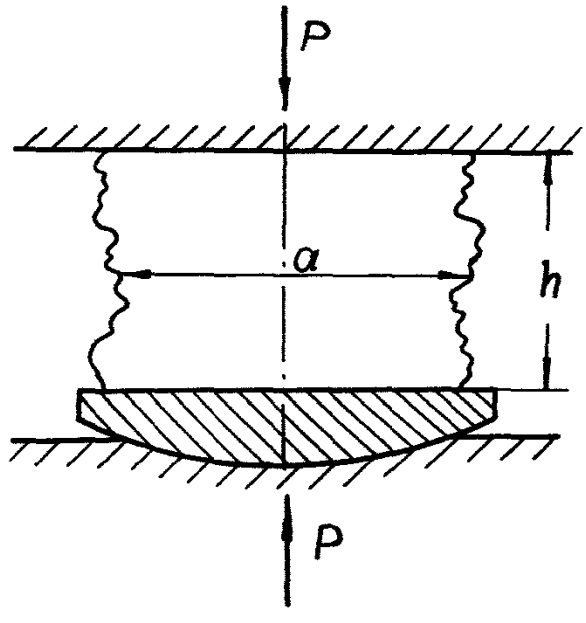


Рис. 24.

4. Определение предела прочности при одноосном сжатии методом соосных пуансонов

Этот упрощенный метод, пригодный для испытания пород крепостью от 2 до 20 (по Протодьяконову) удобен при следующих условиях испытаний:

а) малые размеры и количество породных проб, в частности при использовании кернов, нормально пробуренной в слоистом массиве скважины;

б) использование легких (мощностью 4-5 тонн) испытательных прессов,

в) высокая производительность испытаний, допускающая их массовость.

Испытание производится (8) сжатием до разрушения плоских дисковых породных образцов между плоскими же торцами двух цилиндрических соосно расположенных пуансонов (рис.25).

Размеры образцов для испытаний:

диаметр - от 30 мм до 100 мм (в зависимости от диаметра имеющегося керна);

толщина - 11-12 мм,

допуск непараллельности сторон диска - до 0,03 мм.

Испытание выполняется пуансонами диаметром 11,27 мм (для наиболее крепких пород 7,98 мм), соосность которых обеспечивается несложным приспособлением (типа БУ-4/9).

Предел прочности образца на одноосное сжатие определяется с помощью вспомогательных номограмм по величинам разрушающей нагрузки, диаметра образца и диаметра пуансонов.

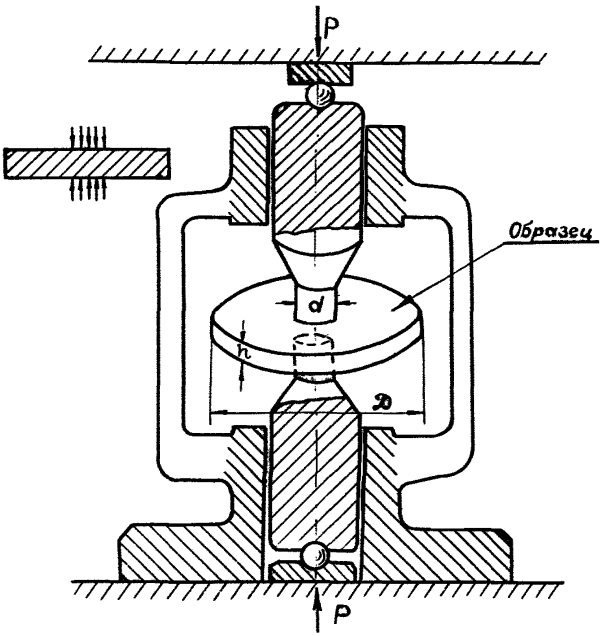


Рис. 25.

5. Определение предела прочности при одноосном сжатии путем раздавливания образцов неправильной формы

Этот весьма упрощенный метод (9), пригодный для испытания твердых горных пород, не нуждается в проведении камнерезных работ по вырезке и шлифовке породных образцов. Для испытания используются породные обломки, у которых три взаимно перпендикулярных размера отличаются друг от друга не более, чем в полтора раза при объеме образца (контролируемым путем взвешивания) в 100 ± 2 куб.см

Испытание производится раздавливанием образца между плоскими плитами пресса (см.рис.26). Следует отметить, что разрушение образца при этом происходит в результате действия возникших в нем растягивающих напряжений и суждение о прочности породы на сжатие по результатам такого испытания является косвенным, основываясь на примерно устойчивом для многих пород соотношении между прочностью на сжатие и прочностью на растяжение. Ввиду указанного этот метод следует считать весьма приближенным.

Предел прочности породы при сжатии вычисляется по формуле

$$\sigma_c \cong \frac{1}{0{,}19} \cdot \frac{P_{ср}}{\sqrt[3]{V^2}}$$

$P_{ср}$ - средняя для 15-25 образцов разрушающая нагрузка,

V - средний объем образца (в куб.см), определяемый взвешиванием всей партии образцов и объемным весом породы.

6. Определение предела прочности при одноосном растяжении прямым растяжением кернов

Этот метод (10) является наиболее представительным и точным из методов испытания на растяжение; проведение испытаний несложно,

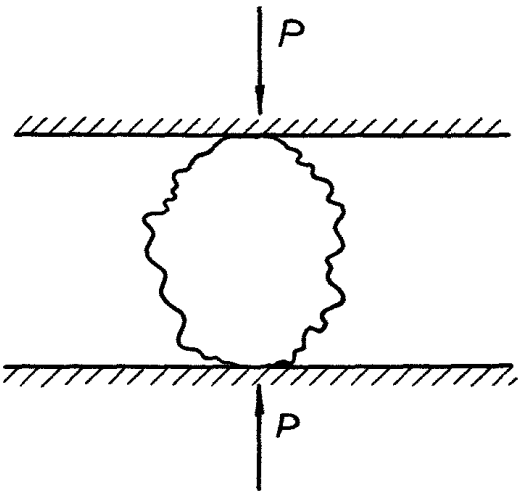


Рис. 26

однако требует наличия сравнительно длинных цилиндрических образцов (диаметр 30-43 мм) длина 150-200 мм) и специального несложного испытательного устройства типа ПР-2, что не всегда может оказаться доступным. Метод рассчитан на испытание твердых разновидностей пород крепостью (по Протодьяконову) от 2 и выше.

Испытание производится разрывом образца, скрепленного легкоплавким сплавом Вуда с двумя захватами, движущимися вдоль точно-выполненной цилиндрической направляющей устройства ПР-2 (см.рис. 27). Разрывающее усилие прикладывается к захватам гидравлически - маслом, нагнетаемым в корпус ПР-2. Разрывающее усилие контролируется по показаниям манометра гидравлической системы. Величина предела прочности образца на одноосное растяжение вычисляется делением разрывающей образец нагрузки на площадь поперечного сечения образца.

7. Определение предела прочности при одноосном растяжении путем раскалывания цилиндрических образцов

Этот метод (II), ранее применявшийся для испытания бетона и хрупких металлов, в настоящее время успешно применяется для испытания твердых горных пород (иногда под названием "бразильского" метода) и рекомендован Международным бюро по механике горных пород Достоинством метода является его простота: при использовании буровых кернов почти не требуется камнерезных работ по подготовке образцов для испытаний. Для испытаний рекомендуются отрезки (или обломки) керна длиной примерно равной его диаметру, причем диаметр керна может быть любым (рекомендуемый - 43 мм).

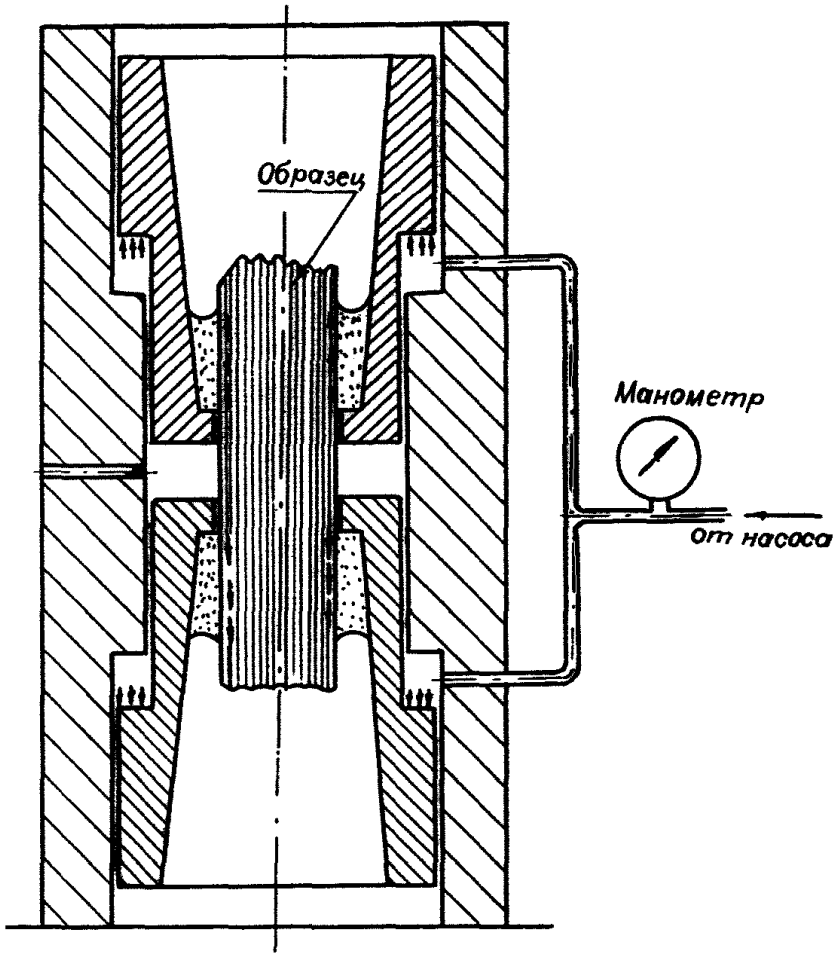


Рис. 27.

Для испытания образец, уложенный на бок, сдавливается до раскалывания между плоскими плитами испытательного пресса (см.рис.28). Раскалывание происходит по диаметральному сечению образца между местами его касания к плитам пресса. В этом сечении возникают растягивающие напряжения, разрывающие образец по достижении величины предела прочности. Связь растягивающих напряжений в образце с величиной прикладываемого прессом усилия (обусловленная упругими свойствами породы) позволяет по разрушающему усилию вычислять предел прочности при одноосном растяжении по формуле

$$\sigma_p = \frac{2P}{\pi d l}$$

где P - разрушающее усилие, развиваемое прессом,

d - диаметр образца,

l - длина образца.

8. Определение предела прочности при одноосном растяжении методом соосных пуансонов

Этот упрощенный метод (8) удобно применяется для испытания твердых горных пород при наличии тех же условий, что и при испытаниях методом соосных пуансонов на сжатие.

Для испытания используются дисковые образцы, аналогичные образцам для испытаний на сжатие, но с высверленным центральным отверстием диаметром II,35 мм, заполненным пластической мастикой. При испытании (рис.29) пуансоны сообщают давление мастике и это давление гидростатически передается на стенки отверстия, вызывая растягивающие напряжения в радиальных сечениях образца и разрыв последнего. Предел прочности на растяжение приближенно определяет-

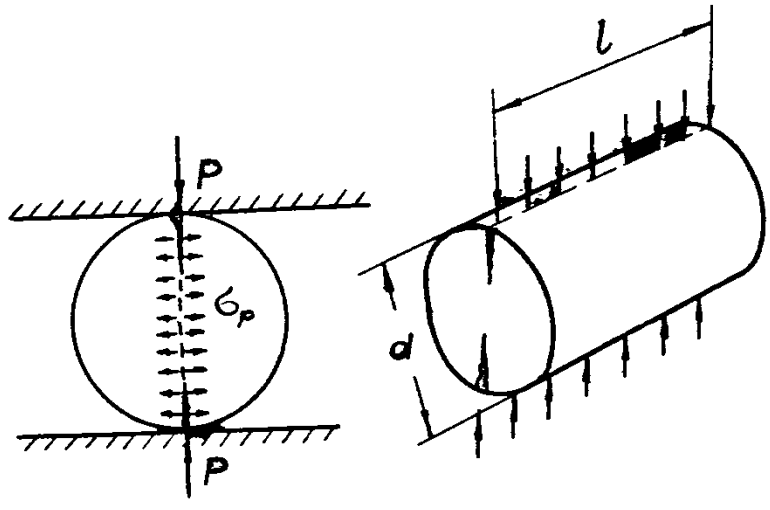


Рис. 28.

