

**МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА  
В Н И М И**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по прогнозу степени удароопасности  
участков массива горных пород,  
руд и угля по разделению керна на диски  
и выходу буровой мелочи**

**Ленинград  
1985**

**Методические указания по прогнозу степени удароопасности участков массива горных пород (руд) по разделению керна на диски и выходу буровой мелочи.** Л., 1985. 24 с. (М-во угольной пром-сти СССР, Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).

Изложено влияние основных факторов на процессы разделения керна на диски и избыточного выхода буровой мелочи при бурении скважин, предложены способы оценки напряженного состояния горных пород, руд и угля на основе обоих процессов в различных горно-технических условиях, а также методы прогноза удароопасности отдельных участков массива вблизи контура выработок и на стадии геологоразведочных работ.

Работа рассмотрена, одобрена и рекомендована к изданию секцией горных ударов и выбросов угля (породы) и газа.

Ил. 11, табл. 1.

## СОСТАВИТЕЛИ

*А. П. Запрягаев, А. В. Исаев*

Под редакцией проф., д-ра техн. наук *И. М. Петухова*  
и канд. техн. наук *А. А. Филинкова*

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее сложных проблем, связанных с безопасностью работ при разработке угольных, рудных и нерудных месторождений, а также в процессе строительства подземных сооружений, является предотвращение горных ударов. Безопасное ведение горных работ на месторождениях, склонных к горным ударам, обуславливается определенным их порядком, при котором контролируют напряженное состояние массива и обеспечивают снижение вредного влияния горного давления путем применения различных мер предотвращения динамических явлений.

Прогноз удароопасности пород, руд, угля осуществляют на основе двух широко применяемых методов качественной оценки напряженного состояния массива — по разделению керна на диски и избыточному выходу штыба в процессе бурения скважин. Количественная связь между напряженностью массива, толщиной дисков и избыточным выходом штыба при бурении скважин рассмотрена в ряде работ и инструктивных документов. Однако имевшиеся обоснования достоверности этих методов оценки напряженного состояния массива не учитывали влияния ряда важнейших факторов на оба процесса при бурении скважин и, в частности, таких как вид напряженного состояния и уровень напряженности массива.

Для достижения необходимой надежности методов прогноза удароопасности пород, руд и угля выполнен комплекс экспериментальных лабораторных, шахтных и аналитических исследований с учетом влияния основных факторов на оба процесса при бурении скважин.

На основе экспериментальных исследований установлены количественные зависимости параметров дискования керна и избыточного выхода штыба от уровня напряженности массива при различных видах его напряженного состояния с учетом влияния диаметра скважин, их ориентации относительно направления максимальных напряжений, профиля торца режущей части буровых коронок, прочностных свойств и анизотропии пород и угля.

При прогнозе удароопасности горных пород и руд применяют метод оценки степени удароопасности по разделению керна на диски, а на угольных пластах — по выходу буровой мелочи. Исходя

из определяющего влияния одних и тех же факторов на оба процесса при бурении скважин, а также единой методики исследований, ВНИМИ разработан единый метод оценки напряженного состояния массива.

В настоящих методических указаниях рассмотрены следующие основные положения: обоснование возможности оценки напряженного состояния массива по диско- и штыбообразованию; оценка напряженного состояния массива по дискованию керна и выходу буровой мелочи; прогнозирование степени удароопасности участков массива по результатам бурения контрольных скважин.

Внедрение результатов исследований в практику прогноза горных ударов на рудных, нерудных и угольных месторождениях обеспечит повышение безопасности работ и снижение их себестоимости.

# 1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД, РУД, УГЛЯ ПО ДИСКОВАНИЮ КЕРНА И ИЗБЫТОЧНОМУ ВЫХОДУ ШТЫБА; ПАРАМЕТРЫ И ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

## 1.1. Общие сведения о явлениях и процессах при выбуривании скважин в напряженном массиве

1.1.1. Бурение скважин в напряженном массиве в определенных условиях сопровождается разделением керна на диски или избыточным выходом буровой мелочи. Эти процессы происходят вследствие разрушения керна (при его обуривании) или контура скважины.

1.1.2. Основной причиной разрушения материала в приствольной и торцевой областях скважины является высокая концентрация напряжений, вызывающих деформации сдвига или отрыва. Диски различной толщины образуются в результате изменения коэффициента концентрации напряжений на забое кольцевой обуривающей щели в зависимости от длины керна. Причем рост коэффициента концентрации напряжений ограничен длиной керна, равной половине его диаметра, что подтверждается натурными наблюдениями; диски толщиной больше половины их диаметра практически не встречаются. Изменение коэффициента концентрации напряжений на внутреннем контуре кольцевой щели и является основной причиной образования дисков различной толщины. Отсюда следует, что разрушающие напряжения в условиях меньшей напряженности массива достигают критической величины при большем коэффициенте концентрации напряжений, а значит и при большей толщине образующихся дисков.

Характер разрушения керна зависит от его длины, а контура скважины — от соотношений между компонентами радиальных к скважине напряжений.

1.1.3. Интенсивность разрушения керна на диски и выхода буровой мелочи определяется их параметрами. Параметрами дискования и избыточного выхода буровой мелочи являются соответственно толщина дисков  $t$  и вес (объем) штыба  $P(V)$ .

1.1.4. Параметры обоих процессов в зависимости от уровня напряженности и вида напряженного состояния крупногабаритных образцов пород, руд, угля установлены на гидравлическом стабилометре, обеспечивающем нагружение образцов диаметром 90—110 мм и высотой 150—200 мм до 250 МПа (рис. 1)\*.

1.1.5. Толщина выбуриваемых из скважин дисков  $t$  при неизменном соотношении между осевыми и радиальными напряжениями  $\sigma_{ос}/\sigma_r$  и прочих одинаковых факторах зависит от величины радиальных напряжений  $\sigma_r$  (рис. 2). Чем больше радиальные напряжения  $\sigma_r$ , тем интенсивнее процесс разделения керна на диски.

1.1.6. Диски, образовавшиеся от действия разрушающих напряжений в основании обуриваемого керна у торца кольцевой щели,

\* Стабилометр разработан А. П. Запрягаевым, А. В. Исаевым, В. С. Георгиевским.

