

## ВВЕДЕНИЕ

Угольная промышленность – ведущая отрасль народного хозяйства от стабильной работы, которой зависит энергетическая безопасность ДНР.

Угольные предприятия на территории республики работают без реконструкции более 30 лет, причем третья часть из них введена в эксплуатацию более 80 лет назад.

Усложнение горно-геологических условий отработки пластов, увеличение глубины их разработки приводит к повышению интенсивности воздействия горного давления на подземные выработки. Формы его проявления, зависят от совокупного влияния целого ряда горно-геологических и горнотехнических факторов. Несмотря на снижение протяженности поддерживаемых горных выработок на угольных шахтах Донбасса, в связи с их закрытием, состояние выработок продолжает ухудшаться. Так, до 30% из них по протяженности на конец каждого года не удовлетворяют эксплуатационным требованиям. Основной причиной такого положения является высокая трудоемкость работ по содержанию выработок при весьма низком (до 5%) уровне их механизации. Кроме того, до 50 % затрат в себестоимости добываемого угля составляют расходы на поддержание выемочных выработок. Поэтому, основные технические решения проекта доработки шахтного поля, направлены на улучшение технико-экономических показателей работы предприятия. В том числе, должно быть обеспечено уменьшение себестоимости добываемого угля, повышение производительности труда рабочих и качество добываемого полезного ископаемого при существующих горно-геологических условиях в пределах заданного шахтного поля.

Рациональное проектирование и ведение производственных процессов добычи угля позволит решить многие технические, экологические и социальные проблемы, на решение которых и направлено данное учебное пособие.

*При написании разделов 5-7 использовались материалы методических указаний по выполнению курсового проекта по курсу «Управление состоянием массива горных пород» (авторы Гавриш Н.Н., Пилюгин В.И.)*

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ. ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК.

Подземная разработка пластовых месторождений требует проведение сети горных выработок, при этом большое значение имеет их эксплуатационное состояние, так как они обеспечивают доступ к полезному ископаемому, возможность его добычи и транспортирования на поверхность для дальнейшего потребления. От их состояния зависят и безопасные условия труда подземных рабочих.

Дальнейшее экономическое и социальное развитие Донбасса предполагает увеличение добычи угля, которое будет реализовываться в усложняющихся горно-геологических условиях. В связи с этим все более актуальной становится проблема сохранения устойчивости горных выработок.

В процессе изучения дисциплины студент знакомится с основными понятиями, учится принимать эффективные, экономически выгодные технические решения, касающиеся обеспечения эксплуатационного состояния горных выработок с точки зрения безопасности и технологии ведения горных работ.

Целью дисциплины является приобретение студентами знаний, необходимых для выбора рациональных способов охраны горных выработок на разных этапах их существования, а также получения практических навыков при расчете параметров способов охраны горных выработок

В результате освоения дисциплины студент должен

## знать:

терминологию курса, связанную с оценкой устойчивости горных выработок;

основные закономерности проявлений горного давления;

основные способы обеспечения устойчивости горных выработок;

## уметь:

устанавливать причины деформирования горных выработок;

обосновано выбирать рациональный способ охраны и рассчитывать его параметры.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих **компетенций**:

**а) общекультурных:**

уметь обобщать и анализировать информацию, ставить цели и выбирать пути их достижения (ОК-1);

уметь логически последовательно, аргументированно и ясно излагать мысли, правильно строить устную и письменную речь (ОК-3);

владеть навыками использования нормативных правовых и инструктивных документов в своей деятельности (ОК-7);

**б) профессиональных:**

владеть основными принципами технологий добычи твердых полезных ископаемых и эксплуатации подземных объектов на основе анализа горно-геологических условий (ПК-7);

использовать нормативные документы по безопасности и промышленной санитарии при проектировании, строительстве и эксплуатации предприятий по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых и подземных объектов (ПК-12);

уметь разрабатывать инновационные технологические решения при проектировании освоения запасов пластовых месторождений твердых полезных ископаемых подземным способом (ПСК-1-3);

уметь выбирать высокопроизводительные технические средства и технологию горных работ в соответствии с условиями их применения; внедрять передовые методы и формы организации производства и труда (ПСК-1-4).

Дисциплина относится к профессиональному циклу базовой части учебного плана и базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин:

«Основы горного дела. Строительная геотехнология»; «Механика горных пород»; «Геомеханика»; «Прикладная механика»; «Вскрытие и подготовка пластовых месторождений»; «Системы разработки пластовых месторождений полезных ископаемых».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при:

выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Управление состоянием породного массива» и «Системы разработки пластовых месторождений полезных ископаемых»;

изучении последующих дисциплин («Проектирование шахт» и «Экономико-математическое моделирование и оптимизация технологических процессов на шахтах»);

прохождении производственной и преддипломной практик;  
прохождении государственной итоговой аттестации.

**Терминология.**

**Горная выработка** – сооружение в недрах земли или на ее поверхности, созданное в результате ведения горных работ и представляющее собой полость в массиве. Горная выработка для выполнения

производственных процессов может быть оснащена различными транспортными и инженерными устройствами и специальной конструкцией, называемой крепью.