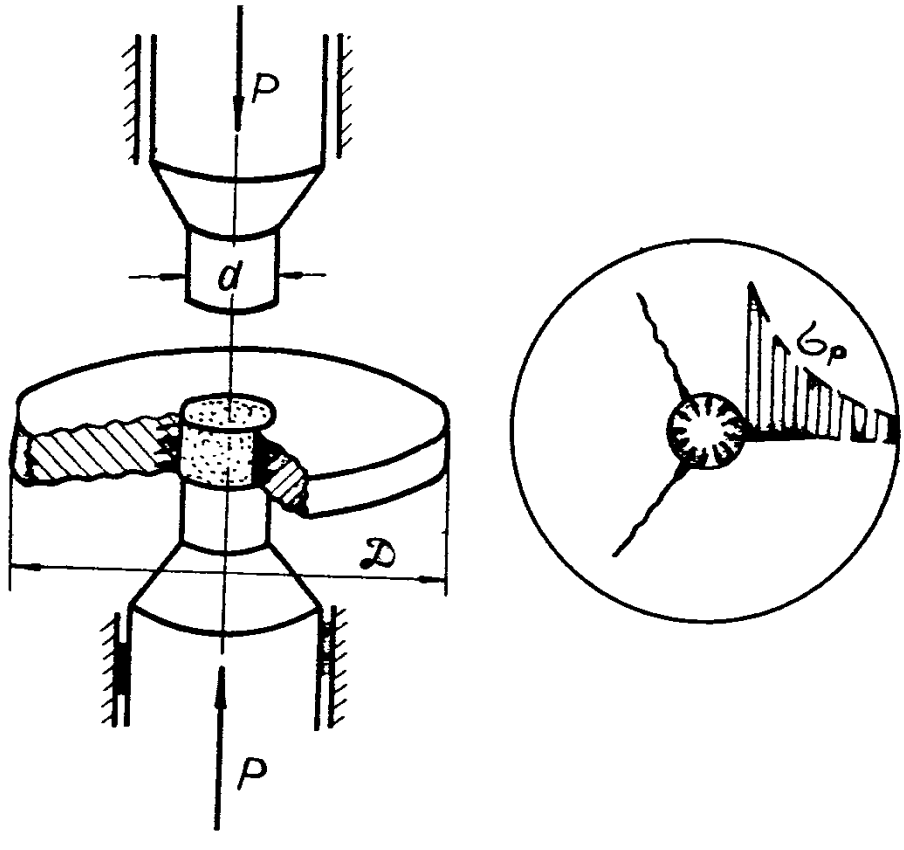


Рис. 29.

ся с помощью вспомогательных номограмм по величинам диаметра образца, диаметра пуансона и разрушающей нагрузки на пуансон.

9. Определение предела прочности при изгибе методом изгиба породных брусков

Этот метод (I2) испытания твердых горных пород состоит в нагружении до разрушения породных призматических брусков, свободно опирающихся на две опоры, сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета бруска (см.рис.30). Применяемые для этого призматические породные образцы должны иметь следующие размеры:

высота (h) - не менее 30 мм,

ширина (b) - (0,5-I,0)h , но не менее 30 мм,

длина (l) - не менее $9h$.

Предел прочности при изгибе рассчитывается по формуле

$$\sigma_{из} = \frac{1,5\,P\,l_1}{b\,h^2}$$

где l_1 - расстояние между опорами (не менее $8h$).

Для испытаний этим методом используется пресс, рассчитанный на невысокие нагрузки с несложными приспособлениями для укрепления и нагружения образца. Основной трудностью при применении этого метода испытаний являются сравнительно сложные и трудоемкие камерезные работы по изготовлению породных образцов, а также необходимость в значительных по размерам и количеству монолитов пород в качестве проб.

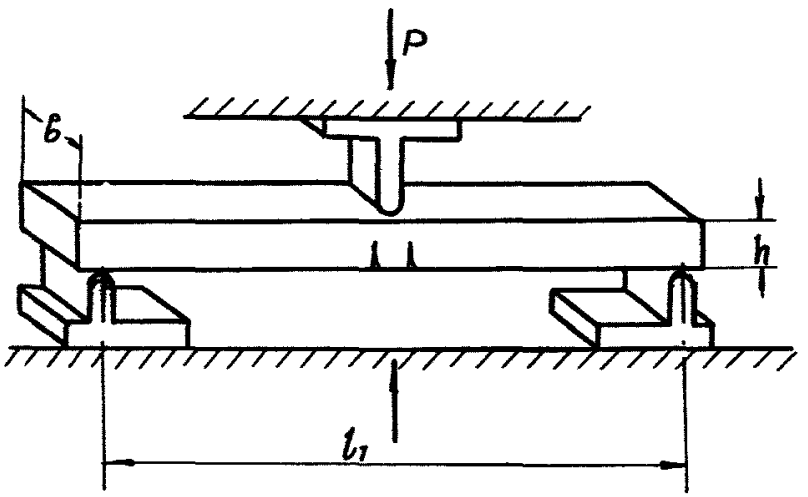


Рис. 30.

10. Определение предела прочности при изгибе методом соосного прогиба породных дисков

Этот упрощенный метод (13), называемый иногда методом КУГИ, удобно применяется для испытания твердых пород при наличии тех же условий, что и при испытаниях на растяжение и на сжатие методом соосных пуансонов. Образцами для испытаний служат породные диски, аналогичные образцам для испытаний на сжатие методом соосных пуансонов.

Испытание заключается в нагружении до разрушения образца, свободно опирающегося по периферии, соосно расположенным круглым или кольцевым плоским штампом (см.рис.31). Предел прочности при изгибе рассчитывается по формуле

$$\sigma_{из} = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{P}{h^2}\left[1+(1+\mu)\ln\frac{D}{d} - \frac{1}{4}(1-\mu)\frac{d^2}{D^2}\right]$$

где P - разрушающее усилие,

D - диаметр образца,

d - диаметр штампа,

h - толщина образца,

μ - коэффициент Пуассона.

11. Определение показателей объемной прочности в стабилометре с независимым приложением нагрузок

Испытание по этому методу (14) слагается из испытаний нескольких цилиндрических образцов породы, доведением их до разрушения соответственно различными сочетаниями главных сжимающих напряжений: возрастающим до момента разрушения осевым давлением на торцы образца при поддержании постоянного, выбранного для каждого об-

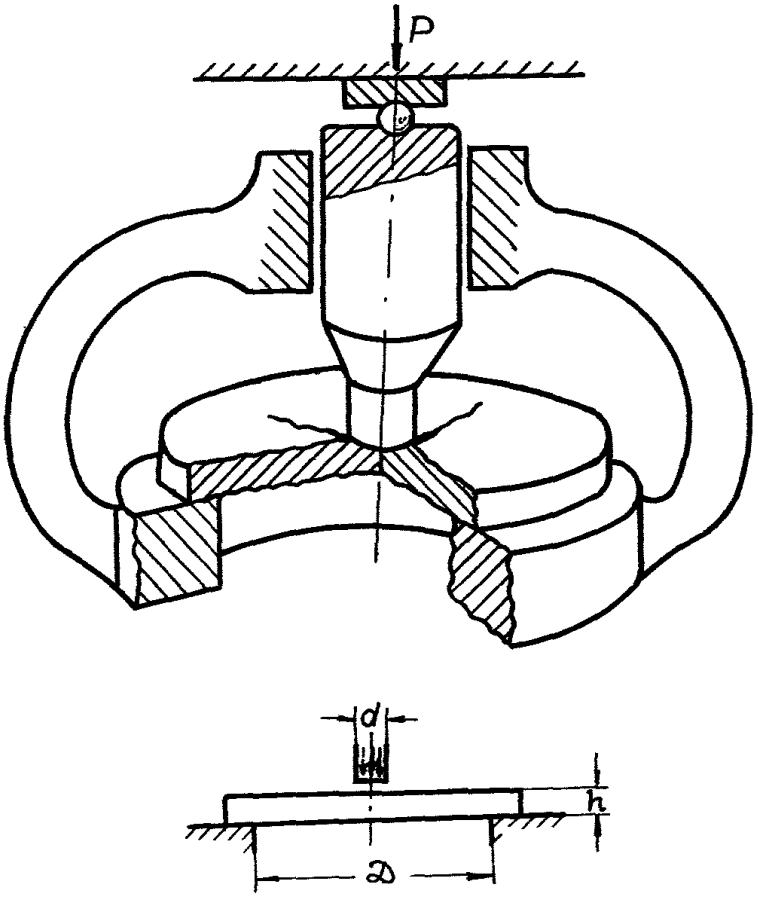


Рис. 3I.

разца гидростатического давления на его боковую поверхность (рис.32). Для осуществления этих нагрузок на образец применяется стабилометр (рис.33) - герметически закрывающаяся камера, наполненная жидкостью, нагнетаемой под давлением, сообщающимся боковой поверхности образца, помещенного в камеру. Осевая нагрузка образцу сообщается плунжером, пропущенным в камеру через уплотненное отверстие. Усилие плунжеру сообщается прессом, иногда конструктивно составляющим часть стабилометра.

Результаты испытаний - пары разрушающих каждый образец главных напряжений изображаются графически в виде предельных кругов Мора в осях "σ-τ" с вычерченной общей огибающей этих кругов (паспортом объемной прочности). Показатели объемной прочности - коэффициент сцепления и угол внутреннего трения определяются из очертания этой огибающей (рис.I).

Этот метод применим к твердым и пластичным, а иногда и к трещиноватым и рыхлым породам, давая надежные точные и представительные результаты; однако он требует для применения аппаратуры (стабилометров), промышленный выпуск которых еще не налажен.

I2. Определение показателей объемной прочности методом косого среза в подуматрицах

Этот,упрощенный по сравнению с предыдущим, метод (I5) рассчитан на испытание пород, крепостью по Протодьяконову от 2 до I2 , главным образом твердых, иногда трещиноватых и пластичных. Испытание состоит в разрушении ряда цилиндрических породных образцов различными сочетаниями сжимающих (нормальных) и сдвигаю-

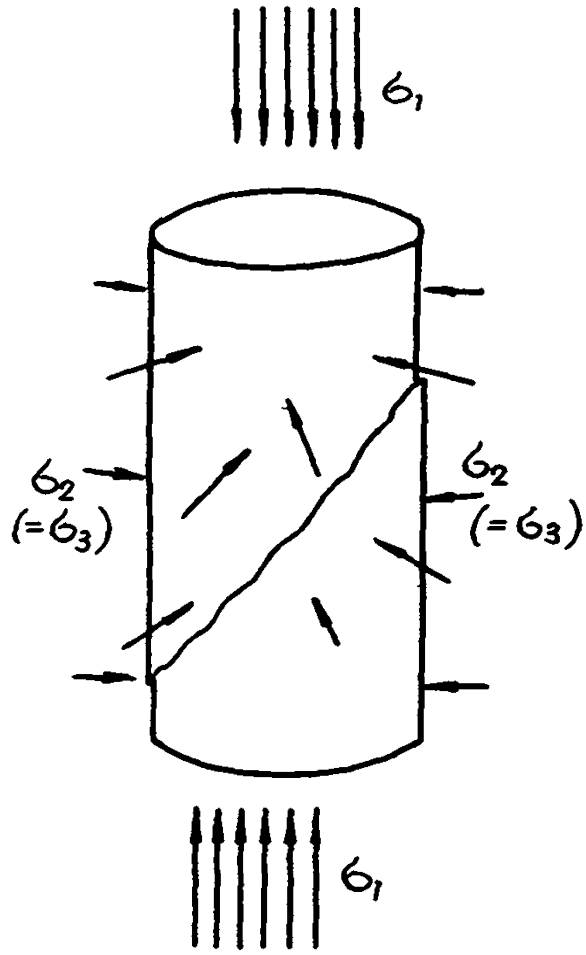


Fig. 32.