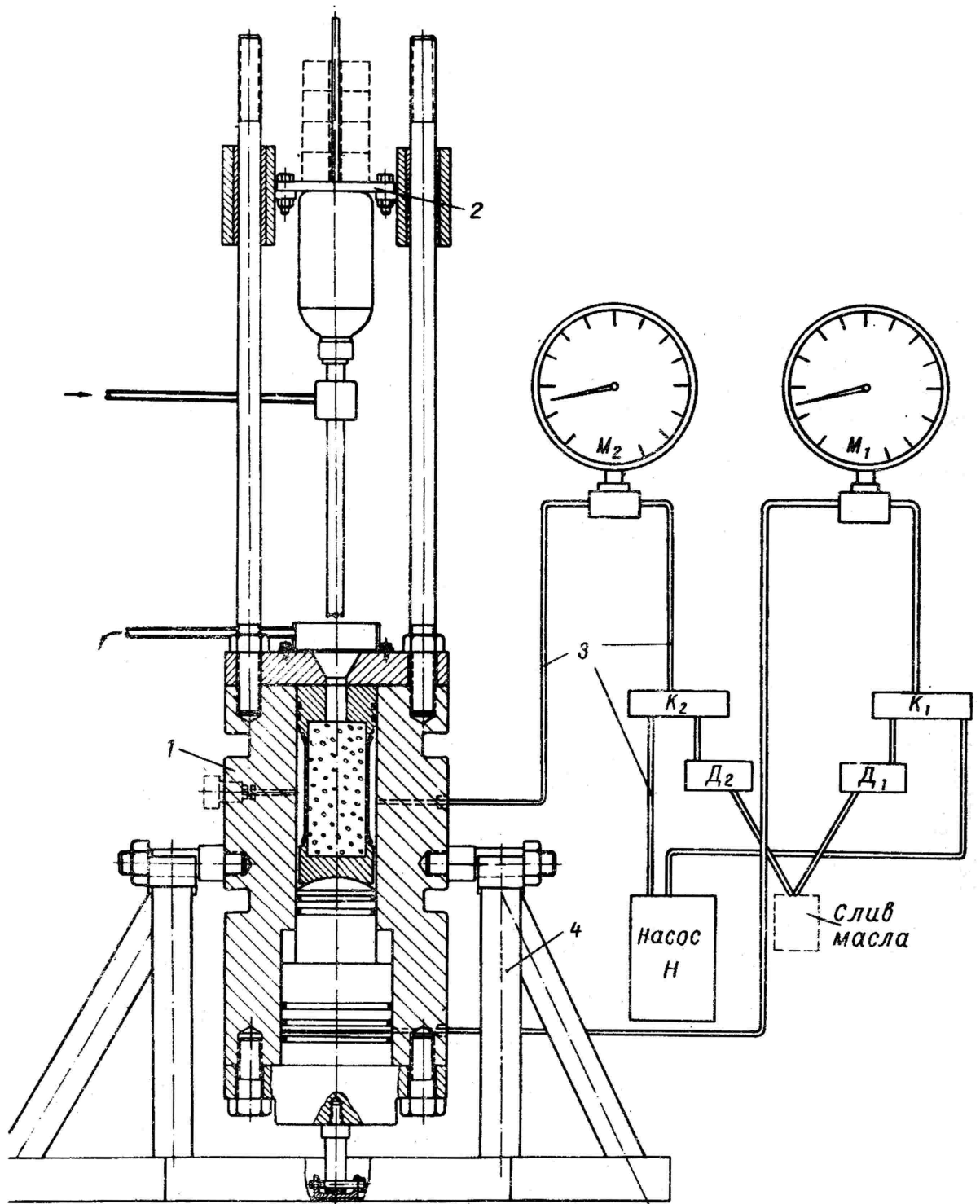


Рис. 1. Схема гидравлического стабилометра для определения параметров дискования керна и выхода буровой мелочи при различных уровнях и видах напряженного состояния пород и руд:

1 — камера высокого давления; 2 — буровое оборудование; 3 — гидравлическая система для создания, регистрации, распределения и сброса осевых и радиальных нагрузок на образцы пород и руд в камере; 4 — опорное приспособление для поворота и фиксации камеры в вертикальной плоскости

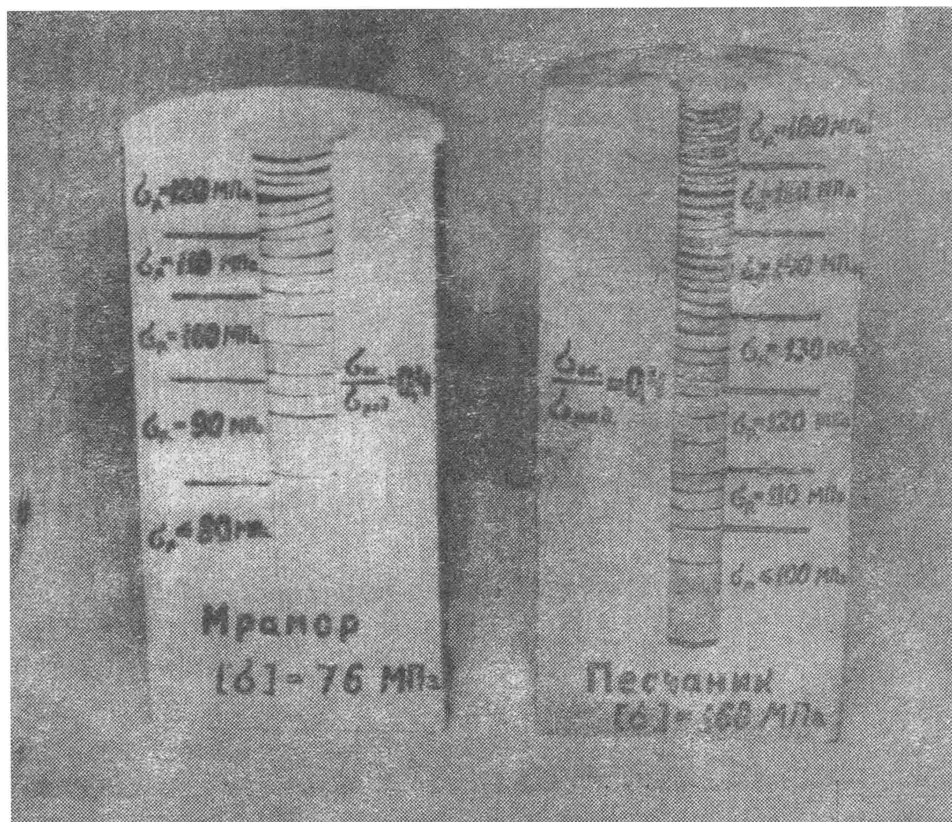


Рис. 2. Общий вид крупногабаритных образцов пород с дисками различной толщины в «скважинах» при различном уровне напряженности  $\sigma_{р1}/\sigma_{сж}$  и соотношении  $\sigma_{ос}/\sigma_{р1} = 0,4$

имеют, как правило, выпукло-вогнутую (реже плоскую) форму с выпуклостью в направлении массива. Толщина дисков при этом не превышает половины их диаметра.

Плоскости торцов дисков перпендикулярны оси скважины. Иногда они выходят, не отделившись до конца друг от друга, а границы между ними видны по кольцевым трещинам на поверхности кернов. При этом не следует принимать за диски элементы керна, образовавшиеся вследствие естественной трещиноватости пород или ослабленных контактов с минимальным сцеплением между различными их разновидностями.

1.1.7. Область применения обоих процессов для оценки напряженного состояния пород, руд, угля определяется видом напряженного состояния, уровнем напряженности массива и диаметром буриваемой скважины. Количественная оценка напряженности массива при видах напряженного состояния от одноосного до гидростатического и диаметре скважины 20 мм возможна в интервале максимальных напряжений  $\sigma_{max} = (0,6 \div 4,2) \sigma_{сж}$  (рис. 3 и 4).

За максимальные напряжения принимаются наибольшие радиальные по отношению к скважине напряжения  $\sigma_{р1}$ . Вид напряженного состояния определяется соотношениями между осевыми  $\sigma_{ос}$  и максимальными радиальными  $\sigma_{р1}$  напряжениями, между компонентами минимальных и максимальных радиальных напряжений  $\sigma_{р2}$  и  $\sigma_{р1}$ .

