МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДЛИТЕЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ ГОРНЫХ ПОРОД

Ленинград 1968

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДЛИТЕЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ ГОРНЫХ ПОРОД

Ленинград 1968

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Разная продолжительность пребывания материала под нагрузкой, равно как и разная скорость приложения нагрузки проявляются внешне в изменении несущей способности материала.

Зависимость несущей способности материала от времени при заданных величинах удельных нагрузок принято называть длительной прочностью или долговечностью данного материала. При прочих равных условиях материал, находясь под постоянной нагрузкой, разрушается тем быстрее, чем больше величина нагрузки.

Для широкого круга материалов /1/ зависимость времени до разрушения τ от величины приложенного напряжения σ достаточно хорошо описывается уравнением вида:

$$\tau = \tau_0 e^{-\alpha\sigma} \qquad (1)$$

где: τ_0 и α - константы материала.

В координатах $\lg\tau - \sigma$ уравнение (1) дает прямую линию, пересекающую ось σ, а на оси времени отсекающую отрезок, равный по величине τ_0. Постоянная величина ($-\alpha$) является тангенсом угла наклона прямой к оси σ.

Справедливость уравнения (1) была подтверждена экспериментами на ряде металлов /2/, на кристаллах хлористого серебра /3/, на полимерах /4/. На монокристаллах каменной соли при температуре 550°С определения долговечности приведены в работе /5/. В этой же работе исследовалась долговечность искусственно приготовленных образцов каменной соли. Опыты проводились при температурах от 400°С до 765°С. На рис.1, перестроенные нами в координаты $\lg\tau - \sigma$, изображены линии долговечности монокристаллов каменной соли при температуре 550°С (линия 1) и искусственно приготовленных образцов соли при температуре 400°С (линия П). Как видно из графиков, результаты опытов достаточно хорошо описываются уравнением (1). При этом по-

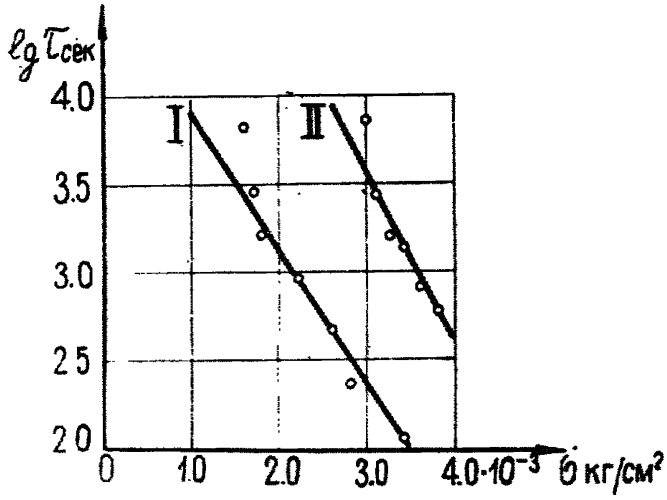


Рис. 1.

стоянная α для первой и второй кривых соответственно равна $1{,}88 \cdot 10^3$ и $2{,}24 \cdot 10^3$.

Наряду с опытами по долговечности в литературе известны исследования ползучести материалов, в которых анализ результатов дается с использованием уравнения типа (1). В работе /6/ изучалась методом микрофотографирования кинетика развития микротрещин. Опытами установлено, что время от начала приложения нагрузки до появления первых видимых трещин определяется уравнением (1).

В работе /7/ проводились исследования ползучести металлов. Показано, что зависимость скорости установившейся ползучести от величины напряжения хорошо описывается уравнением типа (1), с той лишь разницей, что коэффициент α в показателе при экспоненте имеет знак плюс в отличие от минуса в уравнении (1). При этом оказалось, что α в уравнении для долговечности и в уравнении для скоростей установившейся ползучести имеет по абсолютной величине одно и то же значение. В работе /12/ проводились исследования глинистых грунтов.

В работе /4/ опытами на твердых полимерах показано, что равенство, абсолютных значений α для долговечности и ползучести и в этом случае также имеет место. Аналогичный вывод дается в работе /8/, где исследовались металлы при высоких температурах.

Поскольку коэффициент α при интерпретации результатов экспериментов с позиции флуктуационной теории, связан с величиной энергии активации процесса, то отсюда можно сделать вывод, что долговечность и ползучесть – суть процессы, имеющие одну и ту же физическую природу. Такой

вывод делается, например, в работе /7/. Самым важным, однако, является факт равенства абсолютных величин коэффициентов α в уравнении (1) для долговечности и в уравнении (2) для скорости ползучести $\dot{\varepsilon}$:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 \, t^{\alpha\sigma} \qquad (2)$$

где: $\dot{\varepsilon}_0$ – константа материала.