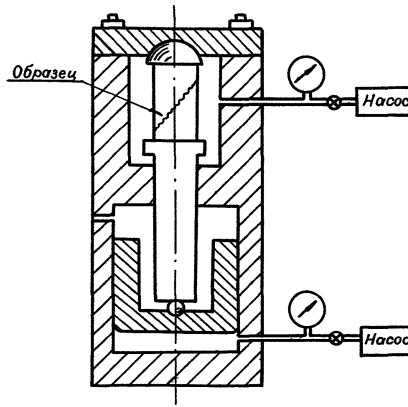


Рис. 33.

щих (касательных) нагрузок, принудительно задаваемых в фиксированном сечении образца, что осуществляется соответствующим наклоном стальных полуматриц, облегающих образец (рис.34). Набор этих наклонных полуматриц с соответствующими центрирующими устройствами составляет необходимое для испытаний приспособление к испытательному прессу. Последний для целей испытаний на косой срез должен иметь значительную мощность, так как испытания этим методом требуют применения больших усилий.

Для определения по результатам испытаний показателей объемной прочности породы, на графике в осях "$\sigma-\tau$" от начала координат откладываются под углами, равными углам ориентировки срезаемого сечения относительно направления нагрузки, радиус-векторы полных разрушающих напряжений в срезаемом сечении образца (рис.35). Величины этих радиус-векторов определяются делением разрушающей образец нагрузки на площадь срезанного сечения. Концы радиус-векторов полных разрушающих напряжений для различно-ориентированных образцов соединяются и образуют график паспорта объемной прочности породы.

Метод косого среза нуждается в значительно более простых приспособлениях по сравнению с использованием стабилометров, однако он значительно менее представителен и точен.

I3. Определение показателей деформативности твердых пород при одноосном сжатии

Испытание этим методом (I6),заключается в одноосном сжатии цилиндрического образца породы и измерении его деформаций с от-

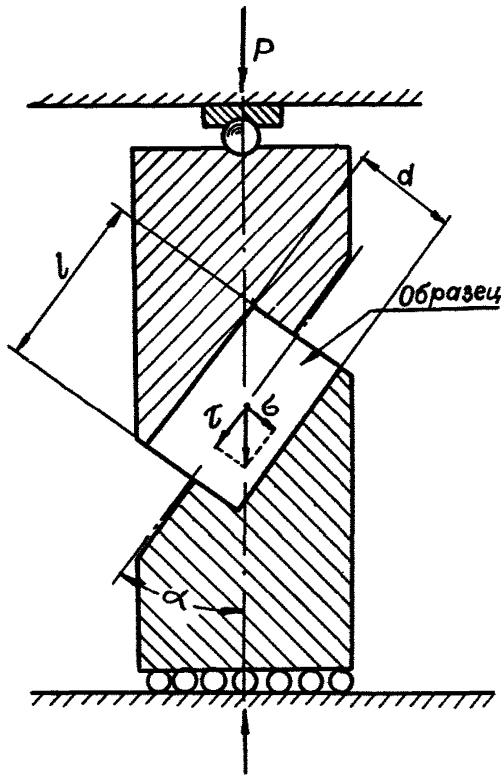


Рис. 34.

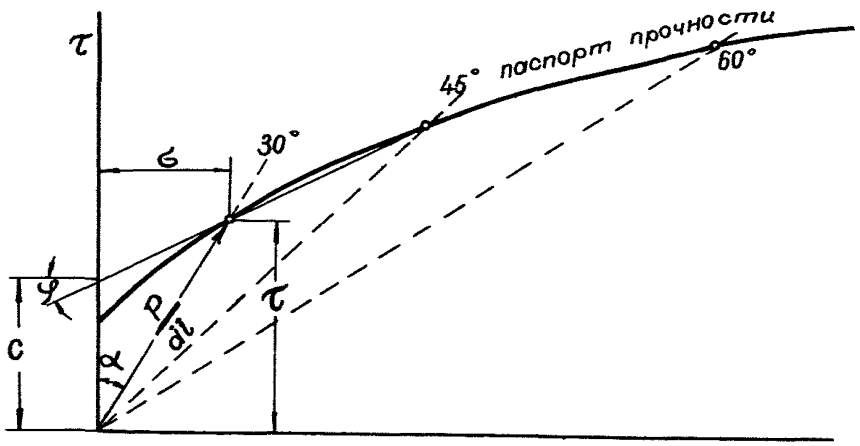


Рис. 35.

несением этих деформаций к напряжениям в образце, задаваемым нагрузками. Способ приложения к образцу испытательных нагрузок при этом таков же, как при испытании прочности породы на одноосное сжатие, однако величины нагрузок не доводятся до разрушающих. Для раздельного определения упругих и остаточных деформаций, режим нагружения предусматривает ступенчатое увеличение нагрузок со снятием нагрузки после каждой ступени. Измерение деформаций образца осуществляется тензометрическими устройствами, закрепленными на поверхности образца в средней по высоте его части. В качестве тензометров применяются наклеиваемые на образец проволочные тензометры сопротивления, подключаемые к тензометрической станции (I7), или точные индикаторы часового типа, укрепляемые на образце специальными хомутами. Тензометры закрепляются на образце как в направлении приложения нагрузки, так и в поперечном направлении, что дает возможность определения как модулей упругости (и модулей деформации), так и коэффициента Пуассона:

модуль упругости $E_{упр} = \frac{P_{раз}}{S \cdot \varepsilon_{упр.прод.}}$;

модуль деформации $E_{полн} = \frac{P_{нагр}}{S \cdot \varepsilon_{полн.прод.}}$;

коэффициент Пуассона $\mu_{упр} = \frac{\varepsilon_{упр.попер.}}{\varepsilon_{упр.прод.}}$;

Коэффициент поперечных деформаций (по полным деформациям)

$$\mu_{полн} = \frac{\varepsilon_{полн.попер.}}{\varepsilon_{полн.прод.}}$$

Здесь $\varepsilon_{полн.прод.}$ - полная продольная деформация (относительная);[0],

$\varepsilon_{полн.попер.}$ - полная поперечная деформация (относительная),[8]

$\varepsilon_{упр.прод.}$ – упругая (при разгрузке) продольная деформация (относительная),

$\varepsilon_{упр.попер.}$ – упругая (при разгрузке) поперечная деформация (относительная),

S – площадь поперечного сечения образца,

$P_{раз}$ – величина снимаемой нагрузки, отвечающая упругим деформациям,

$P_{нагр.}$ – нагружающее усилие, отвечающее величинам полных деформаций.

Применение этого метода к слабым (пластичным и трещиноватым) породам сопровождается значительными погрешностями и может быть допущено лишь для грубых оценок деформативности.

I4. Определение показателей упругости твердых пород по скорости прохождения ультразвука

Из разных методов и приборов, использующих прямую зависимость от упругости материала скорости распространения в нем механических волн (продольных, поперечных, поверхностных) рекомендуется метод (I8), заключающийся в пропускании вдоль цилиндрического образца породы двух видов колебаний; продольных и поверхностных, генерируемых сейсмоскопом типа ИПА, сообщаемых образцу и воспринимаемых от образца пьезоэлектрическими датчиками, контактирующими с шлифованными торцами образца. Образцы породы должны иметь диаметр не менее 40 мм, а длину в пределах 60–I50 мм. Вычисление показателей упругости породы ведется по формулам:

Коэф.Пуассона $$\mu = \frac{0{,}8\,(v_{прод}/v_{пов})^2 - 2}{2\left[0{,}8\,(v_{прод}/v_{пов})^2 - 1\right]}$$

Модуль упругости

$$E = V_{прод}^2 \rho \cdot \frac{1-\mu-2\mu^2}{1-\mu}$$

где ρ – объемный вес породы,

$V_{прод}$ – скорость прохождения в образце продольных волн,

$V_{пов.}$ – скорость прохождения по образцу поверхностных волн.

Этот метод менее представителен, чем предыдущий (особенно – для пористых пород), но значительно доступнее и проще в использовании.

I5. Определение показателей бокового распора слабых пород

Этот метод (I9) дает наиболее надежные и представительные показатели деформативности пластичных пород. Вместе с тем, сложность испытаний и необходимость в использовании довольно сложной аппаратуры, выпуск которой еще не налажен, делают этот метод доступным в настоящее время лишь ограниченному числу организаций, преимущественно – научно-исследовательских.

Установка для испытаний на боковой распор представляет собой специальный стабилометр (см.рис.36) с раздельным контролем осевого давления на торцы цилиндрического образца испытываемой породы, бокового гидростатического давления на его боковую поверхность и относительных поперечных деформаций образца. Показатели бокового распора породы определяются по соотношению этих величин при осуществлении предусмотренной методикой последовательности нагружения образца, причем управление этим режимом выполняется с помощью специального электронного автоматического устройства, входящего в комплект установки.

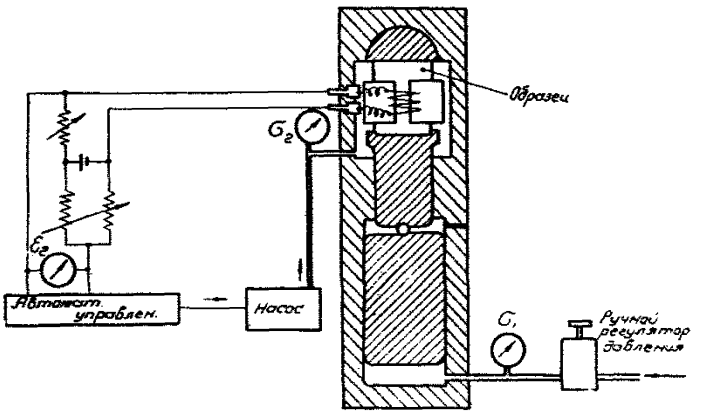

Образец
G_2
G_1
Автомат. управлен.
Насос
G_1
Ручной регулятор давления

Рис. 36.

Коэффициент бокового распора вычисляется по формуле

$$A = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (\text{при } \varepsilon_2 = 0), \text{ где:}$$

σ_1 - постоянная при испытании величина осевого давления на образец,

ε_2 - поперечная относительная деформация образца,

σ_2 - величина давления на боковую поверхность образца (по значению σ_2 при приложении к образцу нагрузок вычисляется коэффициент бокового распора при кратковременном действии нагрузки; по значению σ_2 после завершения релаксации напряжений вычисляется коэффициент бокового давления при длительном действии нагрузок).

Коэффициент Пуассона вычисляется по формуле

$$\mu = \frac{A}{1 + A}$$

Коэффициент поперечной разгрузки вычисляется по формуле

$$B = \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\varepsilon_2}$$

где $\Delta\sigma_2$ - величина изменения бокового давления, возникающего при задании образцу боковой деформации $\Delta\varepsilon_2$ (при неизменном осевом давлении σ_1).

Модуль деформации породы вычисляется по формуле

$$E = \frac{B}{1 + A}$$

16. Определение реологических показателей слабых горных пород при одноосном сжатии

Этот метод предусматривает нагружение нескольких цилиндрических образцов породы одноосно сжимающими нагрузками, постоянными во времени и длительно действующими, но различными по величине (однако не превышающими предел прочности) для различных об-

разцов. При испытании непрерывно или периодически измеряются нарастающие во времени деформации ползучести образцов. Испытание каждого образца продолжается до прекращения роста деформаций, либо до стабилизации их скорости.