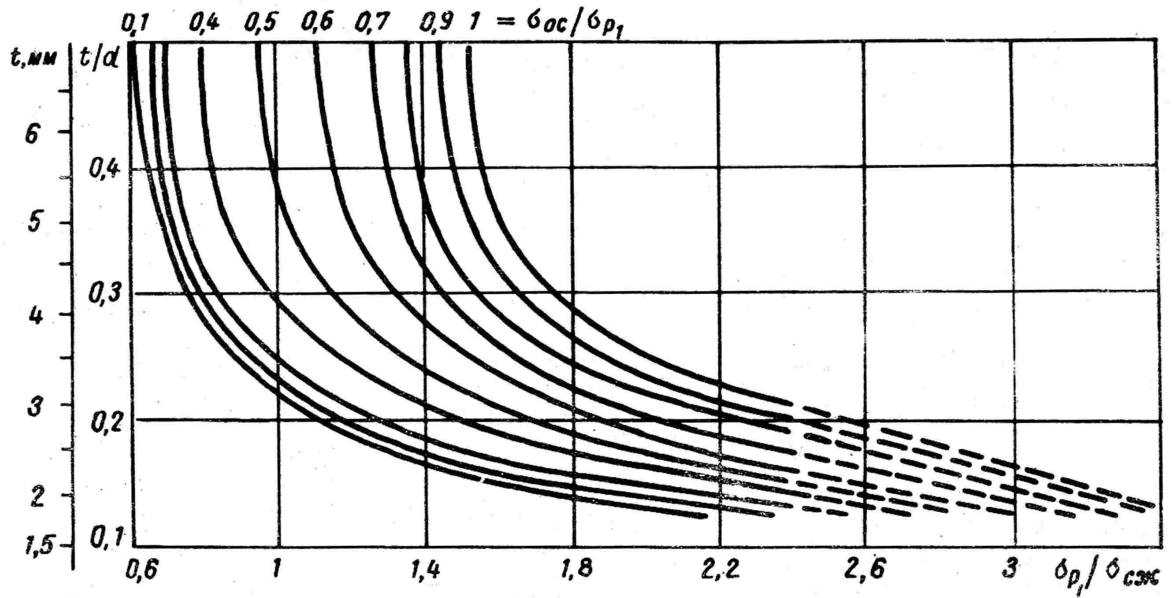


Рис. 3. Зависимость параметров дискования керна  $t/d$  от уровня напряженности массива  $\sigma_{p_1}/\sigma_{сж}$  при различных соотношениях между осевыми и радиальными напряжениями  $\sigma_{ос}/\sigma_{p_1}$

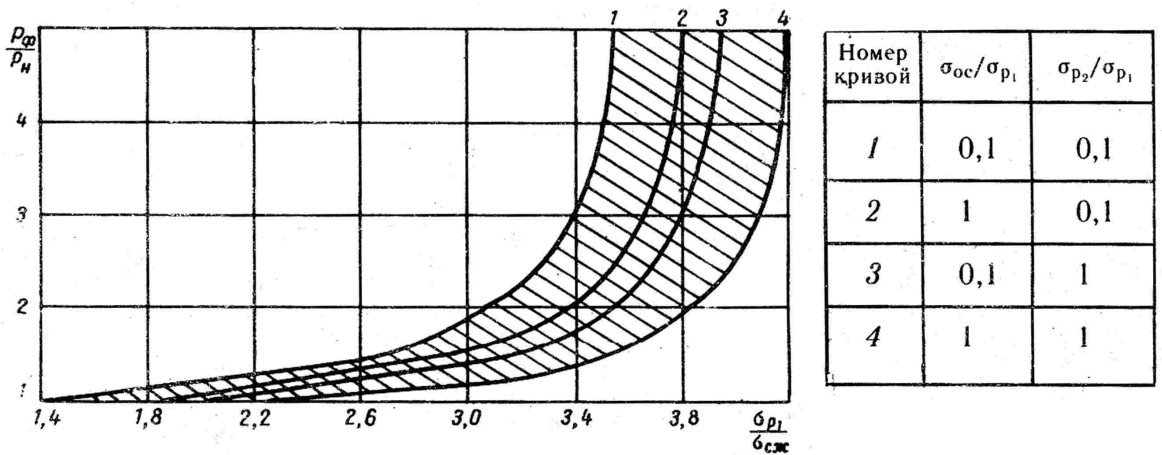


Рис. 4. Зависимость избыточного выхода штыба  $P_{ф}/P_{н}$  от уровня напряженности  $\sigma_{p_1}/\sigma_{сж}$  при различных соотношениях напряжений  $\sigma_{ос}/\sigma_{p_1}$  и  $\sigma_{p_2}/\sigma_{p_1}$

Уровень напряженности массива характеризует величина  $\sigma_{p_1}/\sigma_{сж}$ .  
 1.1.8. Наименьшую среднюю толщину дисков  $t$  или наибольшее количество буровой мелочи  $P$  с единицы длины скважины устанавливают при наиболее высоких уровнях напряженности  $\sigma_{p_1}/\sigma_{сж}$  и минимальных соотношениях  $\sigma_{ос}/\sigma_{p_1}$  и  $\sigma_{p_2}/\sigma_{p_1}$ . Толщина дисков  $t$  зависит только от соотношения между осевыми и максимальными радиальными напряжениями  $\sigma_{ос}/\sigma_{p_1}$ . Вторая составляющая радиальных напряжений  $\sigma_{p_2}$  не оказывает влияния на процесс дискообразования. На избыточный же выход буровой мелочи влияют оба соотношения  $\sigma_{ос}/\sigma_{p_1}$  и  $\sigma_{p_2}/\sigma_{p_1}$ , т. е. все три составляющих напряжений — осевые  $\sigma_{ос}$ , радиальные  $\sigma_{p_1}$  и  $\sigma_{p_2}$  напряжения.



Избыточный выход буровой мелочи, являясь дальнейшим развитием процесса дискования керна, установлен при более высоких уровнях напряженности пород (угля). Переход от дискования керна к избыточному выходу буровой мелочи сопровождается неупругими деформациями контура скважин. Начало этого процесса и предопределяет разрушение скважины и связанный с ним избыточный выход буровой мелочи.

1.1.9. Основным показателем, определяющим процессы дискования и штыбообразования, является уровень напряженности массива, который характеризует величину радиальных по отношению к скважине напряжений и прочностные свойства участка массива в целом со всей его структурной неоднородностью.

Приведение зависимостей толщины дисков от напряжений к безразмерным величинам  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}$  облегчает их практическое использование для оценки напряженности участков массива (без определения прочностных свойств горных пород, руд и угля). Установленные количественные зависимости параметров дискования керна и избыточного выхода буровой мелочи от уровня напряженности и вида напряженного состояния массива являются универсальными для многих разновидностей горных пород.

## *1.2. Влияние основных факторов на дискование керна и выход буровой мелочи*

1.2.1. Из всех факторов, оказывающих влияние на оба процесса при бурении скважин, можно выделить две основные группы: непосредственно и косвенно воздействующие на дискование керна и выход штыба.

К первой группе относятся: величина напряжений, вид напряженного состояния, прочностные свойства горных пород. Эти факторы являются определяющими в формировании условий, необходимых для возникновения процессов дискования керна и избыточного выхода буровой мелочи.

Во вторую группу входят пространственно-геометрические, структурные, технологические и другие факторы. Они косвенно влияют на параметры дискования керна и выхода штыба через показатели первой группы факторов, внося изменения в прочностные свойства пород, величину и характер распределения напряжений в приствольной и торцевой областях скважины.

В настоящих Методических указаниях обосновано влияние на параметры обоих процессов следующих косвенных факторов:

— масштабного фактора, определяемого влиянием диаметра выбуриваемого керна на толщину дисков  $t$  или их количество с единицы длины скважины, а также диаметра скважин на избыточный выход штыба;

— формы обуриваемой щели, оказывающей влияние на процесс разделения керна на диски;

— скорости бурения скважин;

- ориентации скважин и выработок в направлении максимальных и минимальных напряжений в массиве пород;
- прочностных свойств пород;
- анизотропии массива пород.

1.2.2. Интенсивность дискования керна и выхода буровой мелочи при бурении скважин определяется в значительной степени соотношением между осевыми и радиальными по отношению к скважине напряжениями, а также уровнем напряженности массива.