Знание реологических свойств пород необходимо для решения многих горнотехнических задач. В натурных условиях горные породы вокруг выработок и различные целики угля находятся под нагрузкой длительное время. Поэтому необходимо знать каким образом длительное пребывание горной породы или угля под нагрузкой сказывается на ее механических свойствах. Такие данные необходимы для расчета целиков угля различного назначения, для прогноза устойчивости горных выработок и выбора и расчета рациональных типов крепей для их поддержания.

Известно, что горные удары в шахтах происходят на пластах угля или породах, склонных к упругому деформированию и хрупкому разрушению. Важно знать как изменяются с течением времени упругопластические свойства угля и горных пород, находящихся под определенными длительно действующими нагрузками, и как может в связи с этим измениться степень их опасности по горным ударам. Знание этого вопроса необходимо, следовательно, при прогнозе удароопасности пластов или пород.

Необходимо также знать имеются ли у угля и пород, склонных к горным ударам, в результате длительного действия нагрузок какие-либо характерные особенности деформирования перед разрушением и возможно ли предсказать момент разрушения. Получение таких данных представляет интерес для разработки методов прогноза горных ударов. Не меньший интерес и значение имеют эти вопросы в проблеме внезапных выбросов угля и газа.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Настоящая методика предусматривает проведение испытаний образцов горных пород в условиях одноосного сжатия. Во ВНИМИ такие испытания проводятся на пружинных стотонных прессах типа УДИ, на которых постоянство заданной нагрузки обеспечивается упругой энергией сжатых пружин. На рис.2 представлен общий вид зала длительных испытаний с комплектом прессов УДИ.

Образцы для испытаний на прессах УДИ имеют форму призм. При этом высота призмы должна быть в два раза больше поперечного сечения.

Абсолютные размеры образцов выбираются, исходя из следующих соображений:

1. Максимальной нагрузки пресса (например 100 тонн) должно хватить для того, чтобы разрушить образец.

2. Сечение образца должно быть достаточным для того, чтобы быть представительным для данной породы. Обычно это обеспечивается, когда в сечении умещается не менее 10 структурных элементов (например, 10 отдельных зерен).

3. Практическая возможность получения из массива образца необходимого размера.

Как показал опыт работы ВНИМИ, в таких случаях для пород средней крепости (предел прочности на одноосное сжатие от 100 кг/см^2 до 1000 кг/см^2) размеры призматических образцов могут принимать следующие значения: 150х150х300мм и 100х100х200 мм.

В процессе опытов измеряются величины напряжений и все главные деформации образца. Измерение деформаций осуществляется с помощью комплекта индикаторов часового типа с ценой делений 0,01 мм. На рис.3 изображен образец горной породы с комплектом индикаторов и специальных устройств для их установки. Общая продольная деформация образца измеряется с помощью двух индикаторов 1 и 2 (последний на рисунке не виден). Продольная деформация в средней