Испытательная аппаратура представляет собою комплект нагрузочных устройств по числу одновременно испытываемых образцов (грузорычажных, пружинных или гидравлических устройств со сжатым газом), рассчитанных на длительное постоянство поддерживаемых нагрузок, а также стабильных во времени тензометрических устройств.

В результате испытаний для каждого образца строится график зависимости деформации от времени действия нагрузки (график ползучести). Надлежащая вычислительная обработка параметров этих графиков позволяет установить реологическую схему (реологический тип породы: вязкая, упруго-вязкая, вязко-пластичная и т.п.) и величины реологических показателей породы: пределы упругости и текучести, коэффициент вязкости и пр.

Изложенный метод в настоящее время еще не получил широкого распространения и применялся лишь научно-исследовательскими организациями, преимущественно - к слабым породам и реже - к породам средней крепости.

I7. Определение набухаемости слабых и средней крепости горных пород

Метод таких испытаний (20) состоит в измерении деформации цилиндрического образца породы (для пород, разрушающихся при выбуривании - образца неправильной формы), вызванной замачиванием его в воде. Исходные образцы должны иметь естественную влажность,

присущую месту отбора пробы. (В необходимых случаях набухаемость пород может определяться для образцов с иной исходной влажностью, вплоть до полностью высушенных). Замачивание образца производится так, чтобы образец был полностью покрыт водой. Испытание продолжается до полного прекращения роста деформации набухания.

В качестве аппаратуры для определения деформации набухания удобно использовать компрессионный прибор с индикатором часового типа или аналогичное устройство (рис.37)

Набухаемость породы (в %%) определяется отнесением полной деформации набухания к высоте образца.

I8. О численности образцов, подвергаемых испытанию

Методы опытного определения показателей физико-механических свойств пород предусматривают определение как средних для данной пробы породы величин этих показателей, так и их вариаций, обусловленных стохастическим характером этих величин вследствие естественной неоднородности сложения породы. Определение обеих этих величин (средней и вариации) достигается тем, что единообразным испытаниям подвергается по нескольку образцов каждой пробы, а результаты этих испытаний, характеризующиеся некоторым разбросом, подвергаются соответствующей статистической обработке. С точки зрения статистики такая партия образцов по отношению к опробуемой породе является случайной выборкой по отношению к генеральной совокупности случайного распределения величины определяемого показателя породы по всему объему ее массива. При этом вычисление показателей этого распределения (коэффициента вариации, стандарта

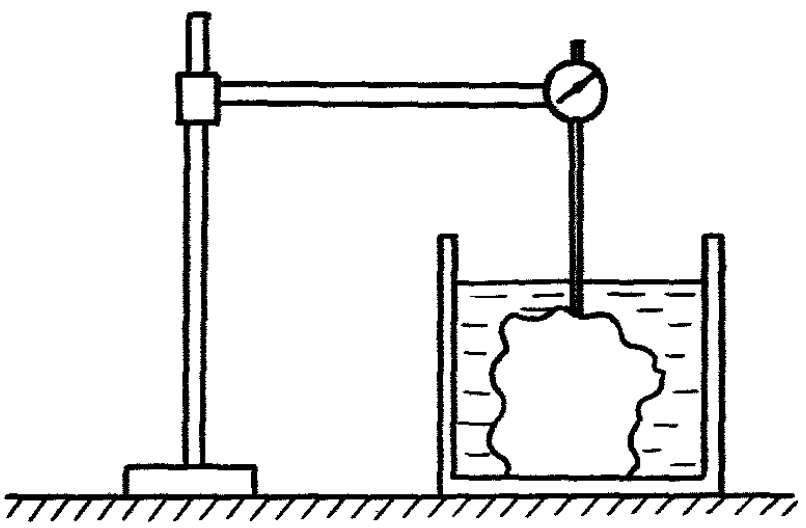


Рис. 37

или дисперсии) по результатам выборки может быть выполнено с определенной ограниченной степенью надежности, зависящей от числа испытанных образцов в опробуемой выборке.

Наиболее надежные результаты определения как исследуемого показателя породы, так и ее статистического распределения, получаются при испытании весьма многочисленной партии образцов (несколько сотен или даже тысяч штук). По результатам таких испытаний удается установить кроме средней величины и вариации определяемого показателя породы, также и вид его статистического распределения. Этим путем выясняется, является ли разброс испытаний следствием случайного характера неоднородности породы или отражает систематическое различие свойств породы в различных местах ее залегания вследствие, например, литологических особенностей. В последнем случае очевидно, что эти места массива должны опробоваться отдельно друг от друга, как различные разновидности породы.

Статистическое распределение определяемого показателя графически изображается **гистограммой** (рис.38), где величины определяемых испытанием показателей единичных образцов откладываются в функции от частоты повторяемости этих результатов в опробуемой партии (пробе). При гистограмме близкой к нормальному распределению, средняя величина измеряемого показателя породы определяется максимумом гистограммы, величина же отклонений в обе стороны от этого максимума зависит от принимаемого в расчет числа образцов, обеспечивающих надежность результатов, причем величина этой надежности оценивается отношением этого числа образцов (принимаемых, как надежные) к общему числу испытанных образцов партии.

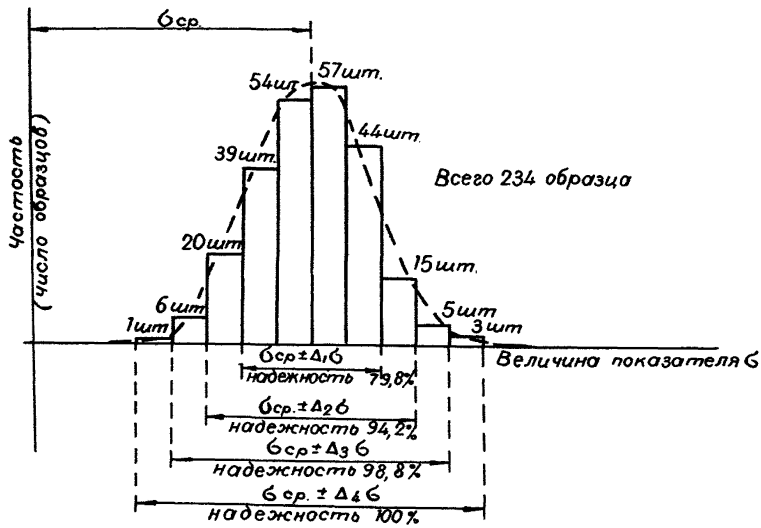

σср.
Частость (число образцов)
1шт
6шт
20шт
39шт
54шт
57шт.
44шт.
15шт.
5шт
3шт
Всего 234 образца
Величина показателя σ
σср ± Δ1σ
надежность 79,8%
σср.± Δ2σ
надежность 94,2%
σср ± Δ3 σ
надежность 98,8%
σ ср. ± Δ4σ
надежность 100%

Рис. 38.

Проведение испытаний больших партий образцов большей частью бывает недоступно, вследствие ограниченности объема проб, и потому, допуская несколько меньшую надежность, обычно испытания проводят на относительно малочисленных партиях образцов. В этом случае оценка определяемого испытаниями свойства породы производится вероятными величинами:

а) средне-выборочным значением определяемого показателя (являющимся вероятным значением показателя " σ " породы)

$$\sigma_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \sigma_i$$

n -число образцов в выборке (партии),

σ_i - результат испытания i -го образца;

б) доверительным интервалом отклонений результатов испытаний отдельных образцов от величины $\sigma_{ср}$

$$\Delta_\sigma \cong \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (\sigma_i - \sigma_{ср})^2}$$

или коэффициентом вариации определяемого показателя

$$V = \frac{\Delta_\sigma}{\sigma_{ср}} \cdot 100\%$$

в) надежностью определения доверительного интервала значений определяемого показателя, зависящей от числа образцов (объема выборки); эта зависимость (вычисленная на основании положений теории выборок по значениям функции Стьюдента) дается таблицей (I2).

Таблица I2

Число образцов	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I2	I4	I6
Надежность %	6I,0	77,0	86,0	9I,0	94,0	96,0	97,5	99,0	99,2	99,4	99,7	99,8

В случаях, когда при малом числе образцов, отвечающая по таблице этому числу надежность результатов испытаний по какой либо причине не может быть принята как удовлетворительная, повышение надежности без увеличения числа образцов может быть достигнуто за счет соответствующего расширения доверительного интервала.

В заключение, учитывая замечания, изложенные в начале главы, о временном характере рекомендаций методов испытаний горных пород, вследствие их недоработанности, в табл.I3 приводится перечень методов испытаний, рекомендуемых к проведению в составе работ по разведке месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

I. СОНИН С.Д., СЕЛЕЦКИЙ Р.А. и др. Подземная разработка пластовых месторождений. ГНТИ. 1961.

2. АГОШКОВ М.И.,БОРИСОВ С.С.,БОЯРСКИЙ В.А. Разработка рудных и россыпных месторождений. Госгортехиздат. 1962.

3. Гос.Комиссия по запасам полезных ископаемых. Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям угля и горючих сланцев, железных руд, медных руд, оловянных руд, марганцевых руд, никелевых руд, бокситов, ископаемых солей, строительных камней и пр. Госгеолтехиздат. 1960-1961.

4. ВНИМИ. Инструкция по отбору проб горных пород. Изд.ВНИМИ,1960.

5. ГОСТ 8462-62. Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

6. ПРОТОДЬЯКОНОВ М.М. Международное совещание по прочности горных пород в Праге. Сб.Исследования физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением. 1962.

7. ВНИМИ. Инструкция по приближенному испытанию образцов горных пород неправильной формы на одноосное сжатие. Изд. ВНИМИ. 1964.

8. ВНИМИ. Руководство по механическим испытаниям горных пород методом соосных пуансонов. Изд.ВНИМИ. 1960.

9. ПРОТОДЬЯКОНОВ М.М.,ВОБЛИКОВ В.С. Определение крепости горных пород на образцах неправильной формы. Журн. Уголь № 4. 1957.

10. ВНИМИ. Методическое указание по испытанию прочности горных пород на одноосное растяжение. Изд.ВНИМИ. 1964.

11. ПФЛАУМЕР О.Э. Определение на сжимаемых цилиндрических образцах прочности бетона при растяжении. Журн. Бетон и железобетон № 1. 1959.

12. ДонУГИ.Исследование механических свойств горных пород Донецкого бассейна. Углетехиздат. 1951.

13. РУППЕНЕЙТ К.В. Механические свойства горных пород. 1956.

14. ВНИМИ. Руководство по проведению испытаний объемной прочности на сжатие горных пород. Изд.ВНИМИ. 1964.

I5. ВНИМИ. Методика лабораторного определения прочности горных пород на сдвиг (срез). Изд.ВНИМИ. I96I.

I6. ВНИМИ. Методика лабораторного определения показателей статической упругости горных пород. Изд.ВНИМИ. I96I.

I7. ВНИМИ. Инструкция по применению тензометрической станции УИМ-62 для определения деформаций образцов горных пород. Изд.ВНИМИ. I964.

I8. ВСЕГЕИ и ВНИИГеофизика. Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых. I962.

I9. ВНИМИ. Руководство по проведению испытаний слабых горных пород на боковой распор. Изд.ВНИМИ. I96I.