Дискование керна в условиях, например, гидростатического напряженного состояния пород и руд происходит при более высоком уровне их напряженности, чем при напряженном состоянии массива с минимальным соотношением между осевыми и радиальными напряжениями  $\sigma_{oc}/\sigma_{p1}=0,1$  (см. рис. 3). Так, параметры дискования керна при  $t/d=0,25$  и напряженном состоянии пород и руд вида  $\sigma_{oc}/\sigma_{p1}=0,1$  устанавливаются при уровнях напряженности в два раза меньших, чем в условиях гидростатики:  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}=0,9$  и  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}=2$ .

По мере приближения вида напряженного состояния к гидростатическому при равном уровне максимальных нагрузок и прочих одинаковых условиях интенсивность названных процессов уменьшается вплоть до полного их прекращения.

Рост осевых напряжений препятствует разделению керна на диски и избыточному выходу буровой мелочи. Увеличение же радиальных напряжений способствует развитию этих процессов.

1.2.3. Для каждого вида напряженного состояния существует своя критическая величина радиальных напряжений, при которых начинается дискование керна или избыточный выход буровой мелочи. Имеется также определенный диапазон напряжений, при котором эти процессы наблюдают в соответствии с зависимостями  $t=f(\sigma_{p1})$ ,  $P=f(\sigma_{p1})$ .

1.2.4. С увеличением прочности пород максимальные радиальные напряжения  $\sigma_{p1}$ , необходимые для получения одних и тех же параметров дискования керна и выхода буровой мелочи, возрастают. Относительная их величина  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}$  остается при этом неизменной.

1.2.5. В процессе бурения скважин в анизотропном материале с явно выраженной слоистостью, применение зависимости толщины дисков  $t$  от напряженности  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}$  будет правомерно при условии использования прочности на сжатие образцов, выбуренных в направлении, перпендикулярном оси контрольной скважины. При этом направления слоистости относительно оси образца и оси контрольной скважины должны быть взаимно противоположными. Уровень напряженности  $\sigma_{p1}/\sigma_{сж}$  характеризуется соотношением между максимальными радиальными по отношению к скважине напряжениями  $\sigma_{p1}$  и прочностью участка массива на сжатие  $\sigma_{сж}$  в направлении действия этих напряжений.

1.2.6. С увеличением диаметра керна  $d_k$  толщина дисков керна  $t$  возрастает, а относительная ее величина  $t/d$  уменьшается. Пересчет параметров дискования керна с одного диаметра на любой другой следует производить с помощью поправочного коэффициента  $K_t$ ,

если известны толщина дисков или их количество с единицы длины скважины хотя бы одного диаметра:

$$t_1 = t_2 K_t \text{ или } N_2 = N_1 K_t;$$

где  $K_t = 0,33 + 0,67 d_{к1}/d_{к2}$  при  $d_{к1} < d_{к2}$ ;  $t_1$  — толщина дисков диаметром  $d_{к1}$ ;  $t_2$  — толщина дисков диаметром  $d_{к2}$ ;  $N_1$  — количество дисков при диаметре керна  $d_{к1}$ ;  $N_2$  — количество дисков при диаметре керна  $d_{к2}$ .

1.2.7. С увеличением диаметра скважины  $d_c$  интенсивность избыточного выхода буровой мелочи возрастает. Установленная на основе экспериментальных исследований зависимость избыточного выхода штыба от уровня напряженности массива при том или ином виде его напряженного состояния позволяет перерасчитывать напряжения для различных диаметров скважин, если их величина определена по фактическому выходу штыба из скважины хотя бы для одного диаметра:

$$\sigma_{p2} = \sigma_{p1} K_\sigma,$$

где  $K_\sigma = 0,77 + 0,3 d_{c1}/d_{c2}$  при  $d_{c1} < d_{c2}$  и  $\sigma_{p2} < \sigma_{p1}$ ;  $\sigma_{p1}$  — максимальные радиальные напряжения, соответствующие избыточному выходу буровой мелочи из скважины диаметром  $d_{c1}$ ;  $\sigma_{p2}$  — максимальные радиальные напряжения, соответствующие избыточному выходу буровой мелочи из скважины диаметром  $d_{c2}$ .

1.2.8. Процессы диско- и штыбообразования обладают наибольшей интенсивностью при ориентации скважины в направлении, перпендикулярном действию максимальных напряжений. При бурении же скважин под углом  $\alpha$  к указанному направлению неизбежно изменение параметров дискования керна и выхода буровой мелочи.

В качестве примера рассмотрим схему возможной ориентации скважин относительно действия максимальных напряжений  $\sigma_1$  (рис. 5). В рассматриваемом случае напряженное состояние массива горных пород характеризуется в общем виде нормальными

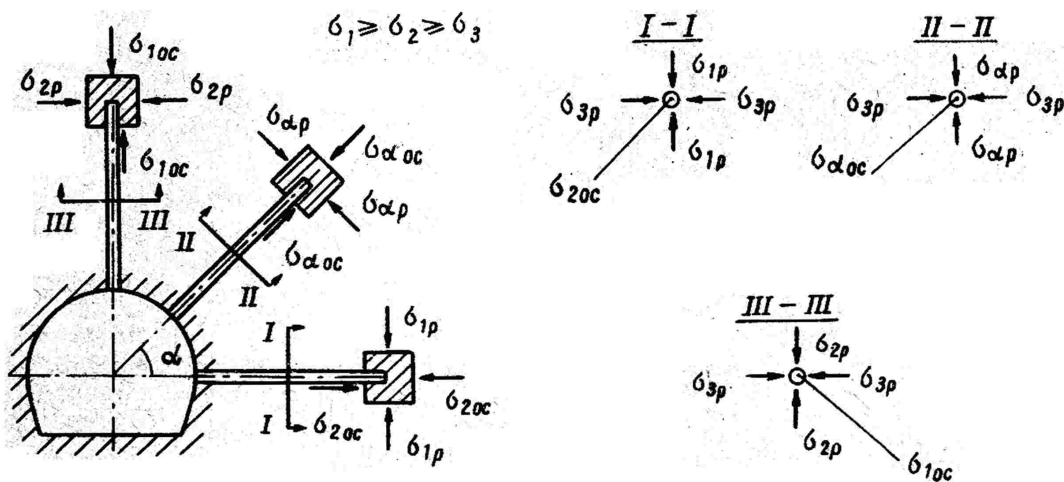


Рис. 5. Схема ориентации скважин относительно направления действия максимальных напряжений

напряжениями  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . Действие этих напряжений совпадает с направлением одноименных осей выбранной системы координат, одна из которых  $\sigma_3$  параллельна оси выработки. В этом случае при расположении скважины в направлении действия  $\sigma_2$  максимальные напряжения  $\sigma_1$  вне зоны влияния выработки будут являться одной из составляющих радиальных напряжений  $\sigma_{1p}$ , а напряжения  $\sigma_2$  — осевыми  $\sigma_{2oc}$  (сечение I—I).

С изменением ориентации скважины в направлении максимальных напряжений  $\sigma_1$  эти напряжения становятся осевыми  $\sigma_{1oc}$ , а  $\sigma_2$  — радиальными  $\sigma_{2p}$  (сечение III—III).

При бурении скважин под углом  $\alpha$  к направлению действия максимальных напряжений в плоскости действия напряжений  $\sigma_2$  и  $\sigma_1$  радиальные и осевые напряжения в этом случае вне зоны влияния выработки определяются в сечении II—II из выражений:

$$\sigma_{ap} = \sigma_{1p} \cos^2 \alpha + \sigma_{2p} \sin^2 \alpha;$$

$$\sigma_{aoc} = \sigma_{1p} \sin^2 \alpha + \sigma_{2p} \cos^2 \alpha.$$

Осевые и радиальные напряжения к скважине, различно ориентированной в пространстве в зоне влияния выработки, определяются более сложным видом зависимостей. Номограмма (см. рис. 6) характеризует взаимосвязь между максимальными радиальными напряжениями  $\sigma_{1p}$  в максимуме зоны опорного давления и радиальными напряжениями  $\sigma_{ap}$  к скважине, ориентированной под углом  $\alpha$  к этому направлению.