**Крепь выработки** – искусственное сооружение, возводимое в горных выработках для предотвращения обрушения окружающих пород и сохранения необходимых площадей сечений выработок, а также управления горным давлением.

**Горное давление** – силы, возникающие в массиве, окружающем горную выработку. В большей мере это силы гравитации, которые являются основными в формировании начального напряженного состояния породного массива.

**Напряжение** – величина внутренних сил в массиве, приходящихся на единицу площади, на которую они действуют (МПа).

Начальное напряженное состояние в массиве равно  $\gamma H$ , где  $H$  – глубина размещения выработки,  $\gamma$  – удельный вес породы,  $\text{т/м}^3$ .

Горные выработки являются искусственно созданными полостями в земной коре, поэтому их проведение влечет за собой изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) окружающих пород.

Если напряженное состояние массива пород отличается от напряженного состояния, созданного влиянием толщи пород от выработки до поверхности, то вводится коэффициент  $k$ . Его значение в зонах тектонических нарушений, а также для районов, подверженных движению земной коры, принимается равным 1,5.

Изменение напряженного состояния массива после проведения выработки оценивают коэффициентом концентрации напряжений.

**Коэффициент концентрации напряжений** – безразмерная величина, характеризующая отношение напряжения в точках массива горных пород к начальным напряжениям в этих точках.

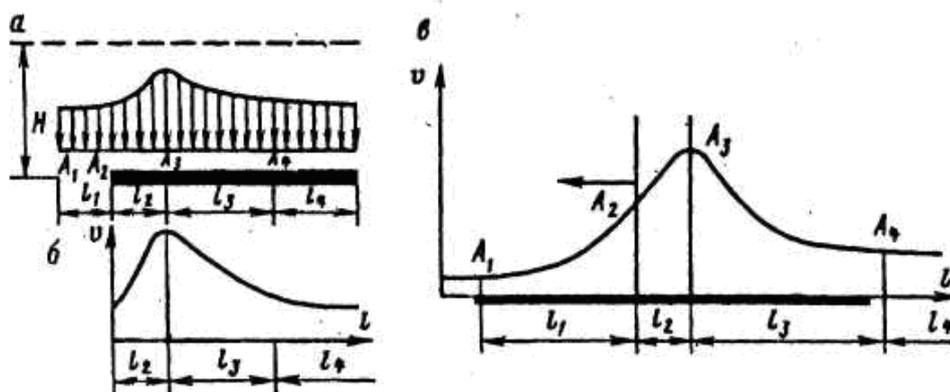


Рис. 1.1. Графики изменения напряженного состояния (а), скорости смещений пород  $v$  при проведении одиночной выработки (б) и скоростей смещений пород в зоне опорного давления очистного забоя

В нетронутым массиве пород имеют место напряжения  $\gamma H$ , а после проведения выработки  $k\gamma H$  ( $1 \leq k \leq 2$ ). Это значит, что на некоторых участках впереди и позади забоя напряжения изменяются от  $\gamma H$  до  $2\gamma H$  (см. рис. 1.1).

Напряжения в массиве горных пород, кроме влияния веса вышележащей толщи, возникают также в результате влияния давления газов и остаточных тектонических напряжений, а на больших глубинах от изменения температуры при остывании выработки после ее проведения.

Основными проявлениями горного давления в выработке являются деформации ее контура, сопровождающиеся поломками элементов крепи, вывалами пород, пучением пород почвы и, как следствие, приведением выработки в неработоспособное состояние.

Следует учесть, что горные выработки должны быть устойчивыми не только в момент проведения, а и в период их эксплуатации. Они должны при действии внешних и внутренних нагрузок сохранять в течение заданного времени необходимые форму и размеры поперечного сечения в соответствии с требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ) и техники безопасности (ТБ).

**Эксплуатационное состояние выработки** рабочее состояние обеспечивающее выполнение выработкой своих функций в течение срока службы, при строгом соблюдении требований Правил безопасности.

**Устойчивость выработок** способность сохранить заданные размеры и форму (в том числе и крепи) в период использования выработки.

Указание о сроке использования выработки по назначению является важным, так как выработка в период ее использования может выполнять разные функции (например, начальные функции транспортная выработка, при переходе на нижерасположенный горизонт вентиляционная выработка и пр.), а требования к размерам и форме (в том числе и к крепи) могут меняться.

Характер проявлений горного давления предопределяется напряженным состоянием пород на контуре выработки и в горном массиве вблизи нее, а также физико-механическими свойствами пород, окружающих выработку. То есть устойчивость выработки зависит от ряда факторов (рис. 1.2).

**Прочность массива** – свойство массива в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать те или иные силовые воздействия.