20. ВАСИЛЬЕВ А.М. - Основы современной методики и техники лабораторных определений физических свойств грунтов. Машстройиздат. I949.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

I. Предисловие 3

II. Состояние вопроса 7

III. Важнейшие механические свойства пород, влияющие на горное давление и сдвижение при ведении горных работ 14

IУ. Влияние механических свойств горных пород на геомеханические процессы 31

У. Использование сведений о механических свойствах горных пород 84

УI. Состав сведений о механических свойствах пород, необходимых для промышленного освоения месторождений полезных ископаемых 88

УП. Опробование горных пород 105

УШ. Методы механических испытаний горных пород 114

Литература 156

Таблица I

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(по С.Д.Сонину)

Системы разработки	Глубина разработки		Свита пластов			Нарушенность пластов		Мощность		Выдержанность по мощности		Падение			Выдержанность по падению		Строение пластов	Крепость угля			Устойчивость пород		Газоносность		Самовозгораемость		Обводненность		Пучимость пород	
	средняя	большая	одиночн.пласт	удаленн.пласты	сближен.пласты	не нарушен.	нарушен.	мощные	средние	тонкие	выдержанные	не выдержанные	пологое	наклонное	крутое	выдержанное	не выдержанное	простое	сложное	слабый	средний	крепкий	неустойчивые	средне-устойч.	устойчивые	мало-газоносн.	газоносное	не самовозгор.	самовозгорающ.	не обводнен.	обводненное	пучащие	не пучащие
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I	32	33	34
I. Системы разработки тонких пластов и пластов средней мощности:																																	
А. Сплошные системы разработки пологих и наклонных пластов:																																	
I. Система разработки лава-этаж	р	р	р	р	р	р	н	н	р	р	р	д	р	р	н	р	д	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р	р	д	р	д	р	р
2. Сист.разр.с разделением этажа на подэтажи	р	р	р	р	р	р	р	н	д	р	р	р	р	д	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	д	р	р
3. Сист.разр.с выемкой по восстанию	р	р	р	р	р	р	с	н	д	р	р	с	р	н	н	р	с	р	р	р	р	р	д	д	р	р	р	р	д	р	р	р	р
Б. Сплошные системы разработки крутопадающих пластов:																																	
I. С.р.лава-этаж по простиранию с потолкоуступным забоем	р	р	р	р	р	р	д	н	н	р	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	д	р	д	р	д	р	р
2. С.р.лава-этаж по простиранию с прямолинейным забоем (в т.ч.стругами и пилами)	р	р	р	р	р	р	н	н	н	р	р	р	н	н	р	р	д	р	р	р	р	н	н	с	р	р	р	р	д	р	д	р	р
3. С.р.по простиранию с разделением этажа на подэтажи	р	р	р	р	р	р	с	н	р	р	р	д	н	н	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	д	р	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I	32	33	34
В. Столбовые сист.разработки пологих и наклонных пластов:																																	
I. С.р.длинными столбами по простиранию, лава-этаж	р	р	р	р	р	р	р	н	р	д	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	с	р
2. С.р.длинными столбами по простиранию с разделением этажа на подэтажи	р	р	р	р	р	р	р	н	д	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р	р	д	р	р	д	р
3. С.р.длинными столбами по восстанию	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р	д	р	р	д	р
4. С.р.длинными столбами горизонтальных пластов	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
5. С.р.короткими столбами	р	р	р	р	д	д	р	н	р	н	р	р	р	д	с	р	р	р	р	р	р	р	р	д	с	р	н	р	с	р	р	р	р
Г. Столбовые системы разработки крутопадающих пластов:																																	
I. С.р.тонких пластов длинными столбами по простиранию	д	р	р	р	р	р	р	н	н	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
2. С.р.пластов средней мощности длинными столбами по простиранию	д	р	д	д	р	р	р	с	р	н	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
3. С.р.длинными столбами по простиранию с выемкой столбов полосами по восстанию	д	р	р	р	р	р	н	н	р	р	р	с	н	н	р	р	с	р	р	р	н	н	н	р	р	р	р	р	н	р	р	д	р
4. С.р.длинными столбами по восстанию с выемкой по падению (щитовая)	д	р	р	р	р	р	н	р	р	н	р	н	н	н	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
Д. Камерная система разработки горизонтальных и пологих пластов	р	н	р	д	н	р	р	н	р	с	р	р	р	н	н	р	р	р	р	н	д	р	н	н	р	р	н	р	н	р	д	р	р
Е. Комбинированные системы разработки:																																	
I. Сплошная система со столбовой сист.	р	р	р	р	р	р	д	н	н	р	р	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
2. С.р.камерно-столбовая	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
П. Системы разработки мощных и средне-мощных пластов на полную мощность:																																	
А. Сист.разработки пологих пластов длинными столбами:																																	
I. С.р.длинными столбами по простиранию с гидрозакладкой	р	р	р	р	р	р	р	н	р	н	р	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
2. С.р.длинными столбами по восстанию с гидрозакладкой	р	р	р	р	р	р	н	н	р	н	р	н	р	и	н	р	н	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I	32	33	34
Б. Сист.разработки крутопадающих пластов длинными столбами по простиранию:																																	
I. С.р.с выемкой столбов по простиранию лавами	д	р	д	д	р	р	р	н	р	н	р	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р
2. С.р.с выемкой столбов полосами по восстанию	д	р	р	р	р	р	н	н	р	н	р	с	н	н	р	р	с	р	р	р	н	н	н	р	р	р	р	р	н	р	р	д	р
В. Сист.разработки наклонных и крутопадающих пластов длинными столбами по восстанию с выемкой по падению и применением щитов:																																	
I. С.р.плоскими одинарными секционными щитами	р	д	р			р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
2. С.р.плоскими одинарн.бессекционными щитами	р	д	р			р	н	р	р	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
3. С.р.плоскими сдвоенными щитами	р	д	р			р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
4. С.р.плоскими одинарными щитами при послойной разработке	р	д	р			р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
5. С.р.плоскими щитами с принудительным перемещением (МЗЛ-2)	р	д	р			р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
6. С.р.щитами арочными,ЩК, КВКП	р	д	р			р	н	н	р	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
Г. Камерная сист.разработки	р	с	р	д	н	р	д	р	д	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	с	д	р	н	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
Д. Сист.разработки подэтажными штреками	р	р	р	р	р	р	д	н	р	н	р	р	н	н	р	р	р	р	р	н	н	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р
Ш. Слоевые системы разработки мощных пластов:																																	
А. Системы разработки наклонными слоями:																																	
I. С.р.пологих и наклонных пластов в нисходящем порядке слоев с обрушением кровли	р	р	р	р	н	р	н	р	н	н	р	н	р	р	н	р	н	д	р	д	р	р	с	р	с	р	р	р	с	р	р	р	р
2. С.р.пологих и наклонных пластов с закладкой (в восходящем или нисходящем порядке)	р	р	р	р	р	р	н	р	н	н	р	н	р	р	н	р	н	д	р	д	д	р	н	н	р	р	р	д	р	р	р	р	р
3. С.р.крутопадающих пластов в восходящем порядке слоев длинными столбами по простиранию с закладкой	р	р	р	р	с	р	с	р	н	н	р	с	н	н	р	р	н	д	р	н	р	р	н	р	д	р	р	р	с	р	р	р	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I	32	33	34
4. С.р.крутопадающих пластов в восходящем порядке слоев полосами по простиранию с закладкой	р	р	р	р	с	р	с	р	н	н	р	с	н	р	р	р	с	д	р	н	р	р	н	р	р	р	д	р	с	р	р	р	р
5. С.р.крутопадающих пластов в нисходящем порядке слоев с закладкой	р	р	р	р	с	р	с	р	н	н	р	с	н	н	р	р	с	д	р	р	р	р	с	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
6. С.р.крутопадающих пластов в нисходящем порядке слоев полосами по простиранию	р	р	р	р	с	р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	д	р	р	р	р	с	р	р	р	р	р	д	р	р	р	р
7. С.р.крутопадающих пластов в нисходящем порядке слоев длинными столбами по простиранию с обруш.	р	р	р	р	с	р	р	р	н	н	р	р	н	н	р	р	р	д	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
Б. Системы разработки горизонтальными слоями:																																	
I. С.р.в восходящем порядке слоев с закладкой	р	р	р	с	н	д	р	р	н	н	д	р	д	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	с	р	р
2. С.р.в нисходящем порядке слоев с закладкой	р	р	р	с	н	д	р	р	н	н	д	р	д	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
3. С.р.с обрушением боковых и покрывающих пород	р	р	р	с	н	д	р	р	н	н	д	р	д	р	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	с	р	р	р	р
В. Система разработки поперечно-наклонными слоями в восходящем порядке слоев с закладкой	р	р	р	р	д	р	с	р	н	н	р	с	н	и	р	р	с	р	р	н	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р

р - применение системы рекомендуется

д - применение системы допускается

с - применение системы допускается в исключительных случаях

н - применение системы невозможно или не допускается

Таблица 2

УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(по М.И.Агошкову)

	Системы разработки	Морфология рудного тела										Ценность руды		Распределение качества руды		Крепость						Контакты руды с боками		Возгораемость руды		Слеживаемость руды		Водоносность		Охрана поверхности	
		Глубина		Форма		Мощность			Падение							руды			пород												
		большая	средняя	правильн.	неправильн.	мощное	среднее	тонкое	крутое	наклонное	пологое	высокая	низкая	равномерн.	неравномер.	крепкая	средняя	слабая	устойчив.	средне-уст.	неустойчив.	резкие	не резкие	самовозгор.	несамовозгор	слеживаем.	неслежив.	водонос.	не водонос.	охраняемая	не охраняем.
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I8	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I
I.	Системы разработки с открытым очистным пространством:																														
	А. Почвоуступные сист.разработки:																														
	I. С.р.без нижнего откаточного штрека	с	р	д	р	н	д	р	р	д	н	р	н	с	р	с	д	р	р	с	н	р	д	р	р	р	р	н	р	р	р
	2. С.р.с нижним откаточ ым штреком	с	р	д	р	н	с	р	р	д	с	р	н	р	р	н	с	р	р	с	н	р	д	р	р	р	р	р	р	с	р
2.	Б. Потолкоуступные сист.разработки:																														
	I. С.р.с доставкой руды действием собственного веса	н	р	р	р	н	д	р	р	д	н	р	р	р	р	р	д	н	р	д	н	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р
	2. С.р. с частичным магазинированием	н	р	р	р	н	д	р	р	д	н	р	р	р	р	р	д	н	р	д	н	р	р	д	р	р	р	р	р	н	р
	В. Сист.разработки со сплошной выемкой:																														
	I. С.р.маломощных рудных тел	н	р	р	д	н	с	р	н	с	р	д	р	р	р	р	р	д	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р
	2. С.Р.мощных рудных тел с оставлением нерегулярных целиков	н	р	р	р	р	с	н	н	с	р	н	р	р	р	р	н	н	р	н	н	р	р	р	р	р	р	р	р	н	р
	Г. Камерно-столбовые сист.разработки:																														
	I. С.р.с потолкоуступной отбойкой и врем.магазинированием	н	р	р	р	н	р	с	н	д	р	н	р	р	с	р	н	н	р	н	н	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р
	2. С.р.с центрально-разрезной траншеей	н	р	р	р	р	р	н	н	д	р	н	р	р	с	р	н	н	р	н	н	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р
	3. С.р.с отбойкой руды вертикальными скважинами	н	р	р	р	р	д	н	н	д	р	н	р	р	с	р	н	н	р	н	н	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р
	4. С.р.с применением самоходных машин	н	р	р	р	р	р	н	н	д	р	н	р	р	с	р	н	н	р	н	н	р	д	р	р	р	р	р	р	р	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Д. Сист.разработки с подэтажной выемкой:																														
I. С.р.мощных крутопадающих пластов	н	р	р	р	р	н	н	р	с	н	н	р	р	н	р	с	н	р	р	н	р	н	д	р	д	р	д	р	н	р
2. С.р.мощных пологопадающих пластов	н	р	р	р	р	н	н	н	д	р	н	р	р	н	р	н	н	р	д	н	р	р	д	р	д	р	д	р	н	р
3. С.р.весьма тонких жил	н	р	р	д	н	н	р	р	н	н	р	н	р	н	р	н	н	р	н	н	р	н	д	р	д	р	д	р	н	р
Е. Сист.разработки с этажной выемкой:																														
I. С.р.с отбивкой руды вертикальными слоями	н	р	р	р	р	н	н	р	р	д	н	р	р	р	р	д	н	р	с	н	р	р	с	р	д	р	д	р	н	р
2. С.р.с отбивкой руды горизонтальными слоями	н	р	р	р	р	н	н	р	н	н	н	р	р	р	р	с	н	р	с	н	р	р	с	р	д	р	д	р	н	р
II. Системы разработки с магазинированием руды в очистном пространстве:																														
А. Сист.разработки со шпуровой отбойкой руды из магазина	н	р	р	н	н	д	р	р	н	н	р	р	р	н	р	н	н	р	р	н	р	р	н	р	н	р	д	р	н	р
Б. Сист.разработки с отбойкой руды из специал.выработок:																														
I. С.р.с подэтажной шпуровой отбойкой	н	р	р	н	р	д	н	р	н	н	д	р	р	н	р	р	н	р	д	н	р	д	н	р	н	р	д	р	н	р
2. С.р.с подэтажной отбойкой из минных камер	н	р	р	н	р	д	н	р	н	н	д	р	р	н	р	р	н	р	д	н	р	д	н	р	н	р	д	р	н	р
3. С.р.с отбойкой из восстающих	н	р	р	н	р	д	н	р	н	н	д	р	р	н	р	р	н	р	д	н	р	н	н	р	н	р	д	р	н	р
В. Сист.разработки с отбойкой глубокими скважинами	н	р	р	н	р	н	н	р	н	н	н	р	р	н	р	р	н	р	н	н	р	д	н	р	н	р	д	р	н	р
III. Системы разработки с закладкой очистного пространства:																														
А. Сист.разработки с закладкой горизонтальными слоями:																														
I. С.р.с закладкой горизонтальными слоями по простир.	р	р	д	р	н	р	р	р	н	н	р	д	р	д	р	р	н	с	д	р	р	с	р	р	р	р	р	р	р	р
2. С.р.с закладкой гориз. слоями вкрест простирания	р	р	д	р	р	н	н	р	н	н	р	д	р	д	р	с	н	с	д	р	р	с	р	р	р	р	р	р	р	р
Б. Сист.разработки с закладкой наклонными слоями	р	р	р	н	н	р	н	р	н	н	р	д	р	н	р	с	н	р	р	н	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р
В. Потолкоуступные сист.разработки с закладкой:																														