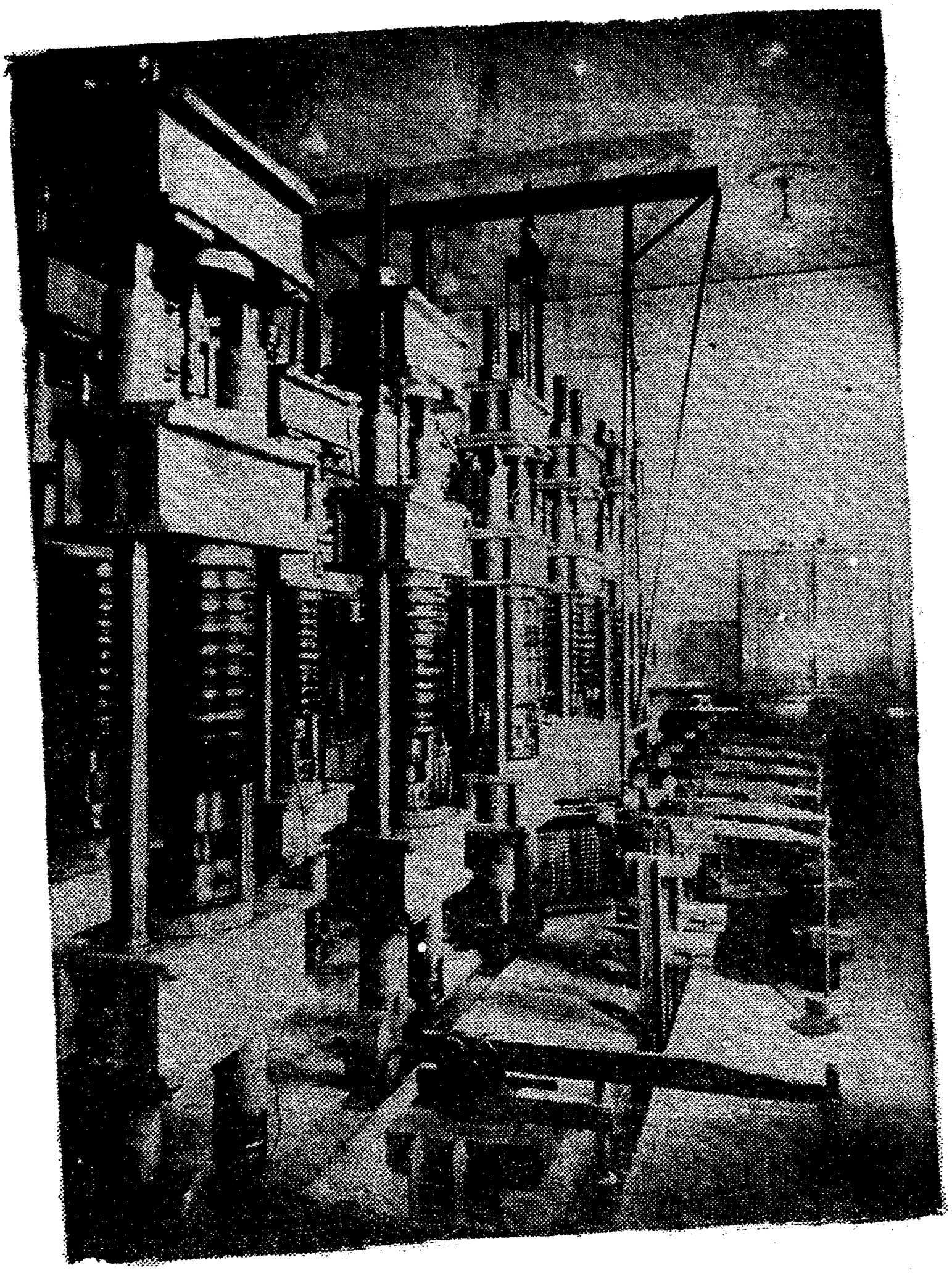


Рис. 2. Общий вид зала длительных испытаний ВНИМИ.