**Деформации горных пород** – изменение относительного положения частиц массива горных пород под действием сил.

**Нарушенность массива** – изменение структуры массива под влиянием тектонических процессов.

**Трещиноватость горных пород** – совокупность трещин, имеющихся в породном массиве.

Многочисленные методы обеспечения устойчивости горных выработок можно объединить в три группы:

- 1) крепление,
- 2) охрана,
- 3) поддержание.

**Крепление выработки** – применение горной крепи с целью предотвращения обрушения или уменьшения смещения пород для нормальной эксплуатации выработки.

В условиях больших глубин (600 м и более) ведения горных работ на шахтах Донбасса до 30 % выработок могут длительно эксплуатироваться при их поддержании только за счет возведения крепи,

В остальных выработках, в том числе и подготовительных, имеющих относительно большой срок эксплуатации (до 5 лет), необходимо применение дополнительных мероприятий по управлению геомеханическими процессами, возникающими в массиве при ведении горных работ. Эти дополнительные мероприятия направлены на улучшение условий работы крепи; обеспечение монолитности пород, прилегающих к выработке; снижение действующих напряжений и др.

Они объединяются терминологическим положением "**охрана горных выработок**".

**Охрана горных выработок** – дополнительные мероприятия, направленные на повышение устойчивости выработки и улучшение условий работы крепи, т.е. мероприятия, направленные на улучшение геомеханического состояния породного массива, вмещающего выработку или их систему, т.е. на управление породным массивом.

В зависимости от специфики воздействия на породный массив, можно выделить основные группы этих мероприятий: укрепление пород; разгрузка породного массива от повышенных напряжений; использование благоприятных горно-геологических и технических условий или их совокупность.

Под *охраной* понимается совокупность заранее проектируемых технических мероприятий, направленных на предотвращение потери устойчивости выработки или значительное снижение вредных проявлений горного давления за счет создания благоприятного соотношения между напряжениями и прочностью пород в массиве.

К числу **способов и вариантов охраны** относятся использование рациональной формы поперечного сечения выработок, оставление вокруг них защитных толщ и целиков, расположение выработки в зонах массива с высокой прочностью или с пониженными напряжениями, снижение концентрации напряжений за счет применения особой технологии проходки и др. Правильно выбранный способ охраны является наиболее результативным средством снижения затрат на крепление и поддержание выработок.

**Поддержание выработки** – совокупность технических мероприятий, направленных на устранение последствий нарушения устойчивости выработки в период эксплуатации. При выборе метода обеспечения устойчивости горной выработки следует стремиться к тому, чтобы общие затраты на ее охрану, крепление и поддержание были минимальными.

Устойчивость выработки определяется исходя из условия прочности вмещающих выработку пород:

$$\frac{\gamma \bar{H}}{R_{сж.}} \cdot \frac{k_3 k_2}{\eta \xi} < 1, \quad (1.1)$$

где  $\gamma_s$  – плотность вмещающих пород, т/м<sup>3</sup>;

$R_{сж.}$  – прочность пород на одноосное сжатие, МПа;

$k_3$  – коэффициент изменения напряжений в результате влияния других выработок (при расстоянии до выработок более 15м; 15÷10м; 10÷5м и менее 5м  $k_3$  равен, соответственно, 1; 1,5; 2,0 и 2,5);

$k_2$  – коэффициент концентрации напряжений в результате проведения данной выработки (для выработок круглой и сводчатой форм поперечного сечения  $k_2 = 2,75$ ; для трапецевидной и прямоугольной –  $k_2 = 3,0$ );

$\eta$  – коэффициент структурного ослабления пород ( $\eta = 0,8 \div 0,4$ );

$\xi$  – коэффициент длительной прочности (для кварцитов, гранитов, прочных песчаников, известняков и др. ( $f_{н.в.} > 5$ )  $\xi = 1,0 \div 0,9$ ; для аргиллитов, алевролитов, угля и др. ( $f_{н.в.} = 5 \div 1$ )  $\xi = 0,8 \div 0,6$ ; для мергелей и глин ( $f_{н.в.} < 1$ )  $\xi = 0,6 \div 0,4$ ).

Если условие прочности при отсутствии разрушений или существенных пластических деформаций в элементах незакрепленной выработки обеспечивается, то она будет устойчивой, как правило, без несущей крепи. Если условие прочности не соблюдено, то для обеспечения устойчивости горной выработки необходимы применение несущей крепи, упрочнение массива пород или их комбинация.

Состояние обнажений пород в выработках, когда левая часть условия составляет 1÷1,5, можно оценить как среднеустойчивое, при 1,5÷3 – как неустойчивое и более 3 – весьма неустойчивое.

### **Основные факторы, определяющие напряженное состояние пород вокруг капитальных и подготовительных выработок**

Проведение выработок вызывает изменение начального поля напряжений массива горных пород. В общем случае характер образующегося поля напряжений вокруг выработок зависит от совокупного действия многих взаимосвязанных факторов, которые можно подразделить на несколько групп.

Первую группу факторов составляют **пространственно-геометрические параметры** рассматриваемых выработок. К ним, прежде всего, относятся форма и размеры поперечного сечения, соотношение длины, ширины и высоты выработки, близость соседних параллельных и наличие пересекающихся выработок и пр.