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I
I. Ср.очень тонких жил с раздельной выемкой	р	р	р	н	н	н	р	р	н	н	р	н	р	р	р	р	н	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р
2. С.р.очень тонких жил с валовой выемкой	р	р	р	р	н	с	р	р	н	н	р	с	р	д	р	р	н	р	р	р	р	с	н	р	р	р	р	р	р	р
Г. Сплошные сист.разработки с закладкой:																														
I. С.р.с раздельной выемкой сплошн.забоем по восстанию	р	р	р	р	н	н	р	р	н	н	р	д	р	р	р	р	р	д	р	н	р	н	с	р	н	р	р	р	р	р
2. С.р.сплошным забоем по простиранию с закладкой	р	р	р	р	н	н	р	н	с	р	р	д	р	р	р	р	д	д	р	с	р	н	д	р	р	р	р	р	р	р
Д. Сист.разработки с закладкой полосами по восстанию	р	р	р	р	н	н	р	н	н	р	р	с	р	р	р	р	н	н	с	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
IУ. Системы разработки с креплением очистного пространства:																														
А. Сист.разработки с усиленной распорной или станковой крепью:																														
I. С.р.при крутом падении	н	р	д	р	н	д	р	р	н	н	р	с	р	р	р	р	д	р	р	д	р	д	р	р	р	р	р	р	н	р
2. С.р.при пологом падении	н	р	р	р	н	д	р	н	р	р	р	с	р	р	р	р	н	р	р	д	р	д	р	р	р	р	р	р	н	р
Б. Сист.разработки с каменной и комбинированной крепью:																														
I. С.р.при крутом падении	н	р	д	р	с	д	р	р	н	н	р	н	р	р	р	р	с	р	р	д	р	д	р	р	р	р	р	р	н	р
2. С.р.при пологом падении	н	р	р	р	с	д	р	н	р	р	р	н	р	р	р	р	н	р	р	д	р	д	р	р	р	р	р	р	н	р
У. Системы разработки с креплением и закладкой очистного пространства:																														
А. Сист.разработки горизонтальными слоями и уступами по простиранию с креплением и закладкой	н	р	д	р	с	р	н	р	д	н	р	с	д	р	н	д	р	н	д	р	р	д	д	р	р	р	д	р	р	р
Б. Сист.разработки вертикальными прирезками и короткими блоками со станковой крепью и закладкой:																														
I. Ср.вертикальными прирезками	с	р	с	р	р	н	н	р	с	н	р	с	с	р	н	д	р	н	д	р	р	д	с	р	р	р	д	р	р	р
2. С.р.короткими блоками	с	р	с	р	р	н	н	р	с	н	р	с	с	р	н	с	р	н	д	р	р	р	с	р	р	р	д	р	р	р
В. Сплошная сист.разработки с креплением и закладкой	н	р	д	р	н	н	р	н	н	р	р	с	с	р	н	с	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	р	р	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I
УI. Системы разработки с обрушением вмещающих пород:																														
А. Сист.разработки слоевого обрушения:																														
I. Типичный вариант с.р.слоевого обрушения	р	р	р	д	р	с	н	р	с	н	р	с	р	р	н	р	р	н	с	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
2. С.р.слоевого обрушения с аккумулирующими штреками	р	р	р	д	р	с	н	р	с	н	р	с	р	р	н	р	р	н	с	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
3. С.р.слоевого обрушения с аккумулирующ.траншеями (магазинами)	р	р	р	д	р	с	н	р	с	н	р	с	р	р	д	р	с	с	р	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
4. С.р.слоевого обрушения при пологом падении	р	р	р	д	р	д	н	н	н	р	р	с	р	р	н	р	р	н	р	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
5. Щитовая с.р.	р	р	р	н	р	н	н	р	н	н	р	с	р	р	н	р	р	н	н	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
6. С.р.слоевого обрушения забоем-лавой	р	р	р	д	р	н	н	р	с	н	р	с	р	р	н	р	р	н	р	р	р	д	р	р	р	р	н	р	н	р
Б. Столбовые сист.разработки с обрушением кровли:																														
I. С.р.с выемкой длинных столбов заходками	р	р	р	н	н	с	р	н	д	р	д	р	р	р	н	н	р	н	н	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
2. С.р.с выемкой столбов сплошным забоем-лавой	р	р	р	с	н	р	р	н	д	р	д	р	р	р	н	н	р	н	р	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
3. С.р.уступным забоем-лавой (д/наклонного падения)	р	р	р	с	н	с	р	н	р	р	д	р	р	р	с	р	р	н	р	р	р	с	р	р	р	р	н	р	н	р
УП. Системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород:																														
А. Сист.разработки подэтажного обрушения:																														
I. С.р.подэтажного обрушения с древесным матом	р	р	р	д	р	д	н	р	с	н	н	р	р	н	с	р	д	с	д	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
2. С.р.подэтажного обрушения без древесного мата	р	р	р	с	д	р	р	р	с	н	н	р	р	н	н	р	д	с	д	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
3. С.р.подэтажного обрушения "закрытый веер"	р	р	р	с	р	р	д	р	с	н	н	р	р	н	н	р	д	с	д	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
4. С.р.подэтажного обрушения "камера под дучкой"	р	р	р	с	р	р	д	р	н	н	д	р	р	н	д	р	н	с	д	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
5. С.р.подэтажного обрушения с отбойкой глубокими скважинами	р	р	р	с	р	д	д	р	н	н	н	р	р	н	д	р	н	с	д	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
6. С.р.подэтажного самообрушения	р	р	р	с	р	д	н	р	р	р	н	р	р	н	с	р	р	с	д	р	р	р	н	р	р	р	н	р	н	р

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26	27	28	29	30	3I
Б. Сист.разработки этажного самообрушения	р	р	р	с	р	н	н	р	р	р	н	р	р	р	н	р	с	н	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р	н	р
В. Сист.разработки принудительного этажного обрушения:																														
I. С.р.принуд.этажного обрушения на горизонтальн. компенс.камеры	р	р	р	р	р	д	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	д	н	р	р	р	р	н	р	н	р				
2. С.р.принуд.этажн.обрушения на вертикальн.компенс.камеры	р	р	д	р	р	д	н	р	р	р	р	р	р	р	р	д	н	н	р	р	р	р	н	р	н	р	н	р	н	р
УШ. Комбинированные системы разработки:																														
А. Комбинированные сист.разработки с открытыми камерами	н	р	р	р	р	с	н	р	н	н	р	р	р	р	р	д	н	р	р	д	р	р	р	р	р	р	с	р	н	р
Б. Комбинированные сист.разработки с закладкой камер	р	д	р	р	р	р	д	р	д	н	р	н	р	р	с	д	р	р	д	д	р	р	р	д	р	р	д	р	р	д
В. Комбинированные сист.разработки с магазинированием руды:																														
I. С.р.с выемкой целиков этажным самообрушением	с	р	р	с	р	д	н	р	н	н	с	р	р	с	д	р	н	д	р	д	р	р	н	р	н	р	с	р	н	р
2. С.р.с отработкой целиков подэтажным обрушением	с	р	р	н	р	д	н	р	н	н	с	р	р	н	р	р	н	р	р	д	р	р	н	р	н	р	с	р	н	р
3. С.р.с выемкой целиков принуд.этажным обрушением	д	р	р	д	р	д	н	р	н	н	д	р	р	с	р	р	с	р	р	с	р	р	н	р	н	р	с	р	н	р

р- применение системы рекомендуется;

д - применение системы допускается;

с - применение системы допускается в исключительных случаях;

н - применение системы невозможно или не допускается.

Таблица 3

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(применяемые классификацией запасов полезных ископаемых)

Ископаемое	Группа	Морфология
I	2	3
Уголь	I	Многопластовые (но не все пласты могут иметь промышленную мощность): I. Пласты с горизонтальным или очень пологим залеганием, с отсутствием или незначительной степенью проявления дизъюнктивной нарушенности. 2. Пласты, образующие простые складчатые структуры с четко выраженными закономерно изменяющимися элементами залегания, с наличием немногочисленных разрывных нарушений. 3. Пласты, образующие складчатые структуры с резкими изменениями элементов залегания или с большим количеством крупных и мелких разрывных нарушений.
Горючий сланец	I	Многопластовые с обычно-сближенными маломощными пластами, объединяемыми в пропачки с выдержанной мощностью, горизонтальным или весьма пологим залеганием, очень большой площадью сланценакопления и отсутствием или незначительной дизъюнктивной нарушенностью.
Железо	I	I. Крупные горизонтальные или полого-залегающие пластовые залежи с устойчивой мощностью и равномерным оруденением. (Керченское, Аятское и Лисаковское м-ния бурых железняков)
	I	2. Крупные крутопадающие пластовые или пластообразные залежи большой протяженности с устойчивой мощностью и выдержанным качеством руд. (магнетитовые кварциты Кривого Рога, КМА, Кольского п-острова и Нижне-Ангарское м-ния)
	II	3. Крупные пластообразные залежи сложного строения с относительно-выдержанным качеством руд. (Качарское, Соколовское, Сарбайское, Таежное м-ния, наиб.крупн.залежи богатых руд КМА, Кр.Рога и Бакала
	II	4. Средние по размерам пластообразные и линзовидные залежи сложного строения с неравномерным распределением оруденения. (Тейское, Анзасское, Инское, Белорецкое, Алмалыкское, Гаринское, Шерегешское, Рудногорское м-ния)
	III	5. Небольшие залежи сложного строения с резко-меняющимися мощностью и качеством руд (обычно непромышленного значения)
Медь	I	I. Крупные пластообразные и штокообразные залежи простой формы с равномерным распределением полезных компонентов. (медистые песчаники Джезказгана, медно-порфировые руды Коунрада).
	II	2. Крупные штокообразные и линзообразные залежи сложной формы с относительно-равномерным распределением полезных компонентов. (Алмалыкское м-ние медно-порфировых руд, наиболее крупные медноколчеданные м-ния)
	II	3. Линзообразные и жилообразные залежи средних размеров со сложной морфологией и неравномерным распределением полезных компонентов. (Уральские и Кавказские медноколчеданные м-ния)
	III	4. Мелкие линзообразные и жилообразные залежи со сложной морфологией и весьма неравномерным распределением полезных компонентов. (Заигезурское и Левихинское медноколчеданные м-ния)
Боксит	I	I. Крупные пластообразные залежи с относительно выдержанным качеством боксита (СУБР, Архангельск)
	II	2. Пластообразные и крупные линзообразные залежи с невыдержанным качеством боксита (пласт.:Урал,Салаирское м-ния, линз.: Амангельдинское, Тихвинское м-ния)
	II	3. Средние по размерам линзообразные залежи с невыдержанным качеством боксита. Разрабатываются только при благоприятных условиях и совместно. (Каменское, Амангельдинское, Тихвинское м-ния)
	III	4. Небольшие линзообразные и гнездообразные залежи имеющие сложную морфологию и очень невыдержанное качество боксита. (обычно - непромышленного значения)