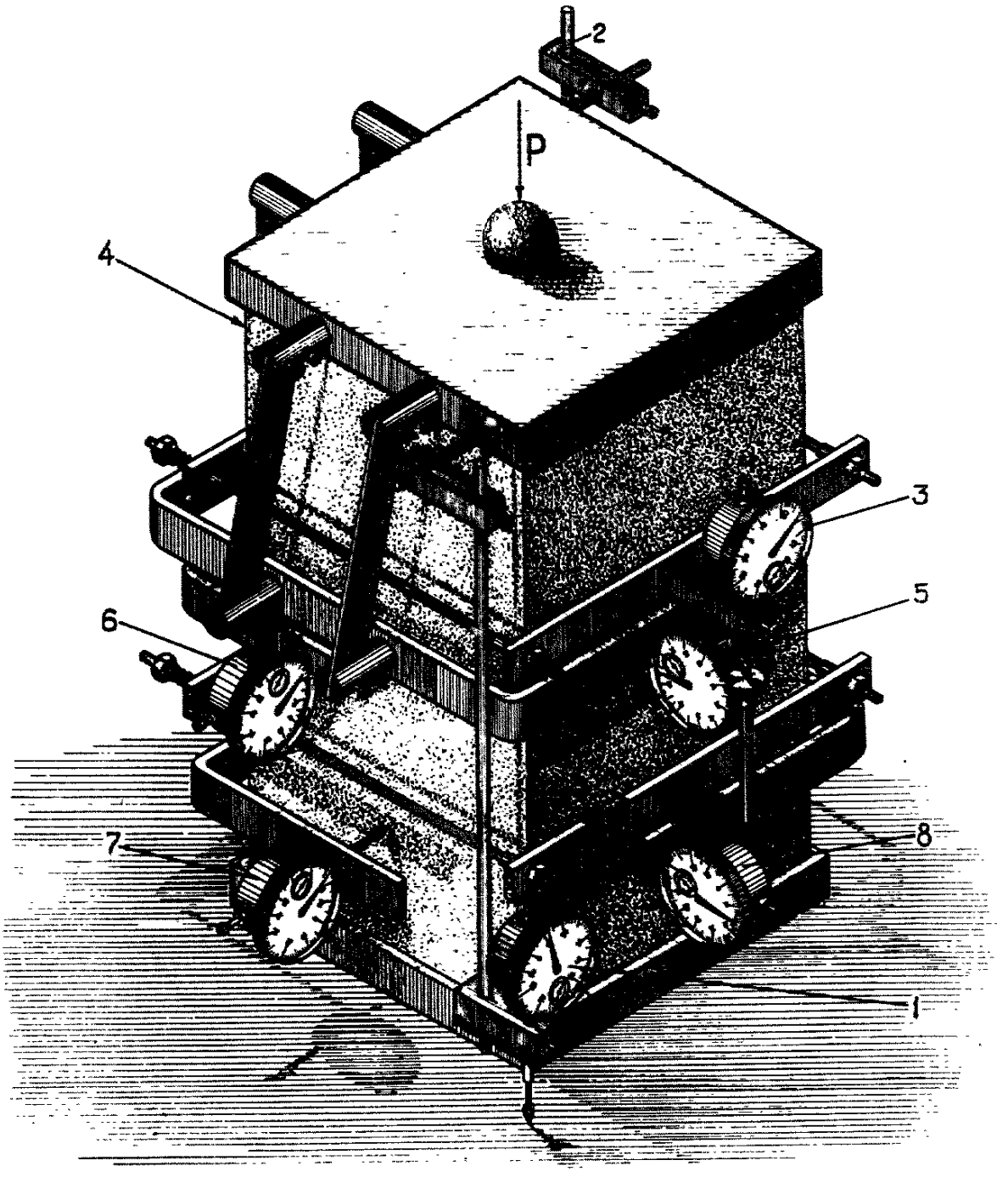


Рис. 3. Образец горной породы, подготовленной для длительных испытаний.

части образца на базе 100 мм измеряется также с помощью двух индикаторов 3 и 4 (последний на рисунке не виден), укрепленных на специальных устройствах в виде планок, имеющих ножи, которые задают базу измерений. Поперечные деформации в средней части образца измеряются с помощью индикаторов 5 и 6, укрепленных на скобах, которые подвешены к верхней металлической давильной плите пластинчатыми пружинными шарнирами. Кроме того, с целью контроля измеряются поперечные деформации еще в нижней части образца. Эти измерения производятся с помощью индикаторов 7 и 8. Конструкция крепления индикаторов здесь аналогична предыдущей с той разницей, что в этом случае пружинные шарниры закреплены на нижней давильной плите. Таким образом измерение каждой деформации дублируется, что повышает точность эксперимента. Осевое сжимающее усилие передается на образец через шарик, с целью устранения перекосов.

Образец изолируется от сообщения с внешней атмосферой многочисленными (до 10-20 слоев) чередующимися покрытиями поверхности парафином и резиновым клеем, что позволяет сохранять влажность образца в течение длительного времени.

Кроме того, изолирующее покрытие защищает материал образца от проникновения в него атмосферной влаги. Проникая в тело образца, атмосферная влага способствует ослаблению элементарных межатомных связей, в результате чего процесс ползучести может протекать более интенсивно /9/. Потеря влаги образцом в процессе длительного испытания приводит к упрочнению материала образца и к снижению интенсивности процессов ползучести.

Влияние окружающей атмосферы имеет практическое значение, заключающееся в том, что при проведении лабораторных испытаний на долговечность и ползучесть необходимо всегда учитывать неидентичность атмосферных условий. Здесь необходимо отметить и влияние температуры на показатели ползучести и долговечности. Ведь при проведении лабораторных опытов температурные условия чаще всего не соответствуют натурным, в то же время хорошо известно о сильном влиянии температуры на показатели долговременных

испытаний. Учет указанных факторов оказывается порой затруднительным или вообще невозможным. В этом случае лабораторный эксперимент следует дополнить или даже заменить натурным, проводящимся непосредственно в шахте или в руднике.

В каждом опыте при каком-либо одном уровне нагрузки необходимо испытывать не менее трех одинаковых образцов-близнецов. В случае если разброс частных значений от образца к образцу превышает 25-30%, то при испытании таких пород необходимо опыт повторять на 5-6 и более образцах-близнецах.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

По описанной выше методике были испытаны образцы сильвинита Верхнекамского калийного месторождения, результаты которых, в качестве примера приводятся ниже.

Испытания проводятся при нагрузках, составлявших 30%, 50%, 60%, 70% и 85% от величины разрушающего напряжения, определенного при быстром нагружении (прочность сильвинита при быстром нагружении равна 290 кг/см^2). Каждый опыт повторяется на 2-х - 3-х образцах-близнецах. Максимальная продолжительность опытов составляет около пяти месяцев. Все опыты проводятся при комнатной температуре в пределах 16-20 °С.