Максимальные напряжения  $\sigma_{1p}$  по данным кернового бурения и избыточного выхода штыба в скважине, выбуренной под углом  $\alpha$  к скважине ориентированной по нормали к максимальным напряжениям, определяются следующим образом.

При известных значениях угла  $\alpha$  и соотношении между минимальным и максимальным напряжениями  $\sigma_2/\sigma_1$  находят по номограмме  $\sigma_{ap}/\sigma_{1p}$ . Напряжения  $\sigma_{ap}$  в максимуме зоны опорного давления по дисквацию керна и выходу штыба определяют по зависимостям  $t/d = f(\sigma_{p1}/\sigma_{сж})$  и  $P_{\phi}/P_n = f(\sigma_{p1}/\sigma_{сж})$  (рис. 7). Отсюда максимальные напряжения  $\sigma_{1p}$  определяются из установленного соотношения  $\sigma_{ap}/\sigma_{1p} = A$ .

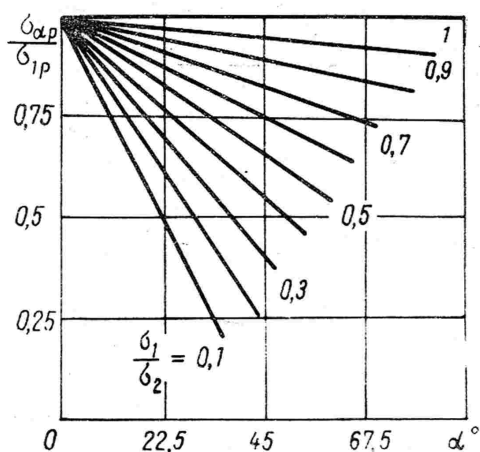


Рис. 6. Номограмма для определения радиальных напряжений в максимуме зоны опорного давления в скважине, ориентированной перпендикулярно действию максимальных нагрузок по аналогичным напряжениям, установленным в скважине, выбуренной под углом к указанному направлению при различных видах напряженного состояния

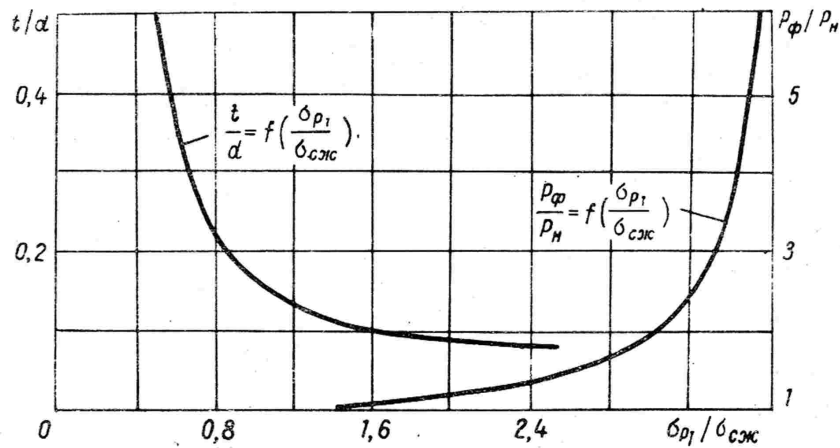


Рис. 7. Номограмма для определения напряжений в максимуме зоны опорного давления по дискованию керна и выходу буровой мелочи

1.2.9. При оценке напряженного состояния массива или прогнозе его удароопасности по данным кенового бурения необходимо учитывать форму профиля режущей части буровых коронок. Наибольшей толщины диски образуются при полусферической форме профиля коронки, а при плоской и клиновой — толщина дисков уменьшается соответственно на 10 и 30%.

1.2.10. Технологические параметры бурения при оценке напряженного состояния массива или прогнозе его удароопасности необходимо сохранять постоянными. Приведенные зависимости толщины дисков и выхода штыба от основных факторов могут быть использованы для прогноза удароопасности и оценки напряженности массива лишь на основе выявленных параметров обоих процессов при бурении скважин следующим буровым оборудованием в установленных режимах бурения:

— по выходу штыба — шахтные электросверла ЭБР-19, ЭБР-19Д, скорость вращения бурового става 450÷550 об/мин; буровые коронки диаметром 42 мм;

— по дискованию керна — буровые станки УБЭМ-100, ЭБГП-1, НКР-100; скорость вращения бурового става 350÷450 об/мин; количество подаваемой воды на забой скважины 3—7 л/мин; кеновые коронки наружным диаметром 59 мм; форма профиля режущей части коронок — полусферическая.

**2. ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД, РУД, УГЛЯ  
ПО ДИСКОВАНИЮ КЕРНА, ИЗБЫТОЧНОМУ ВЫХОДУ ШТЫБА  
ВБЛИЗИ КОНТУРА ВЫРАБОТОК  
И НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ  
ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН С ПОВЕРХНОСТИ**

*2.1. Оценка напряженного состояния пород и руд  
по дискованию керна вблизи горных выработок*

2.1.1. Напряженное состояние пород и руд по дискованию керна в процессе бурения скважин вблизи контура выработок различного назначения следует количественно оценивать в максимуме зоны опорного давления независимо от вида напряженного состояния нетронутого массива на основе (см. рис. 6) зависимости  $t/d = f(\sigma_{p_1}/\sigma_{сж})$ , которая определяется соотношением между осевыми  $\sigma_{oc}$  и радиальными  $\sigma_{p_1}$  к скважине напряжениями  $\sigma_{oc}/\sigma_{p_1} = 0,2$ . Радиальные напряжения  $\sigma_{p_1}$  являются тангенциальными  $\sigma_{\theta}$  по отношению к выработке напряжениями.

2.1.2. Напряженное состояние массива по разделению керна на диски вне зоны опорного давления можно количественно оценивать с достаточной достоверностью только при известном соотношении между осевыми и радиальными по отношению к выбуриваемой скважине напряжениями в соответствии с зависимостью (см. рис. 3).

2.1.3. Для оценки напряженного состояния участков массива по дискованию керна в максимуме зоны опорного давления бурят скважину керновой коронкой диаметром 59 мм по нормали к поверхности обнажения, либо к плоскости, являющейся касательной к ее поверхности, на глубину, равную наибольшим размерам выработки  $h(B)$ .

2.1.4. Скважины следует бурить поинтервально, при этом отбирают керновый материал через каждые 0,5 или 1 м.

Керн укладывают в специальные ящики с целью дальнейшего его описания и измерения.

2.1.5. Характер дискования керна оценивают по выходу выпукло-вогнутых дисков толщиной до половины их диаметра. Толщину дисков измеряют по их оси штангенциркулем.

Достаточно высокая достоверность метода оценки напряженного состояния горных пород и руд обеспечивается определением осредненной толщины дисков в интервалах по 0,25 мм. Интервал скважины с наименьшей средней толщиной дисков  $t(t/d)$  и определяет положение зоны максимальных нагрузок  $X_1$ .

2.1.6. Результаты измерений толщины дисков  $t$  представляют в виде гистограмм, характеризующих параметры дискования керна на различном расстоянии от устья скважины.

Прямолинейные участки гистограммы, соединенные плавной линией, имеют вид параболы, обращенной ветвями вверх. Область дискообразования по длине скважины включает три участка: с наименее интенсивным дискованием, плавно переходящим в зоне максимума

опорного давления ко второму участку, — с наиболее интенсивным разделением керна на диски и далее, за максимумом зоны опорного давления, к третьему участку — с наименьшей интенсивностью процесса.