I	2	3
Марганец	I	1. Крупные пластообразные горизонтальные и слабо-наклонные залежи выдержанной мощности с относительно равномерным качеством руды. (Никопольское, Чиатурское, Больше-Токмакское м-ния)
	II	2. Пластообразные и линзообразные залежи со сложной морфологией пласта, тектонически нарушенные, с неравномерным распределением оруденения. (Ивдельское, Юркинское, Джездинское и Южно-Хинганское м-ния)
	III	3. Небольшие линзообразные и гнездообразные залежи со сложной морфологией и весьма неравномерным распределением оруденения. (практического значения не имеют: Мазульское, Кзыл-Ташское, Найзатасское м-ния)
Олово	II	I. Крупные штокверки, имеющие форму близкую к изометричной с неравномерностью оруденения в пределах рудного тела. (Шерловогорское и Тарбальджейское м-ния)
	II	2. Жилы и оруденелые зоны большой протяженности (I-2 км) без четких зальбандов с неравномерным оруденением рудной зоны (Хрустальное м-ние)
	III	3. Жилы и оруденелые зоны средней протяженности (0,3-I км) с непостоянной мощностью, частыми пережимами, раздувами и ответвлениями с весьма неравномерным оруденением рудного тела (Халчеранйнское и Бургочанское м-ния)
		4. Мелкие жилы и гнездообразные рудные тела имеющие сложную морфологию, очень непостоянную мощность и крайне неравномерное распределение оруденения (промышленного значения не имеют)
Никель	I	I. Очень крупные горизонтальные пластообразные залежи простого строения с равномерным распределением полезных компонентов (Мончегорское м-ние вкрапленной сульфидной руды)
	II	2. Крупные наклонные пластообразные и линзообразные залежи и жилы с относительно-равномерным распределением полезных компонентов. (Печенгское м-ние медно-никелевых руд)
	II	3. Крупные пластообразные и плащеобразные залежи сложного строения с неравномерным распределением оруденения. (силикатные никелевые руды, приуроченные к коре выветривания серпентинитов)
	II	4. Жилы, линзообразные, пластообразные и гнездообразные залежи сложного или очень сложного строения с весьма неравномерным распределением оруденения. (месторождения силикатных и сульфидных руд)
Соли	I	I. Пластовые, выдержанные по мощности, залегающие на десятки км, устойчивые по качеству солей (Верхнекамское калийное и Славяно-Артемовское соляное м-ния)
	I	2. Пластово-линзообразные, относительно выдержанные по мощности, залегающие на несколько км, сложенные мощными толщами с выклиниваниями и замещениями на коротких расстояниях, со сравнительно-устойчивыми по качеству солями (Ярбишкадакское и Нуренское м-ния каменной соли)
	II	3. Линзообразные, невыдержанные по мощности и строению соляной толщи с чередующимися и замещающимися линзами солей различного состава, но с устойчивым качеством соли в пределах линзы (Калуш-Голынское и Жилянское калийные м-ния)
	II	4. Куполообразные и штокообразные залежи, не выдержанные по мощности и строению соляной толщи, неустойчивые по качеству солей (Илецкое и Солотвинское м-ния каменной соли)
Золото (корен.)	II	I. Крупные оруденелые зоны, часто не имеющие геологических границ, средней мощностью 5-I0 м и выше, с неравномерным распределением минерализации
	II	2. Средние по размерам оруденелые зоны, линзообразные залежи и оруденелые дайки со сложными контурами оруденения, мощн.десятки метров, с неравномерным распределением минерализации.
	II	3. Крупные и средние по размерам жилы со сравнительно четкими зальбандами, небольшой мощности (0,2-I м) с неравномерным и очень неравномерным распределением рудной минерализации.
	III	4. Мелкие жилы и гнездообразные рудные тела с очень сложной морфологией и крайне неравномерным распределением оруденения (небольшое промышленное значение)

I	2	3
Ртуть и сурьма	П	I. Крупные пластообразные залежи и жильные зоны с неравномерным распределением оруденения (Никитовское ртутное, Раздольнинское сурьмяное м-ния)
	Ш	2. Пластообразные и жилообразные залежи средних размеров с очень неравномерным распределением оруденения (Машанское сурьмяное м-ние)
	Ш	3. Небольшие пластообразные и линзообразные залежи, мелкие жилы и гнезда с крайне неравномерным распределением оруденения. (Ойротия, Карпаты, Ср.Азия)
Мышьяк	П	I. Крупные жилы, относительно выдержанные по простиранию и падению с неравномерным распределением оруденения (Цанское, Запокровское и Гурулевское м-ния)
	Ш	2. Мелкие рудные тела пластообразной, линзообразной или столбообразной формы с весьма неравномерным распределением оруденения (Лухумское и Уч-Имчекское м-ния)
Кобальт	П	I. Крупные жилы и жильные зоны, протяженные (1000 м и более) по мощности с неравномерным распределением полезных компонентов (жилы сульфарсенидных кобальтовых руд и зоны пиритных кобальт-содержащих руд)
	П	2. Пластообразные залежи значительных размеров (более 0,5 кв.км) с неравномерным распределением полезных компонентов (кора выветривания ультраосновных пород и осадочные м-ния марганцево-кобальтовых руд)
	Ш	3. Мелкие рудные тела неправильной линзообразной, гнездообразной и трубообразной формы с крайне неравномерным распределением полезн.компонент. (залежи в скарнах, мелкие жилы и рудные тела пластового типа, сильно расчлененные тектоническими нарушениями)
Вольфрам	I	I. Крупные штокверки и залежи с относительно равномерным распределением оруденения WO_3 (Тырныаузское и Верхнекайрактинское м-ния)
	П	2. Крупные штокверки и залежи сложной морфологии с неравномерным распределением оруденения с наличием в контурах месторождения безрудных участков или некондиционных прослоев различной мощности (Спокойнинское и Инкурдское м-ния)
	П	3. Крупные жилы и оруденелые зоны простиранием до километра и более, преимущественно крутого падения с непостоянной но сравнительно большой мощностью и неравномерным распределением оруденения (Холтосонское и Ачкатауское м-ния)
	Ш	4. Средние по размерам жилы простиранием в несколько сот метров, небольшой мощности с неравномерным распределением оруденения (Букукинское и Антоновогорское м-ния)
		5. Мелкие жилы, небольшие штокообразные залежи, линзы и гнезда сложной морфологии, с непостоянной мощностью и весьма неравномерным распределением оруденения (Промышленного значения не имеют)
Молибден	I	I. Крупные штокверки и крупные пластообразные, линзообразные и штокообразные залежи с относительно равномерным распределением оруденения (Бугдаинское, Кадаранское и Тырны-Аузское м-ния)
	П	2. Крупные штокверки и крупные пластообразные,линзообразные и штокообразные залежи сложной морфологии с неравномерным распределением оруденения с безрудными участками и прослоями некондиционных руд различной мощности в пределах контура промышленных руд (Сорское и Первомайское м-ния)
	П	3. Крупные жилы непостоянной, сравнительно небольшой, мощности, простиранием свыше километра с неравномерным распределением оруденения (Вост.-Коунрадское и Давендинское м-ния)
	Ш	4. Средние по размерам жилы небольшой мощности, простиранием в несколько сот метров, с неравномерным распределением оруденения (Сырыгичинское и Аманан-Макитское м-ния)
		5. Мелкие,жилы, небольшие штокообразные залежи, линзы и гнезда сложной морфологии непостоянной мощности и обычно весьма неравномерным распределением оруденения (Промышленного значения не имеют)

I	2	3
С л ю д ы	П	I. Крупные слюдоносные массивы (Ковдорское м-ние вермикулита)
	П	2. Крупные слюдоносные зоны и жилы (Гулинское м-ние флогопита, Леглиерское (Алдан) и Булдымское м-ние вермикулита)
	Ш	3. Средние по размерам слюдоносные зоны и жилы (Карельское и Малиново-варакское м-ния мусковита, Слюдяногорское м-ние флогопита, Леглиерское м-ние)
	Ш	4. Мелкие жилы и гнездообразные слюдоносные тела (Во всех слюдоносных районах)
Строительные камни	I	Массивные залежи изверженных пород, приуроченные к батолитам и лакколитам, характеризующиеся выдержанностью состава и свойств пород по площади и на глубину. Размещаются в областях развития вулканизма или в пределах выходов на поверхность кристаллического фундамента платформ. Слагаются гранитами, сиенитами, габбро, лабрадоритами, диоритами и т.д.
	П	Горизонтально-залегающие и пологопадающие пласты и пластообразные тела, выдержанные на больших площадях по строению, мощности и качеству ископаемого. Слагаются платформенными осадочными породами (известняки, песчаники, конгломераты, невыветрелые доломиты), эффузивными потоками и покровами различной мощности (базальты, андезиты, риолиты, порфиры, вулканические туфы), массивные и грубослоистые залежи регионального метаморфизма (гнейсы).
	Ш	Моноклинально залегающие с наклоном 20-30°, а также смятые в складки пластовые и пластообразные тела с выдержанной или закономерно изменяющейся мощностью и качеством ископаемого, иногда с наличием разрывных нарушений и метаморфизмом.
	IУ	Линзообразные тела и пластовые залежи, залегающие горизонтально или полого с невыдержанным качеством ископаемого. Напр., линзы песчаников среди песков, линзы крепких известняков среди слабо-сцементированных.