Первичные результаты измерений строятся на графике в координатах "деформация-время". Получаемые в этих координатах зависимости обычно называются кривыми ползучести.

Кривые ползучести для сильвинита изображены на рис.4, где по вертикальной оси отложены величины относительных деформаций, а по горизонтальной- время в сутках. Возле каждой кривой указаны значения нагрузки в кг/см^2 и в процентах от прочности при быстром нагружении, при которой данная кривая получена.

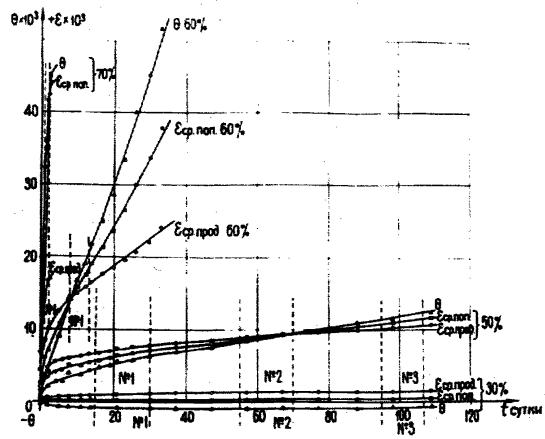


Рис. 4. Кривые ползучести образцов сильвинита, испытанных в лабораторных условиях.

Кривые ползучести строятся для продольных (ε_1 средн.), поперечных (ε_2 средн.) и объемных (θ средн.) деформаций.

Обозначения ε_1 средн., ε_2 средн. и θ средн. относятся к деформациям, полученным в средней части образца. Именно эти деформации и следует использовать при построении кривых ползучести.

Кривые ползучести имеют три характерных участка:

1) начальный криволинейный участок, относящийся к области неустановившейся ползучести;

2) прямолинейный участок, именуемый областью установившейся ползучести, где скорость ползучести постоянна;

3) конечный криволинейный участок кривых относится к прогрессирующей ползучести и заканчивается разрушением (на сильвините последние участки не были зафиксированы и разрушение происходило в области установившейся ползучести).

Таким образом, графики типа фиг.4 позволяют получать

величины деформаций ползучести в зависимости от приложенных нагрузок, величины скоростей ползучести $\dot{\varepsilon}_1$, $\dot{\varepsilon}_2$ и θ при разных нагрузках, время до разрушения τ в зависимости от нагрузки . Скорости ползучести ($\dot{\varepsilon}_1$; $\dot{\varepsilon}_2$ и $\dot{\theta}$.) получаются как производные соответствующих величин деформаций по времени. Результаты могут быть использованы различным образом в зависимости от поставленной задачи.

4. ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Данные длительных испытаний, представленные на фиг.4 могут быть использованы для целей определения величины действующей нагрузки и времени до разрушения. В этом случае результаты перестраиваются в коэффициенты $\lg \tau - \sigma$ и $\lg \dot{\varepsilon}_1 - \sigma$, где τ - время до разрушения, а $\dot{\varepsilon}_1$ - скорость установившейся ползучести. Здесь необходимо отметить, что всегда при построении этой зависимости нужно брать за исходное продольную деформацию ползучести ε_1 /10/. В указанных координатах на рис.5 изображены экспериментальные результаты по долговечности (верхняя часть графика) и по скорости ползучести. График скорости ползучести (нижняя часть графика) строится по результатам измерений продольных деформаций в средней части образца. Экспериментальные точки по долговечности и по скорости ползучести в принятых координатах хорошо укладываются на прямые линии, описываемые соответственно уравнениями (1) и (2). При этом значения α для долговечности получились равными 0,047, для скорости ползучести α = 0,046. Как видно, абсолютные значения коэффициентов практически совпадают.

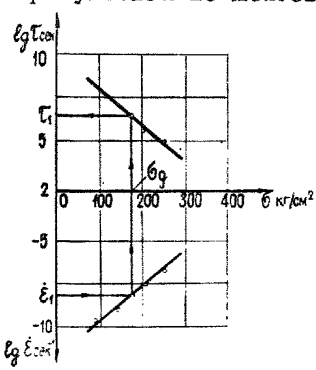


Рис.5. Результаты по долговечности (верхняя часть графика) и по скорости ползучести (нижняя часть графика) для сильвинита.