2.1.7. При наличии на гистограмме нескольких экстремумов с минимальной толщиной дисков (лепестков) следует определять на этих участках прочность на сжатие  $\sigma_{сж}$  пород (руд).

2.1.8. Определение величин  $\sigma_{сж}$  может быть выполнено прибором БУ-39 конструкции ВНИМИ\*. Поскольку прибор БУ-39 устанавливает прочность только на растяжение, необходимы поправочные коэффициенты для пересчета к прочности на одноосное сжатие.

Метод определения прочностных свойств основан на измерении приложенного к образцу усилия через инденторы, под действием которых в образце (диске) возникают растягивающие напряжения.

При испытаниях на прочность количество образцов должно быть не менее шести для образцов правильной формы и не менее десяти для образцов неправильной формы.

Предел прочности породы на одноосное растяжение  $\sigma_{рас}$  вычисляется по формуле:

$$\sigma_{рас} = 0,75 P_p / S_p K_m,$$

где  $S_p$  — фактическая площадь поверхности сплошного разрыва;  $P_p$  — максимальная разрушающая нагрузка;  $K_m$  — безразмерный масштабный коэффициент, принимаемый равным 1 при  $S_p = (15 \pm 3) \text{ м}^2 \cdot 10^{-4}$ .

Для других значений  $S_p$  коэффициент  $K_m$  устанавливается по таблице.

$S_p, \text{ м}^2 \cdot 10^{-4}$	3	4	5	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	80	100
$K_m$	0,67	0,72	0,76	0,85	0,90	1,00	1,08	1,14	1,19	1,24	1,28	1,32	1,35	1,52	1,60

Предел прочности породы на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$  вычисляют по корреляционным зависимостям. Среднее значение  $\sigma_{сж}$ , например, при испытаниях аргиллитов, алевролитов, известняков и песчаников определяется ориентировочно равным  $20\sigma_{рас}$ . Среднее значение  $\sigma_{сж}$  изверженных и метаморфических горных пород следует определять равным  $25\sigma_{рас}$ .

Определение корреляционных зависимостей между  $\sigma_{рас}$  и  $\sigma_{сж}$  для других разновидностей пород и руд осуществляется путем сопоставления прочности на одноосное сжатие цилиндрических образцов ( $d=42$  мм и  $h=2d$ ) с прочностью дисков из той же разновидности пород и руд на растяжение.

2.1.9. Положение максимальных нагрузок при различиях в прочностных свойствах горных пород по длине скважин рекомендуется

\* Инструкция по эксплуатации пробника БУ-39. Л.: ВНИМИ, 1978. 24 с.

определять с учетом средней толщины дисков и их прочности в этих экстремумах из зависимости:

$$\sigma_{p_1} = \sqrt{d}/t \sigma_{сж} [(0,54 + 0,1 \sqrt{d}) + (0,78 + 0,165 \sqrt{d})]^{-1}.$$

2.1.10. В крепких разновидностях горных пород и руд — вблизи явно выраженных контактов крепких и слабых пород — могут наблюдаться экстремальные всплески дискообразования с ограниченной протяженностью, не превышающей 0,2—0,25 погонной длины, м скважины. Эти экстремумы представлены, как правило, не более 5—10 дисками.

Гистограмма в этом случае имеет вид гиперболы. Область дискообразования определяется при этом участком скважины, с переходом от тонких дисков (у контакта крепких и слабых пород) к дискам большей толщины  $t$  при удалении от него.

Такие всплески повышенной напряженности массива пород на участках столь ограниченной длины — вблизи контактов слабых и крепких разновидностей пород не определяют, однако, положения максимума зоны опорного давления на массив у контура выработок.

2.1.11. Положение зоны максимальных нагрузок при неизменной прочности пород на сжатие по длине скважины необходимо устанавливать по наиболее удаленному экстремуму.

2.1.12. Уровень напряженности участка массива в максимуме зоны опорного давления определяется по зависимости  $t/d = f(\sigma_{p_1}/\sigma_{сж})$  (см. рис. 7).

## 2.2. Оценка напряженного состояния пород и руд по дискованию керна на стадии бурения геологоразведочных вертикальных скважин с поверхности

2.2.1. Напряженное состояние пород и руд при бурении вертикальных геологоразведочных скважин количественно оценивают на основе номограммы (рис. 8), которая позволяет определять уровень напряженности массива, выраженной отношением максимальных горизонтальных напряжений  $\sigma_{гор}$  к прочности пород  $\sigma_{сж}$  по известным вертикальным напряжениям  $\sigma_{вер} = \gamma H$ . Определение вертикальных напряжений может быть выполнено и любыми экспериментальными методами.

2.2.2. Извлеченный из выбуриваемой скважины керновый материал должен быть подвергнут тщательному осмотру с целью достаточно надежного определения участков массива с действительным дискованием керна. При обследовании кернового материала подлежат определению участки интенсивного дискования керна с одновременной привязкой их по глубине скважин  $H$ .

2.2.3. Уровень напряженности массива пород и руд  $\sigma_{гор}/\sigma_{сж}$  при наличии процесса разделения керна на диски  $d = 76$  мм определяется по номограмме (см. рис. 7), которая позволяет производить оценку напряженного состояния массива по данным кернового бурения геологоразведочных скважин глубиной  $H$  до 5000 м.



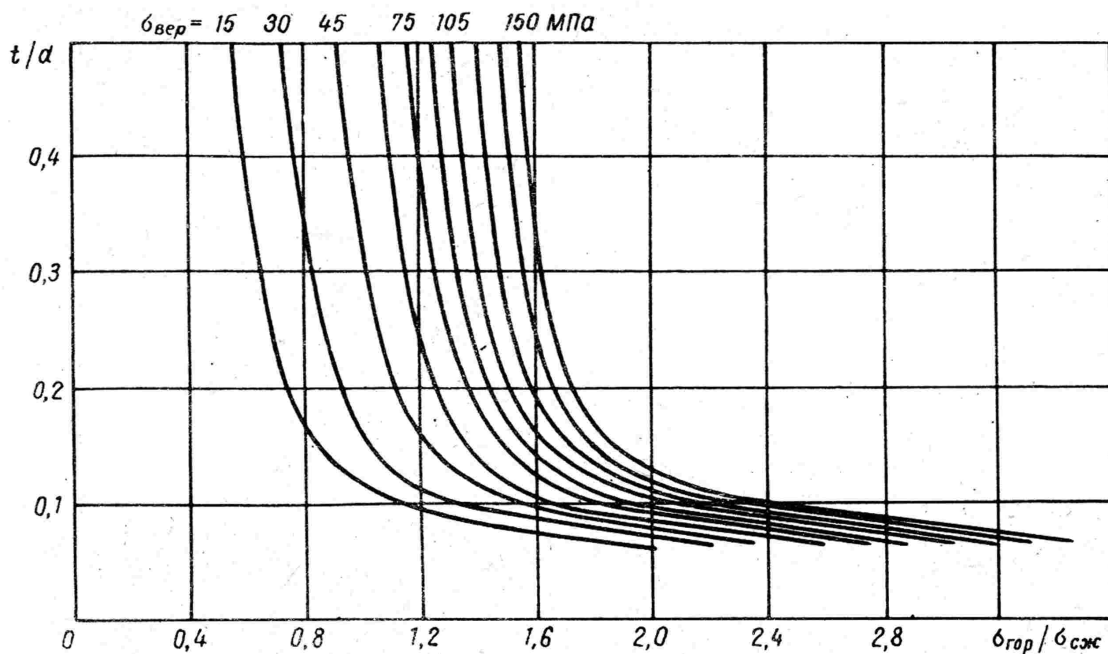


Рис. 8. Номограмма для оценки напряженного состояния пород по дискованию керна по данным бурения геологоразведочных скважин при различных вертикальных напряжениях, определяемых величиной  $\gamma H$

2.2.4. Региональная оценка напряженного состояния пород и руд на стадии геологоразведочных работ при необходимости решения вопроса о напряженном состоянии месторождения или шахтного поля должна осуществляться на основе обширного анализа кернового материала и результатов экспериментальных исследований параметров дискования керна по всей глубине скважин и площади месторождения или шахтного поля.