Ко второй группе относятся **деформационные характеристики пород**, непосредственно окружающих выработку, поскольку именно эта часть массива воспринимает дополнительные нагрузки при образовании выработок.

Третья группа факторов охватывает особенности **начального поля напряжений в массиве**, т. е. до проведения выработок.

Наконец, четвертую группу факторов составляют **характеристики воздействия на породы вокруг выработки в процессе ее проходки и**

дальнейшей эксплуатации. Наибольшее значение среди факторов этой группы имеют динамические нагрузки во время взрывных работ при проведении выработок или вблизи них, а также изменение свойств пород под влиянием процессов выветривания — движения воды и воздуха, изменения температурного режима и др.

Учесть в равной мере все выделенные группы факторов при определении напряженного состояния пород вокруг выработок не представляется возможным. Наиболее полно могут быть учтены факторы первой и третьей групп, поскольку разработаны аналитические (на базе методов механики сплошной среды) и экспериментальные методы определения компонент напряжений и деформаций вокруг выработок при любых статических нагрузках и конфигурациях поперечных сечений. В меньшей степени учитываются факторы второй группы, так как разработанные аналитические методы, как правило, основаны на использовании упругих моделей массива или предполагают приведение к режимам упругого деформирования (например, в случае учета развития деформаций во времени — ползучести пород).

Четвертую группу факторов при определении напряженного состояния пород вокруг выработок пока учитывают лишь качественно. Аналитические методы оценки влияния факторов этой группы еще практически вовсе не разработаны, а экспериментальные разработаны в недостаточной степени.

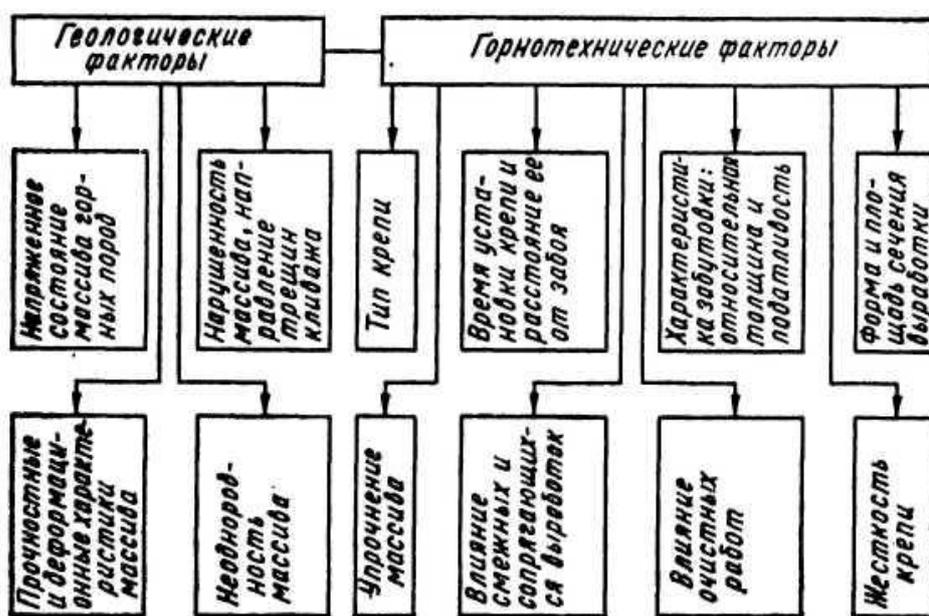


Рис. 1.2. Основные геологические и горнотехнические факторы, влияющие на проявления горного давления в капитальных выработках

### Типы проявлений горного давления в капитальных и подготовительных выработках

В зависимости от деформационных и прочностных характеристик пород, непосредственно примыкающих к контуру выработки, могут иметь место либо различные виды деформаций пород на контуре, либо их

разрушение. В разнообразных горно-геологических условиях, в зависимости от свойств пород, процессы деформирования и разрушения в стенках, кровле и почве выработок имеют те или иные характерные признаки и, соответственно, классифицируются, как различные виды проявлений горного давления.

Сразу же после образования очередного участка выработки в результате взрывания комплекта шпуров или вследствие воздействия рабочих органов машин механического разрушения породы вокруг выработки практически мгновенно упруго деформируются. Это деформирование охватывает значительную область вокруг выработки, в том числе и вокруг ранее пройденной части этой же выработки на некотором расстоянии позади забоя.

Вследствие высокой скорости деформирования (приближающейся к **скорости звука**) упругие деформации вокруг забоя выработки успевают развиться до возведения крепи и в результате этого часто остаются незамеченными. Вместе с тем, на ранее пройденных участках выработки в случае, если они закреплены весьма жесткой крепью, дополнительные, даже незначительные, упругие деформации могут вызвать значительные разрушения. Во избежание этого жесткие постоянные крепи всегда возводят с некоторым отставанием от забоя с целью предохранения их от воздействия упругих деформаций, а также и от повреждения при ведении взрывных работ, если проходку осуществляют буровзрывным способом.