Из установленного экспериментом равенства коэффициентов α вытекает важное практическое следствие. Действительно, располагая кривыми ползучести и одним единственным каким-либо значением длительной прочности (например, прочностью при нагрузке 90% от величины разрушающего напряжения при быстром нагружении), полученными по интересующему нас материалу или горной породе, можно определить величины действующих нагрузок и время до разрушения того или иного силового элемента (из этого материала) конструкций, сооружения или целика, скорости ползучести которых могут быть определены в процессе их эксплуатации. В этом случае поступают таким образом:

По графику $\lg \dot{\varepsilon}_{ср} - \sigma$ определяется величина коэффициента α. В координатах $\lg \tau - \sigma$, через единственную точку длительной прочности, проводится луч под углом к оси σ, тангенс которого равен $-\alpha$.

В результате получается график, аналогичный изображенному на рис.5, где стрелками показана операция определения напряжения и времени до разрушения, как движение точки $\dot{\varepsilon}_1$ от оси $\lg \dot{\varepsilon}$ (значение $\dot{\varepsilon}_1$ может быть известным из наблюдений над ползучестью, например, целика в процессе его эксплуатации) до пересечения с линией скоростей ползучести, затем- до пересечения с осью σ (так определяется величина действующего на целик напряжения σ_g). Дальше точка движется от оси σ до пересечения с линией долговечности, затем от линии долговечности до пересечения с осью $\lg \tau$ (так определяется время до разрушения целика τ_1).

Таким образом, данный метод определения основывается на предварительном получении кривых ползучести и одного значения длительной прочности. При этом кривые ползучести необходимо получить минимум при двух уровнях напряжений. Метод не имел бы недостатков, если бы были выполнены условия полной идентичности работы материала в натурных условиях (например целик в шахте) и материала образца в условиях лаборатории (разумеется, что материал в обоих случаях один и тот же). Можно назвать, по крайней мере, четыре причины из-за которых могут быть нарушены условия идентичности:

1) различные атмосферные и температурные условия в лаборатории и в шахте;

2) различие в видах напряженного состояния образца в лаборатории и, например, целика в шахте;

3) влияние масштабного фактора, а также особенностей макроструктуры в натурных условиях;

4) изменение величины давления и вида напряженного состояния в целике в результате ведения горных работ.

Влияние первого фактора сильно сказывается на скорости ползучести. Одним из способов борьбы с этим влиянием может быть эксперимент в натурных условиях, который полностью бы исключил неидентичность атмосферных и температурных условий.

Влияние второго фактора может оказаться очень сильным и изменить величину коэффициента α в несколько раз.

Чаще всего напряженное состояние в целике бывает точно не известным, так что воспроизведение опыта в лаборатории, таким образом, затруднено. В этом случае опять же одним из выходов может быть эксперимент в шахтных условиях. При этом образец изготавливается непосредственно из массива с таким расчетом, чтобы были соблюдены условия подобия формы образца и целика. Сюда же должны быть отнесены и условия на поверхности, по которой передается нагрузка на образец и на целик, где также должны быть выполнены условия подобия.

Масштабный фактор и особенности макроструктуры лучше всего могут быть учтены при проведении натурного эксперимента на образце, размеры которого достаточно велики, чтобы быть представительным с точки зрения структуры материала целика. В этом случае объем образца может исчисляться несколькими кубическими метрами или даже десятками кубических метров.

Учет четвертого фактора принципиально осуществить наиболее сложно. Сами колебания нагрузки на целик во времени воспроизвести на испытуемом в натурных условиях образце вообще говоря, принципиально возможно; осложне-

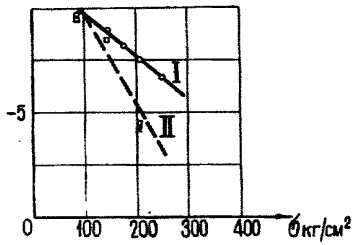
ние, однако, заключается во влиянии этих колебаний на протекание процессов ползучести и изменение долговечности. В настоящее время не представляется возможным вполне определенно ответить на этот вопрос, так как он требует специального изучения.

Наиболее точный результат по изложенному методу может быть получен на основании эксперимента, проводимого на образцах в натурных условиях. Однако натурному эксперименту предшествует эксперимент лабораторный, необходимый для того, чтобы установить принципиальную возможность применения предлагаемого метода, экспериментальное обоснование которого пока что получено только для солевых горных пород. Лабораторным экспериментом предварительно устанавливается подчиняется ли интересующий нас материал или горная порода уравнениям (1) и (2), ибо предлагаемый метод применим только к материалам, поведение которых при исследовании на ползучесть и долговечность описывается упомянутыми уравнениями. В натурных условиях подобный эксперимент был бы слишком трудоемким.