Анализ состояния кернового материала и интерпретация экспериментальных данных при региональной оценке напряженного состояния массива не требуют существенных дополнительных затрат на выполнение указанных работ.

2.2.5. Количественная оценка напряженного состояния массива пород и руд по дискованию керна в процессе геологоразведочных работ может быть использована при расчете параметров крепи горнокапитальных выработок проектируемых рудников, при решении вопросов оптимального расположения шахтных стволов и ориентации выработок околоствольного двора, при определении устойчивости скважин в зависимости от уровня напряженности и вида напряженного состояния массива.

### 2.3. Оценка напряженного состояния пород и угля по избыточному выходу буровой мелочи

2.3.1. Количественную оценку напряженного состояния массива пород и угля по выходу штыба  $P_{ф}/P_{н}$  в процессе бурения скважин

следует производить в максимуме зоны опорного давления в соответствии с зависимостью  $P_{\phi}/P_n = f(\sigma_{r_1}/\sigma_{сж})$  (см. рис. 7). Эта зависимость установлена при соотношениях между осевыми  $\sigma_{ос}$  и радиальными  $\sigma_{r_1}$  по отношению к скважине напряжениями равных 0,2.

2.3.2. Количественная оценка напряженного состояния пород и угля вне зоны опорного давления по избыточному выходу штыба возможна только при известных соотношениях между осевыми и радиальными к выбуриваемой скважине напряжениями в соответствии с зависимостью (см. рис. 5).

2.3.3. Скважины бурят поинтервально через каждые 0,5—1 м. В конце каждого интервала, не останавливая вращения бурового снаряда, приостанавливают его подачу на забой скважины до тех пор, пока с этого интервала не прекратится выход буровой мелочи.

2.3.4. Избыточный выход буровой мелочи  $P_{\phi}/P_n$  оценивается отношением фактического  $P_{\phi}(V_{\phi})$  и номинального  $P_n(V_n)$  выхода штыба в весовом или объемном измерении.

2.3.5. Результаты определения избыточного выхода буровой мелочи с целью последующей оценки напряженного состояния массива необходимо представлять гистограммами, характеризующими параметры штыбообразования при различных удалениях от устья скважины.

2.3.6. При наличии на гистограмме нескольких экстремумов положение зоны максимальных нагрузок определяют по наиболее удаленному от контура выработки экстремальному значению избыточного выхода штыба  $P_{\phi}/P_n$ .

2.3.7. По зависимости  $P_{\phi}/P_n = f(\sigma_{r_1}/\sigma_{сж})$  (см. рис. 7), используя параметры выхода штыба в максимуме зоны опорного давления, находят уровень напряженности участков массива.

2.3.8. Количественная оценка напряженного состояния пород и угля по избыточному выходу штыба в процессе бурения скважин нецелесообразна при показателях штыбообразования  $P_{\phi}/P_n \geq 3,5$ .

**3. ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ПОРОД, РУД, УГЛЯ  
ВБЛИЗИ КОНТУРА ВЫРАБОТОК ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН  
ПО ДИСКОВАНИЮ КЕРНА И ВЫХОДУ ШТЫБА  
И НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ  
ПО ДАННЫМ КЕРНОВОГО БУРЕНИЯ**

*3.1. Прогноз степени удароопасности  
массива пород, руд и угля*

3.1.1. Прогноз степени удароопасности участка массива пород, руд и угля, прилегающего к горной выработке, по дискованию керна и выходу штыба производится путем определения напряженного состояния этого участка в максимуме зоны опорного давления и расстояния до этого максимума от стенки или забоя выработки.

3.1.2. По степени удароопасности участки массива горных пород, прилегающие к выработкам, разделяются на три категории:

I. Повышенной опасности. До приведения выработок в неудароопасное состояние постоянное пребывание и передвижение людей, не связанных с профилактической обработкой, не разрешается.

II. Опасный. Выработки должны быть приведены в неудароопасное состояние.

III. Неудароопасный. Выработки могут эксплуатироваться без приведения в неудароопасное состояние.

3.1.3. Прогноз степени потенциальной удароопасности массива на стадии геологоразведочных работ по дискованию керна при бурении вертикальных скважин с поверхности осуществляется в зависимости от уровня напряженности массива и коэффициента крепости пород и руд.

3.1.4. По результатам регионального прогноза в пределах шахтного поля выделяют области, опасные и неопасные по горным ударам. Области, опасные по горным ударам, могут находиться в условиях различной степени удароопасности. По степени потенциальной удароопасности области шахтного поля делятся на три категории. Каждая категория предусматривает на стадии проектирования рудника свой комплекс мер:

I. Раскройка и календарный план отработки шахтных полей на месторождении или участков шахтного поля в пределах рудника; выбор места заложения капитальных горных выработок; порядок отработки шахтного поля; выбор технологии работ, отвечающей удароопасным условиям; создание службы прогноза и борьбы с горными ударами; выполнение локальных и региональных мер при проведении горных выработок и производстве очистных работ.

II. Те же меры, за исключением региональных и локальных мер борьбы с горными ударами.

III. Те же меры, что и при второй категории, за исключением создания службы прогноза и борьбы с горными ударами.

### 3.2. Прогноз удароопасности по избыточному выходу штыба в процессе бурения скважин

3.2.1. Процесс бурения и регистрация избыточного выхода буровой мелочи ведутся по каждому метру подвигания забоя скважины. Для оценки степени удароопасности участка пласта должно быть пробурено не менее двух скважин на расстоянии 2—3 м одна от другой по каждой из представленных пачек пласта угля. Глубина скважин диаметром 43 мм при прогнозе удароопасности массива должна выбираться из расчета перебурирования зоны максимальных напряжений, т. е. должна быть более  $X_1$ .

В тех случаях, когда расстояние  $X_1$  определить не удастся, длина скважины должна приниматься не менее ширины защитной зоны  $l$  для очистных, подготовительных выработок и целиков. Ширина защитной зоны  $l$  определяется в соответствии с требованиями Инструкции\*

3.2.2. Категория удароопасности массива угля (пород) по выходу буровой мелочи вблизи контура выработок различного назначения определяется в соответствии с номограммой (рис. 9). Номограммой устанавливается предельная величина соотношения между фактическим и номинальным выходом штыба в процессе бурения скважин  $P_f/P_n \leq 4$ .

### 3.3. Оценка степени удароопасности участков породного или рудного массива по дискованию керна

3.3.1. Прогноз степени удароопасности пород и руд по дискованию керна при выбуривании скважин в стенках выработок выполняется исходя из необходимости установления двух критериев удароопасности — величины напряжений в максимуме зоны опорного давления и расстояния до максимальных нагрузок от обнажения.

3.3.2. Прогноз степени удароопасности участков массива горных пород и руд должен производиться по резделению керна на диски в скважинах, ориентированных перпендикулярно действию максимальных тангенциальных напряжений. Такое расположение скважин продиктовано необходимостью определения удароопасности пород вблизи выработок в наиболее опасных участках.

3.3.3. Для определения направления максимального напряжения в сечении выработки следует бурить веер скважин в ее стенках и забое в соответствии со схемой (рис. 10).

3.3.4. На основе анализа кернового материала из выбуренных скважин определяются наиболее напряженные участки массива и направление действия максимальных напряжений. Скважина, из которой керн вышел в виде дисков, определяет максимальные напряжения, ориентированные перпендикулярно ее оси.