Упругое деформирование пород в выработках иногда может сопровождаться интенсивным хрупким разрушением пород с выделением значительного количества энергии. Эти динамические явления (горные удары и внезапные выбросы) детально будут рассмотрены ниже.

Следует подчеркнуть, что проявления горного давления в форме хрупкого разрушения пород определяются как действующими напряжениями, так и особенностями деформирования пород.

Если действующие напряжения не превосходят определенного критического значения или же породы обладают способностью к проявлению значительных пластических деформаций, то хрупкого разрушения пород не происходит, а после сравнительно спокойного упругого деформирования развиваются пластические деформации как без разрыва сплошности (так называемое пластическое течение), так и с разрывом ее, т.е. разрушение. Например, после активного проявления стреляния пород, концентрации напряжений уменьшаются и далее в течение длительного периода (до нескольких лет) происходит медленный процесс относительно спокойного деформирования и разрушения пород.

В случаях, когда уровень действующих напряжений вокруг выработок недостаточен для разрушения самих структурных блоков, из которых сложен массив, происходит разрушение пород в форме сдвига и отрыва по поверхностям естественных трещин или других структурных неоднородностей. Это приводит к наиболее массовому типу проявлений

горного давления образованию вывалов и заколов. Последние характеризуются условиями, когда отдельные куски пород еще не полностью потеряли связь с массивом, но могут обрушиться в выработку при малейшем дополнительном воздействии.

Если же породы в приконтурной области массива склонны к проявлению вязких свойств, в частности ползучести, то в выработках наблюдаются специфические типы проявлений горного давления сближение (конвергенция стенок выработок или их почвы и кровли) или пучение пород.

Область массива пород вокруг выработок, в которой проявляются пластические, вязкие деформации и разрушение, составляет так называемую зону неупругих деформаций. Параметры зоны неупругих деформаций характеризуют состояние выработки, они являются исходными для выбора и расчета крепи. Поэтому их определение обычно конечная цель теоретических и экспериментальных исследований.

Под *управлением горным давлением* обычно понимают совокупность мероприятий по регулированию горного давления и сдвижения горных пород, окружающих горные выработки, в целях обеспечения их безопасной эксплуатации и создания необходимых условий ведения технологических процессов добычи полезных ископаемых.

*Задачи управления горным давлением* в капитальных и подготовительных выработках включают в себя:

- а) обеспечение необходимых требований к форме, размерам поперечных сечений и сохранности выработок во времени с точки зрения технологии добычи полезных ископаемых;
- б) обеспечение безопасных условий работы людей и механизмов на протяжении всего срока эксплуатации выработок;
- в) выбор наиболее экономичных мероприятий по повышению устойчивости выработок и их поддержанию.

Мероприятия по управлению горным давлением должны быть направлены на снижение действующих напряжений в массиве пород и на повышение деформационной способности и прочностных характеристик приконтурной части массива.

Горные работы стремятся развивать таким образом, чтобы исключить возможность опасных концентраций напряжений в приконтурных частях массива. Поэтому расстояние между выработками (размеры целиков) выбирают так, чтобы не было наложения зон их влияния.

Выработкам придают наиболее устойчивые формы поперечных сечений, которые определяются как видом и параметрами напряженного состояния массива пород, так и его структурными особенностями. При этом необходимо подчеркнуть, что существенное повышение устойчивости выработок (в частности, вертикальных) достигается также и при правильном выборе пространственной ориентации сечения относительно компонент начального поля напряжений и структурных неоднородностей массива.

Для горизонтальных выработок устойчивые формы поперечных сечений следует выбирать так, чтобы исключить зоны растягивающих напряжений в кровле, которые также определяются видом и параметрами начального поля напряжений. Однако существенно больший эффект достигается при нахождении их оптимального направления в пространствах относительно структурных особенностей. Особенно существен эффект для подземных сооружений различного назначения, где наблюдается относительно большая свобода в выборе пространственного расположения выработок по сравнению с условиями разработки месторождений полезных ископаемых.

Изменение напряженного состояния пород вокруг выработок может быть достигнуто также за счет применения мощных распорных крепей, способных оказывать значительные противодействия на окружающую выработку массив. При этом резко изменяются условия деформирования пород. Даже весьма небольших усилий, развиваемых распорными крепями, часто бывает вполне достаточно для того, чтобы значительно повысить прочностные характеристики массива пород вследствие деформирования их в условиях объемного, а не плоского напряженного состояния.

Аналогичную роль оказания противодействия на породы приконтурного массива выполняют буровые растворы при проведении и поддержании буровых скважин, которые по ряду своих характерных признаков могут служить в известном смысле моделями горных выработок. При этом весьма существенно то, что плотность бурового раствора, а следовательно и противодействие, оказываемое им на породы в стенках скважин, должны тесно увязываться с начальным полем напряжений в массиве и свойствами пород.