Наилучший результат с помощью предлагаемого метода может быть получен для целиков, у которых поперечные размеры малы (например, высота в два раза больше ширины) по сравнению с высотой. В этом случае напряженное состояние в целике оказывается наиболее однородным, что значительно упрощает картину деформирования и разрушения материала целика. Случай с целиками, имеющими малую высоту и большую ширину требует специального предварительного исследования с целью установления характерных для него показателей деформирования и разрушения. В данных методических указаниях этот вопрос не анализируется.

Для оценки влияния окружающей среды на показатели длительных испытаний на рис.6 изображены результаты, полученные на изолированных непроницаемым покрытием образцах и на неизолированных образцах.
Результаты, изображенные на рис.5 получены в опытах с изолированными образцами.

Как видно из графика, наклон линий имеет разное значение. В случае покрытых образцов α =0,046, в случае непо-



1-изолированные образцы
II-неизолированные образцы.
Рис.6. Результаты долговременных испытаний изолированных (линия I) и неизолированных (линия II) от внешней среды образцов сильвинита.

крытых α =0,1. За разницу в значениях α может быть ответственным только влияние внешней атмосферы, так как все прочие условия, за исключением изолирующего покрытия, в опытах оставались без изменения.

Известно /9/, что поверхностно- активные вещества сильно изменяют механические свойства материалов. В данном случае в качестве поверхностно- активного вещества может быть окружающая атмосфера с высокой влажностью. Проникая в тело образца сильвинита, атмосферная влага ослабляет элементарные межатомные связи, в результате чего процесс ползучести протекает более интенсивно.

Таким образом, пренебрегать влиянием окружающей атмосферы на свойства горных пород при длительных испытаниях нельзя. Лучше всего этот фактор может быть учтен в опытах, проводимых в натурных условиях.

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для пластов угля особое значение приобретает вопрос об учете структурных элементов: кливажа, разнопрочности отдельных пачек угля и т.д.

Механические свойства угля в образцах, получаемые при лабораторных испытаниях, не могут полностью отражать свойств массива. При проведении таких испытаний влияние макроструктуры (кливаж, слоистость, разнопрочность пачек угля или пород) на характер деформирования пластов угля не может быть полностью учтено. Образцы угля, как правило, удается получить только из наиболее крепких и монолитных пачек. В результате получаются показатели механи-

ческих свойств не пласта в целом, а только крепких и монолитных разностей углей. Наконец, сам процесс извлечения из массива и изготовления образцов для испытания до известной степени изменяет механические свойства угля или горной породы.

Для проведения исследований свойств горных пород в натурных условиях была разработана и изготовлена аппаратура, которая позволяет проводить длительные исследования при постоянной заданной нагрузке. На рис.7 изображена принципиальная схема гидравлической установки для проведения длительных испытаний горных пород в натурных условиях. Основными узлами установки являются комплект гидравлических аккумуляторов давления 1 и комплект давильных цилиндров 6. Необходимая величина давления в системе достигается с помощью насоса 2.

Предохранительный клапан 3 служит для пресечения вытекания рабочей жидкости из системы аккумуляторов в случае прорыва масла в системе.

Гидравлические аккумуляторы давления представляют из себя цилиндры, в которых рабочая жидкость (масло) находится под действием усилия сжатых пружин. Утечка жидкости за счет течей и податливости испытываемого образца вызывают спадение давления в системе. Энергия сжатых пружин аккумуляторов компенсирует это спадание и таким образом давление поддерживается постоянным, а, вернее, спадает настолько медленно, что им практически можно пренебречь. Аккумуляторы рассчитаны таким образом, что на один давильный цилиндр в среднем устанавливается один аккумулятор давления.

Измерение деформаций в вертикальном и горизонтальном направлениях дублируется и производится с помощью индикаторов часового типа, устанавливаемых на реперах, заделанных в образце.

Подготовка образца к испытаниям, передача нагрузки на торцевую поверхность производится по методике, изложенной в работе /11/.

С помощью описанной аппаратуры были проведены первые натурные опыты по указанной на рис.7 схеме на пласте