---

\* Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам. Л.: ВНИМИ, 1981. 119 с.

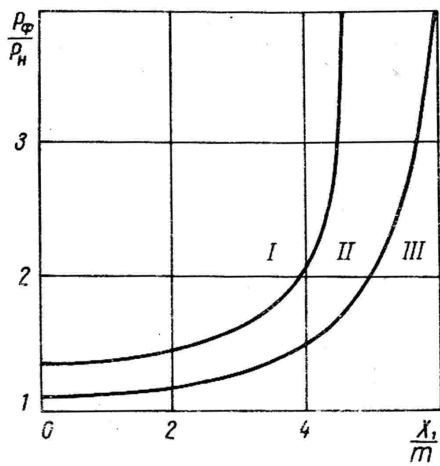


Рис. 9. Номограмма для установления категории удароопасности по выходу штыба  $P_{\phi}/P_n$ :

$X_1$  — расстояние от устья скважины;  $m$  — мощность пласта

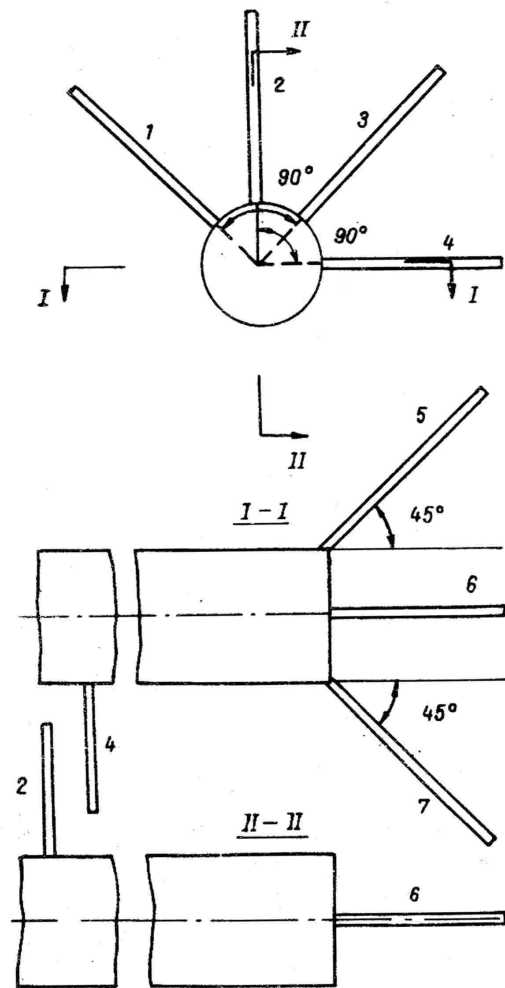


Рис. 10. Схема бурения скважин в стенках, в забое выработки при неизвестном направлении главных напряжений

3.3.5. Удароопасность массива при дисковании керна в нескольких скважинах должна определяться по скважине с наименьшей толщиной дисков в зоне максимума опорного давления.

При наличии одной и той же минимальной толщины дисков в двух соседних скважинах необходимо бурение контрольной скважины между ними для последующего определения степени удароопасности участка.

3.3.6. Дальнейший прогноз удароопасности массива пород и руд в проводимых и поддерживаемых выработках — при неизменных горно-технических и горно-геологических условиях — осуществляется на основе анализа кернового материала только по одной выбуриваемой скважине, направление которой было принято в результате бурения веера скважин.

3.3.7. Составной частью прогноза степени удароопасности участков массива по дискованию керна является оценка напряженного состояния этих участков, которая приведена в п. 2.1.

3.3.8. Интервал с наибольшими напряжениями  $\sigma_p$  по длине скважины определяет положение зоны максимума нагрузок  $X_1$  вблизи контура сечения выработки.

3.3.9. При определенных величинах  $X_1$  вблизи контура выработки образуется зона разрушенных пород с минимальной остаточной прочностью или зона отжатых в выработку и разрушенных от напряжений пород шириной  $X_2$ .

Дискования керна в этой зоне не наблюдается. Ширина зоны  $X_2$  определяется участком скважины от контура выработки до начала разделения керна на диски.

При наличии зоны  $X_2$  величина  $X_1$  определяется от начала зоны дискования керна до середины интервала с минимальной толщиной дисков.

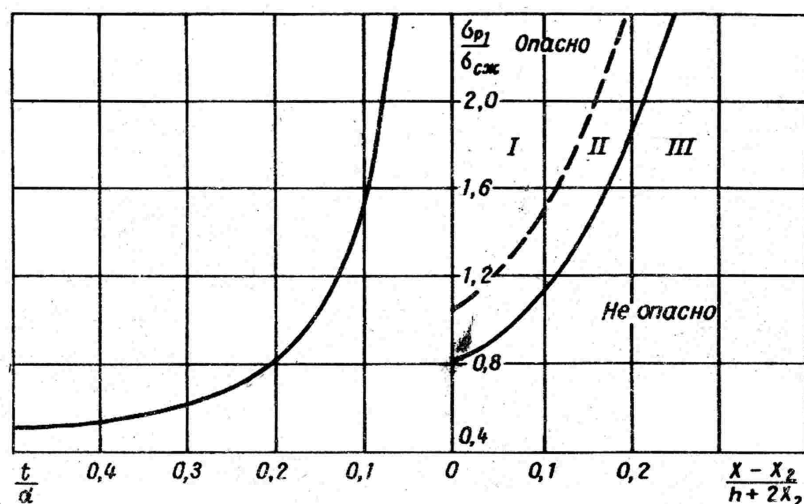


Рис. 11. Номограмма для определения степени удароопасности участков массива по дискованию керна

3.3.10. Параметры  $t_{cp}$  ( $t_{cp}/d$ ),  $X_1$  и  $X_2$  в случае наличия этой зоны определяют в соответствии с номограммой (рис. 11) категорию удароопасности участка горного массива.

#### 3.4. Прогноз удароопасности массива пород и руд на стадии геологоразведочных работ

3.4.1. Работы по оценке удароопасности массива пород и руд на стадии геологоразведки осуществляются в следующей последовательности:

- в процессе бурения скважин определяют среднюю толщину дисков на участках геологоразведочных скважин с дискованием керна;

- определяют вертикальные напряжения  $\sigma_{вер} = \gamma H$ , где  $\gamma$  — средневзвешенный объемный вес пород;  $H$  — глубина участков скважин;

- определяют горизонтальные напряжения  $\sigma_{гор}$  или уровень напряженности массива  $\sigma_{гор}/\sigma_{сж}$  по номограмме (см. рис. 7) в соответствии с установленными безразмерными величинами  $t/d$  и  $\sigma_{вер} = \gamma H$ .

Уровень напряженности пород  $K = \sigma_{гор} / \sigma_{сж}$  определяется равным, например, 1,25 при  $t/d = 0,2$  и  $\sigma_{вер} = 60$  МПа. Значение  $K = \sigma_{гор} / \sigma_{сж}$  определяется лишь равным 0,7 при той же безразмерной величине  $t/d = 0,2$ , но уже изменившемся значении  $\sigma_{вер} = 15$  МПа. Максимальные горизонтальные напряжения  $\sigma_{гор}$  в этом случае при  $\sigma_{сж} = 50$  МПа достигают 35 МПа.

3.4.2. Месторождение или участок массива относят к удароопасным, если коэффициент крепости пород и руд  $f \geq 5$ . При этом категория удароопасности зависит от значения уровня напряженности пород  $K = \sigma_{гор} / \sigma_{сж}$  и численно определяется его величинами:  $K > 1,4$  — I категория;  $1 < K \leq 1,4$  — II;  $0,7 < K \leq 1$  — III.