К мероприятиям, направленным на максимальное использование несущей способности пород, относятся, прежде всего, способы проходки выработок, обеспечивающие минимальное разрушение пород вокруг выработок, в частности: ведение взрывных работ методом контурного взрывания, проведение выработок бурением на полное сечение и др.

В практике горного дела распространены также способы искусственного упрочнения пород вокруг выработок. К ним относятся тампонирующее пород, в частности цементация и укрепление трещиноватых массивов, глинизация пород, а также установка анкерной крепи, выполняющей функции скрепляющей арматуры. Все эти способы позволяют повысить сцепление пород в массиве.

В некоторых случаях бывает достаточно повысить прочность вмещающих пород лишь на сравнительно короткий период времени, до возведения постоянной крепи. С этой целью используют специальные способы проведения выработок с замораживанием пород или кессонные способы. К этому следует добавить, что в ряде случаев необходимо предотвращать изменение свойств пород приконтурного массива под влиянием агентов выветривания. С этой целью в выработках применяют изолирующие виды крепи монолитные бетонные, набрызгбетонные и др.

Из всех перечисленных способов повышения устойчивости выработок

наибольшее применение имеет возведение в выработках того или иного вида крепей.

Рассмотрим взаимодействие крепи горных выработок с массивом окружающих пород более детально. Крепь горных выработок следует рассматривать как активный элемент системы «крепь—массив», состояние которой (в том числе и напряжения в крепи) определяется в равной степени деформационно-прочностными характеристиками как массива окружающих выработку пород, так и самой крепи. Это наглядно может быть показано на графике (рис. 1.3), где координаты точек пересечения деформационных характеристик крепи с кривой деформирования породного контура выработки определяют значения нагрузки на крепь  $P$  и смещения и поверхности выработки и самой крепи при достижении состояния равновесия. Очевидно, при более жестких характеристиках крепи (например кривая III) точка пересечения на графике будет располагаться выше, а следовательно, нагрузка на крепь будет больше.

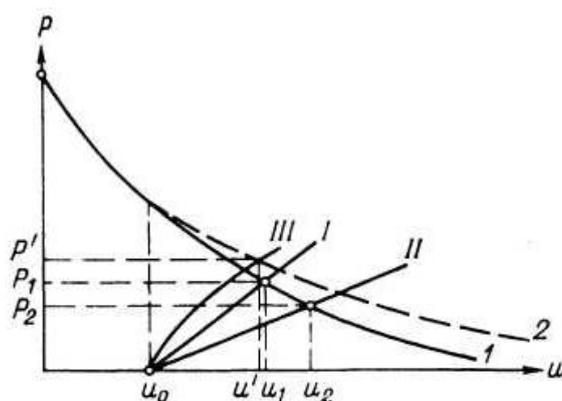


Рис. 1.3. Зависимости нагрузок на крепь от деформационных характеристик пород на контуре выработки и крепи: 1-2 характеристика деформирования пород на контуре выработки до и после установки штанговой крепи; I, II характеристики деформирования крепи различных конструкций; III характеристика деформирования штанговой крепи

При этом необходимо подчеркнуть, что издавна применяемые деревянные, каменные, бетонные, железобетонные и тюбинговые крепи непосредственно не изменяют деформационно-прочностных свойств пород, окружающих выработку, а лишь в определенной степени ограничивают их деформации и тем самым предотвращают разрушение. При этом, различные виды анкерной крепи значительно повышают предел прочности на растяжение и сцепление пород в приконтурной части массива вследствие введения в породы металлической арматуры и заполнения раскрытых трещин бетоном при железобетонных штангах (на рис. 3 кривая деформирования пород после установки штанговой крепи смещается вверх). Этим, в первую очередь, и объясняется эффективность анкерной крепи, ее быстрое и широкое распространение в горной практике.

В зависимости от характера взаимодействия крепи и пород

выделяется несколько режимов.

В частном случае крепь выработки может быть загружена отделившимися от массива пород небольшими объемами. При этом смещения крепи практически не будут влиять на нагрузки на крепь. Подобный режим называют режимом *заданной нагрузки*.

Если же реактивное сопротивление крепи практически не влияет на перемещения поверхности соприкосновения крепи с породой, такое взаимодействие называют режимом *заданной деформации*. Оно характерно для участков выработок, подверженных высоким напряжениям, например в зонах опорного давления.

Наиболее часто крепи подготовительных и капитальных выработок находятся в режиме **взаимовлияющей деформации**. Смещение поверхности соприкосновения крепи с породой зависит в этом случае от сопротивления крепи.

Наконец, в практике возможны случаи, когда крепь работает в комбинированном режиме, например, **одновременно в условиях взаимовлияющей деформации и заданной нагрузки**.