Таблица 8

ПРИМЕРНЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ МЕСТАМИ ОПРОБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕСТА ОПРОБОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНОГО ЗАДАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Тип месторождения	Расстояния по площади	Интервалы и места опробования по мощности							
		Для пород, покрывающих непосредственную кровлю		Для пород непосредственной кровли		Для полезного ископаемого		Для пород, подстилающих полезное ископаемое	
		интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования
I. Крутопадающие и наклонно залегающие пласты, пластообразные и плащеобразные залежи и жилы с выдержанным направлением залегания, простым строением и выдержанным литологическим составом	Для высокоценных видов полезного ископаемого (золото, никель молибден, кобальт, олово, слюда и т.п.) расстояния между местами опробования принимаются втрое (больше расстояний между разведочными выработками (скважинами), предусмотренных программой работ по предварительной разведке; для менее ценных видов полезного ископаемого (естественный строительный камень, каменная соль, каменный уголь, горючий сланец, железо и т.п.) расстояния между местами опробования принимаются вдвое больше расстояний между разведочными выработками.	Породы, покрывающие слои непосредственной кровли, общей мощностью, равной 4-5-кратной мощности полезн.ископаемого	Характерные представители литологически различающихся слоёв интервала опробования	Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 2-3-кратной мощности полезного ископаемого	Каждый из основных (мощностью не менее 1,5 м) литологически различающихся слоёв интервала опробования	Полная мощность угленосной пачки, рудного тела или продуктивной толщи	Каждый литологически различающийся слой или прослоек интервала опробования мощностью не менее 1,0 м	Породы, непосредственно подстилающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 1,5-2-кратной мощности полезного ископаемого	Характерные представители литологически различающихся слоёв интервала опробования
II. Крутопадающие и наклонно залегающие пласты, пластообразные и плащеобразные залежи и жилы, морфологически сложные, нарушенные, с невыдержанным направлением залегания и литологическим составом									
III. Полого залегающие пласты, пластообразные и плащеобразные залежи и жилы с выдержанным направлением залегания, простым строением и выдержанным литологическим составом	Полная мощность массива пород от земной поверхности до непосредств.кровли полезн.ископ.	Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 20-30 м						Породы, непосредственно подстилающие полезное ископаемое, общей мощностью 20-30м	
IV. Полого залегающие пласты, пластообразные и плащеобразные залежи с невыдержанным направлением залегания, нарушенные, сложного строения и невыдержанные по литологическому составу									
V. Крупные, близкие к изометрическим штокверки, купола, залежи и жильные зоны									

Таблица 9

ПРИМЕРНЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ МЕСТАМИ МАССОВОГО ОПРОБОВАНИЯ И МЕСТА МАССОВОГО ОПРОБОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РАБОЧЕГО ПРОЕКТА ПРЕДПРИЯТИЯ

Тип месторождения				Расстояния по площади	Интервалы и места опробования по мощности									
					Для пород, покрывающих непосредственную кровлю		Для пород непосредственной кровли		Для полезного ископаемого		Для пород непосредственной почвы		Для пород, подстилающих непосредственную почву	
Форма рудного тела	Падение	Мощность	Строение		интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования	интервал опробования	места опробования
Пласты, пластообразные или плащеобразные залежи или жилы	Пологое	Мощные	Простое, выдержанное по направлению залегания и по литологическому составу	Для высокоценных видов полезного ископаемого (золото, никель, кобальт, молибден, олово, слюда и т.п.) расстояния между местами опробования принимаются втрое больше расстояний между разведочными выработками (скважинами), предусмотренных программой разведочных работ. Для менее ценных видов полезного ископаемого (естественный строительный камень, каменная соль, каменный уголь, горючий сланец, железо и т.п.) расстояния между местами опробования принимаются вдвое больше расстояний между разведочными выработками	Полная мощность массива пород от земной поверхности до пород непосредственной кровли	Характерные представители литологически различающихся слоёв интервала опробования	Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 3–4-кратной мощности полезного ископаемого, но не более 20 м	Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 5–6-кратной мощности полезного ископаемого, но не более 20–30 м	Каждый из основных (мощностью не менее 1,0 м) литологически различающихся слоёв интервала опробования					
			Сложное, нарушенное, невыдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
	Крутое или наклонное	Средней мощности и тонкие	Простое, выдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
			Сложное, нарушенное, невыдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
	Пологое	Мощные	Простое, выдержанное по направлению залегания и по литологическому составу						Полная мощность угленосной пачки, рудного тела или продуктивной толщи					
			Сложное, нарушенное, невыдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
		Средней мощности и тонкие	Простое, выдержанное по направлению залегания и по литологическому составу		Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 6–8-кратной мощности полезного ископаемого, но не более 20 м		Породы, непосредственно покрывающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 3–4-кратной мощности полезного ископаемого, но не более 20 м		Каждый литологически различающийся слой или прослоек интервала опробования мощностью не менее 0,5 м					
			Сложное, нарушенное, невыдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
Близкие к изометрическим штокверки, купола, залежи и жильные зоны			Простое, выдержанное по направлению залегания и по литологическому составу								Породы, непосредственно подстилающие полезное ископаемое, общей мощностью 10–15 м		Породы, непосредственно подстилающие полезное ископаемое, общей мощностью, равной 2–3-кратной мощности полезного ископаемого	
			Сложное, нарушенное, невыдержанное по направлению залегания и по литологическому составу											
									Каждый из основных (мощностью не менее 1,0 м) литологически различающихся слоёв интервала опробования					
													Породы, подстилающие слои непосредственной почвы, общей мощностью 30–40 м	
													Характерные представители литологически различающихся слоёв интервала опробования	

Таблица 10

Расширенный комплекс детального опробования показателей механических свойств горных пород используемых при разработке рабочего проекта горнодобывающего предприятия

Морфология месторождения		Вид полезного ископаемого	Показатели механических свойств																	
			Покрывающие породы				Непосредств. кровля общей мощностью не менее 20 м				Полезное ископаемое		Непосредств. почва общей мощностью не менее 5 м				Подстилающие породы			
падение	мощность		твердые	трещ.	рыхлые	пласт.	твердые	трещ.	рыхлые	пласт.	твердые	трещ.	твердые	трещ.	рыхлые	пласт.	твердые	трещ.	рыхлые	пласт.
Крутое и наклонное	Мощн.	Уголь	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_р$ $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ	σ_c c φ A B	σ_c $\sigma_р$	σ_c $K_{стр}$	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c	c φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c
	Средней мощн. и тонк.		σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ	c φ A B	σ_c $\sigma_р$	σ_c $K_{стр}$	σ_c	σ_c	c φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c
Пологое	Мощн.		σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ	c φ	σ_c $\sigma_р$ $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ $K_{длит}$	A_{∞} B_{∞} $\sigma_т$	σ_c $\sigma_{из}$ C φ E	σ_c $K_{стр}$	σ_c E	σ_c	c φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	σ_c	σ_c	–	–
	Средней мощн. и тонк.		σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_р$ $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ $K_{длит}$	A_{∞} B_{∞} $\sigma_т$	σ_c E c φ	σ_c $K_{стр}$	σ_c	σ_c	c φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	–	–	–	–
Крутое и наклонное	Мощн.	Руда	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_р$ $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ	σ_c c φ	σ_c $\sigma_р$ E μ	σ_c $K_{стр}$	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c	c φ	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c
	Среди. мощн. и тонк.		σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c $K_{стр}$	c φ	c φ	σ_c $\sigma_р$ E μ	σ_c $K_{стр}$	σ_c $\sigma_{из}$	σ_c	c φ	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c
Пологое	Мощн.		σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_р$ $\sigma_{из}$ E	σ_c $K_{стр}$	c φ $K_{длит}$	c φ A	σ_c, $\sigma_{из}$ c, φ E, μ	σ_c $K_{стр}$	σ_c E	σ_c	c φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	σ_c	σ_c	–	–
	Средн. мощн. и тонк.		σ_c	σ_c	σ_c	σ_c	σ_c $\sigma_р$, $\sigma_{из}$ E	σ_c $K_{стр}$	c φ $K_{длит}$	C, φ A, $\sigma_т$	σ_c, $\sigma_р$ E, μ	σ_c $K_{стр}$	σ_c	σ_c	C φ	σ_c $\varepsilon_{наб}$	–	–	–	–

Таблица II

Размеры (количество) проб горных пород отбираемых для проведения механических испытаний при разведке месторождений полезных ископаемых

Тип породы	Определяемые показатели свойств горных пород	Необходимые суммарные размеры отбираемого керна или число отбираемых монолитов								
		при проведении предварительной разведки			при проведении детальной разведки					
					для проб с мест массового опробования горных пород			для проб с мест детального опробования характерных представителей пород		
		Общая длина кернов, при отборе проб кернами x/	Общее число монолитов, при отборе проб монолитами, размером:		Общая длина кернов, при отборе проб кернами x/	Общее число монолитов, при отборе проб монолитами, размером:		Общая длина кернов, при отборе проб кернами x/	Общее число монолитов, при отборе проб монолитами, размером:	
			30x30x20 см	25x20x20 см		30x30x20см	25x20x20 см		30x30x20см	25x20x20 см
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
Твердые и трещиноватые	Предел прочности при сжатии	300 мм	-	I шт.	300 мм	-	I шт.	800 мм	I шт.	2 шт.
	Предел прочности при растяжении	300 мм	-	I шт.	400 мм	-	I шт.	600 мм	I шт.	2 шт.
	Предел прочности при изгибе	-	-	-	300 мм	-	I шт.	300 мм	2 шт.	-
	Структурная ослабленность	I50 мм	-	I шт.	I50 мм	-	I шт.	I50 мм	-	I шт.
	Показатели объемной прочности	-	-	-	-	-	-	800 мм	I шт.	2 шт.
	Показатели упругости	-	-	-	I50 мм	-	I шт.	300 мм	-	I шт.
Пластичные и рыхлые	Предел прочности при сжатии	-	-	-	-	-	-	400 мм	-	I шт.
	Показатели объемной прочности	400 мм	-	I шт.	400 мм	-	I шт.	800 мм	I шт.	2 шт.
	Набухаемость	-	-	-	-	-	-	200 мм	-	I шт.
	Показатели бокового распора	-	-	-	-	-	-	300 мм	-	I шт.
	Предел текучести	-	-	-	-	-	-	600 мм	I шт.	2 шт

Примечание: x/ - не считая сколов керна у торцов

Таблица I3

Методы механических испытаний горных пород рекомендуемые к применению при разведке месторождений полезных ископаемых

Определяемые показатели механических свойств пород	Символ	Методы испытаний		
		при ведении предварительной разведки	при ведении детальной разведки	
			массовое опробование пород	детальное изучение представителей пород
I	2	3	4	5
Предел прочности при одноосном сжатии	σ_c	Рекомендуются: I) Метод соосных пуансонов; 2) раздавливание образцов неправильной формы. Допускаются: 3) раздавливание образцов полуправильной формы; 4) раздавливание цилиндрических образцов.	Рекомендуются: I) Метод соосных пуансонов; 2) раздавливание образцов полуправильной формы. Допускаются: 3) раздавливание цилиндрических образцов.	Рекомендуются: I) Раздавливание цилиндрических образцов; Допускаются: 2) раздавливание образцов полуправильной формы.
Предел прочности при одноосном растяжении	σ_p	Рекомендуются: I) Метод соосных пуансонов, Допускаются: 2) раскалывание цилиндрических образцов.	Рекомендуются: I) Раскалывание цилиндрических образцов, Допускаются: 2) метод соосных пуансонов.	Рекомендуются: I) прямое растяжение кернов, Допускаются: 2) раскалывание цилиндрических образцов.
Предел прочности при изгибе	$\sigma_{из}$	-	Рекомендуется: I) изгиб дисковых образцов (по ВУГИ)	Рекомендуются: I) изгиб породных брусков Допускаются: 2) изгиб дисковых образцов (по ВУГИ)
Показатели объемной прочности	C, φ	Рекомендуется: I) Срез в полуматрицах	Рекомендуется: I) Трехосное сжатие в стабилометре Допускается: 2) срез в полуматрицах	Рекомендуется: I) Трехосное сжатие в стабилометре
Структурное ослабление	$K_{стр}$	Рекомендуются: I) Петрографическое описание макроструктуры	Рекомендуется: I) Петрографическое описание макроструктуры	Рекомендуется: I) Петрографическое описание макроструктуры и микроструктуры.
Модуль упругости, коэффициент Пуассона	E, μ	-	Рекомендуются: I) Ультразвуковое опробование	Рекомендуются: I) Тензометрирование сжимаемых цилиндрических образцов Допускаются: 2) Ультразвуковое опробование
Показатели бокового распора	A, B	-	-	Рекомендуются (при наличии возможности): I) Трехосное сжатие в спец.стабилометре
Набухаемость	$\varepsilon_{наб}$	-	-	Рекомендуется: I) Свободное набухание цилиндрических образцов Допускаются: 2) свободное набухание образцов неправильной формы
Предел текучести	$\sigma_т$	-	-	Рекомендуется (при наличии возможности): I) реологич.испытание при одноосном сжатии

Печатный цех ВНИМИ Заказ № 5 Тираж 500 24/I-66 г.
М-09030 Объем I0 печ.л. Цена 50 коп.

gost.e-ecolog.ru