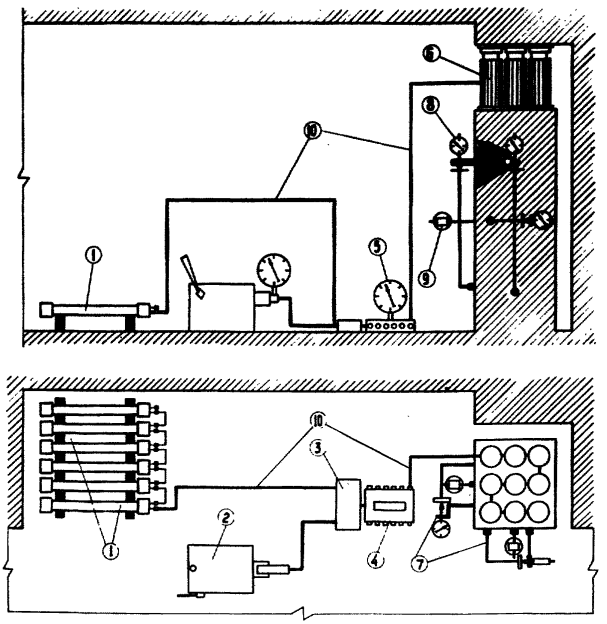


Рис.7. Принципиальная схема гидравлической установки для испытания длительной прочности горных пород в натурных условиях.

сильвинита Верхнекамского калийного месторождения, а также на буроугольном пласте "в", опасном по горным ударам на Шурабском месторождении . Образцы были изготовлены из массива и имели форму призмы размером в поперечном направлении 500х500 мм и высоту 1000 мм.Прочность такой призмы соли при быстром испытании составила 160 кг/см^2.

Испытания на ползучесть были проведены при напряжении 107 кг/см^2. Результаты этих экспериментов представлены на рис.8, где по вертикали отложены значения относительной деформации, а по горизонтали - время в сутках.

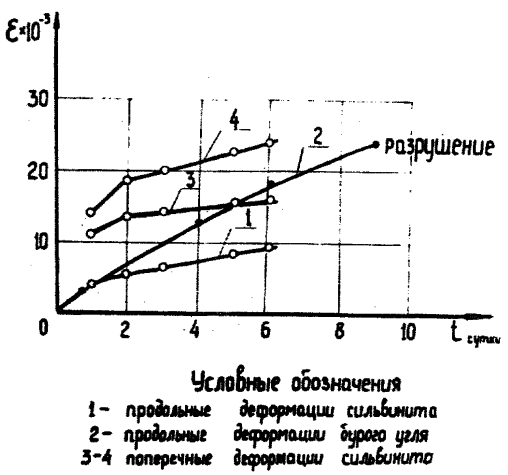


Рис. 8. Кривые ползучести сильвинита и угля по данным шахтных испытаний.

Кривая 1 изображает продольную (вертикальную) деформацию, кривые 3 и 4 соответственно - две поперечных (горизонтальных) деформации.

Как видно из графиков, зависимости имеют обычный вид кривых ползучести. Примечательным является то, что поперечные деформации по абсолютной величине превосходят продольные. Аналогичные результаты были получены и

на образцах в лабораторных условиях. Факт превышения поперечных деформаций над продольными говорит о сильном увеличении объема тела за счет развития в нем трещин разрушения и пустот. Результаты, полученные на пластах угля Шурабского месторождения, изображены кривой 2.

Первые опыты показали, что разработанная аппаратура и методика длительных испытаний в натурных условиях вполне себе оправдала и может использоваться в дальнейших исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журков С.Н. и Нарзуллаев Б.Н. Ж.Т.Ф. т.XXШ, вып.10, 1677, 1953.

2. Журков С.Н. и Сонфирова Т.П. Ф.Т.Т. 2.1033. 1960.

3. Журков С.Н., Левин Б.Я., Сонфирова Т.П. Ф.Т.Т. 2.1041. 1960.

4. Бессонов М.И. - У.Ф.Н. 83 № 1 107-135. 1934.

5. D.Mahuke. Z.f.Phys. 90.177 1934.

6. Регель В.Р. Ж.Т.Ф. т.XXУ1 № 2,359, 1956.

7. Журков С.Н. и Сонфирова Т.П. Ж.Т.Ф. т.XXУШ вып.8.1919,1958.

8. Davies P.W., Mutter A.R. "J.Just.Metals" 92, Nr 10, 344, 1964.

9. Лихтман Б.И., Щукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. Изд. АН СССР, 1962.

10. Ставрогин А.Н. Экспериментальные исследования ползучести и долговечности горных пород. До-

клад на Всесоюзном совещании по реологическим свойствам глинистых грунтов. ВНИИГ им.Веденеева. Май 1966г. г.Ленинград.

11. Б и ч Я.А. Методические указания по проведению натурных испытаний механических свойств угля и пород с помощью давильной установки. Издание ВНИМИ, Л., 1966.

12. Ф и с е н к о Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и откосов. М., "Недра". 1965 г.

Печатный цех ВНИМИ Заказ № 21 Тираж 300 14/У-68 г.
М-18192 Объем 1,5 п.л. Цена 14 коп.

gost.e-ecolog.ru