Выделение основных режимов взаимодействия крепи и массива пород позволяет в каждом конкретном случае определять наиболее вероятный режим работы крепи и в соответствии с этим рассчитывать и выбирать ее параметры. Как показывают результаты исследований устойчивости капитальных и подготовительных выработок в условиях скальных трещиноватых массивов, крепи выработок в этом случае, как правило, работают в режиме заданной нагрузки и испытывают незначительное давление от структурных блоков или их частей, потерявших связь с массивом в результате скола или отрыва по поверхностям естественных трещин. На основании проведенного изучения условий и режима работы крепи было установлено, что крепь в таких условиях должна удовлетворять следующим требованиям:

- а) быть не грузонесущей, а ограждающей конструкцией, предотвращающей образование заколов и выпадение породы и выработку;
- б) предохранять стенки от разрушения, так как при этом ускоряются процессы разрушения приконтурного массива пород;
- в) обеспечивать упрочнение связей между отдельными блоками массива.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяет комбинированная крепь из железобетонных анкеров с набрызгбетонным покрытием стенок и кровли выработок.

### **Форма и размеры поперечного пересечения горных выработок, их влияние на устойчивость выработки**

Вновь пройденная горная выработка может быть устойчивой без применения крепи, если ей придана соответствующая форма и размер поперечного сечения, особенно при действии на выработку симметричной

относительно вертикальной оси нагрузки. Симметричная нагрузка на крепь возможна, когда выработка проводится в однородных породах перпендикулярно простиранию (квершлаг), а также по пласту полезного ископаемого, залегающему горизонтально или с небольшим падением.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что устойчивость выработки в большей степени зависит от формы ее поперечного сечения.

Форму поперечного сечения выработки выбирают с учетом:

- свойств пересекаемых ею пород,
- величины и характера проявлений горного давления,
- принятой конструкции крепи,
- назначения и срока службы выработки,
- способа ее проведения.

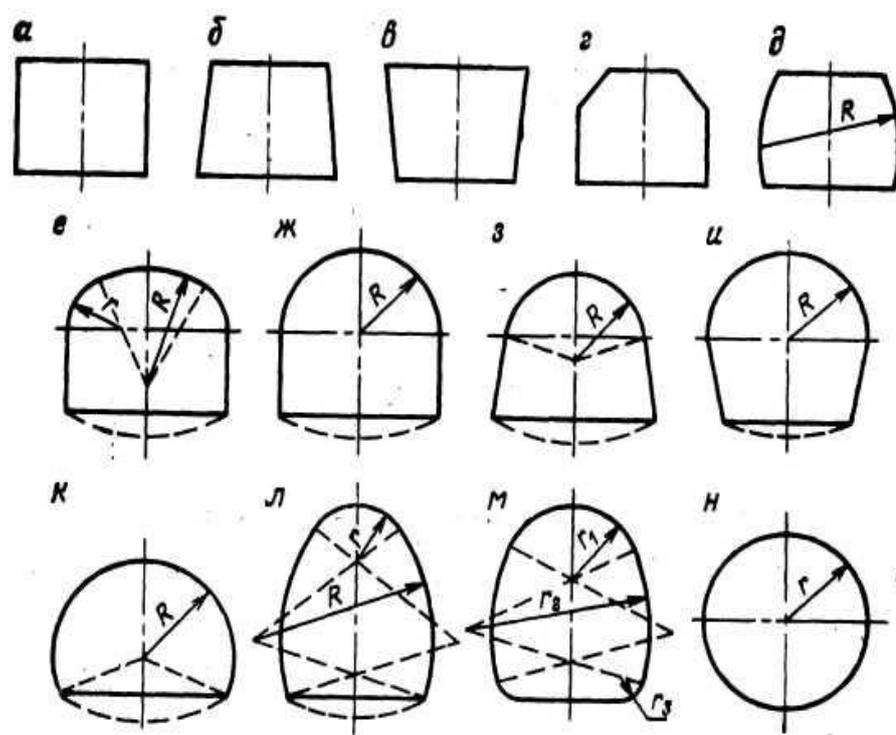


Рис. 1.4. Формы поперечного сечения выработок: а – прямоугольная; б и в – трапецевидные; г – полигональная; д – бочкообразная; е, ж, з, и – сводчатые с вертикальными и наклонными стенами (формы сводов; е – трехцентровый пониженный; ж, и – полуцирульный; з – цирульный пониженный); к, л, м – подковообразные, соответственно, цирульного, трехцентрового и пятицентрового очертания; н – круговая

Разрушение пород, окружающих выработку по ее контуру, обычно начинается со стороны кровли. При прочих равных условиях менее устойчивой является выработка с плоской кровлей, т.к. в этом случае в породах кровли возникают растягивающие напряжения. В сводчатых выработках растягивающие напряжения в кровле проявляются в меньшей степени или вообще отсутствуют. Поэтому контур таких выработок обладает большей устойчивостью.

Незакрепленная выработка может считаться устойчивой, если на ее

контуре в течение длительного периода времени не появляются пластические деформации, которые зависят от прочностных свойств пород и распределения в них напряжений.

Исследованиями установлено, что напряжения концентрируются на контуре выработки и по удалению от него быстро затухают. В следствие этого разрушение начинается с контура выработки. Чтобы оценить устойчивость выработки, необходимо исследовать распределение напряжений на ее контуре и сопоставить полученные результаты с прочностью пород.

Наряду с формой поперечного сечения выработки на устойчивость выработки влияет коэффициент бокового распора пород  $\beta$ . Исследования устойчивости выработок круглой, эллиптической, арочной, сводчатой и трапециевидной форм поперечного сечения показали, что при одноосном вертикальном давлении ( $\beta=0$ ) в кровле выработок появляются трещины от растяжения. При  $\beta=1$  трещины появляются от сжатия в стенках и углах выработок. Наиболее устойчивыми при преобладании вертикального давления являются, выработки эллиптической формы; поперечного сечения с соотношением осей 3:2 (см. рис. 1.4).

Экспериментально установлено, что горизонтальные выработки будут устойчивы, если максимальные сжимающие и растягивающие напряжения на контуре выработки с учетом коэффициента запаса прочности  $m$  не превышают соответствующего предела длительной прочности горных пород при сжатии и растяжении:

$$\begin{aligned} m K'_{сж} \cdot \gamma h &\leq [\sigma_{сж}] K; \\ m K'_{раст} \gamma h &\leq [\sigma_{раст}] K, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $m$  - коэффициент запаса прочности (по инструкции ВНИМИ в среднем  $m=1.15$ );

$K_{сж}$ ,  $K_{раст}$  соответственно, коэффициенты концентрации напряжений, определяемые экспериментально,

$\gamma$  —объемный вес пород, т/м<sup>3</sup>

$\sigma_{сж}$ ,  $\sigma_{раст}$  — соответственно, пределы длительной прочности на сжатие и растяжение, МПа,

$K$  – коэффициент снижения предела прочности пород в массиве по сравнению с прочностью пород в образце. Значение коэффициента  $K$  определяется из табл. 1.1.

На основании зависимости можно оценить устойчивость выработки определенной формы и подойти к определению глубины  $h$ , при которой выработка заданной формы поперечного сечения теряет устойчивость и требуется возведение крепи.

Устойчивость выработок будет обеспечена, если имеют место неравенства:

$$\left. \begin{aligned} \frac{[\sigma_{сж}]}{m\gamma h} K &\geq 3,3; \\ \frac{[\sigma_{раст}]}{m\gamma h} K &\geq 1,0. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Таблица 1.1  
Значение коэффициента снижения предела прочности пород в массиве по сравнению с прочностью пород в образце

Форма поперечного сечения выработки	Коэффициент бокового распора	Место разрушения (точки * на контуре выработки)	Средние значения коэффициентов концентрации напряжений ***
Круглая	0,0	1	-0,64
	0,4	3	+2,07
	0,8	3	+1,83
	1,0	3	+1,63
Эллиптическая $\left(C^{**} = \frac{2}{3}\right)$	0,0	1	-0,58
	0,4	3	+1,70
	0,8	1	+1,82
	1,0	1	+2,26
Арочная (направляющая кривая – окружность, стенки наклонные)	0,0	1	-0,51
	1,0	3	+1,91
Сводчатая (направляющая кривая – окружность, стенки прямые)	0,0	1	-0,67
	1,0	3	+1,71
	0,0	1	-0,53
Трапецевидная	1,0	2	+2,59

На основе изучения напряженного состояния пород вокруг горной выработки выбирают рациональные формы и размеры выработок, а также способы их крепления.

В качестве примера можно привести номограмму для определения устойчивых форм незакрепленных выработок условий Кузбасса. Породы, представленные на рис. 1.5, объединены в зависимости от прочности на сжатие и растяжение в следующие группы:

**При прочных, устойчивых породах**, когда применение крепи не требуется, выработке может быть придана любая форма. Чаще применяют сводчатые или прямоугольные формы. (рис. 1.5)

**При среднеустойчивых породах** и ожидаемом небольшом давлении на крепь (до 30-50 кПа) форму выработки выбирают преимущественно с учетом типа крепи.

**В горизонтальных выработках** при деревянной, металлической и сборной железобетонной крепях из прямолинейных элементов применяют

прямоугольную, трапециевидную и полигональную формы, а при арочных металлических и сборных железобетонных крепях – сводчатую с вертикальными или наклонными стенами.

**При наличии в кровле выработки слоя весьма прочных пород** (песчаник, известняк) предпочтительна трапециевидная крепь, при этом слой крепких пород не нарушается в процессе проведения выработки.

**При неустойчивых породах в кровле и боках** применяют сводчатые и подковообразные крепи из металла, монолитного бетона и железобетона, а также из тюбингов или блоков (предпочтение обычно отдается арочной форме крепи).

**При всестороннем горном давлении** используют сводчатые и подковообразные крепи с обратным сводом, в наиболее сложных условиях – кольцевые или эллиптические крепи.

**Поперечные сечения горных выработок** должны соответствовать типовым сечениям.

	$R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	$R_p$ , кгс/см <sup>2</sup>
Крепкие	800-900	80-140
Средней крепости	500-800	60-110
Слабые	200-500	40-80

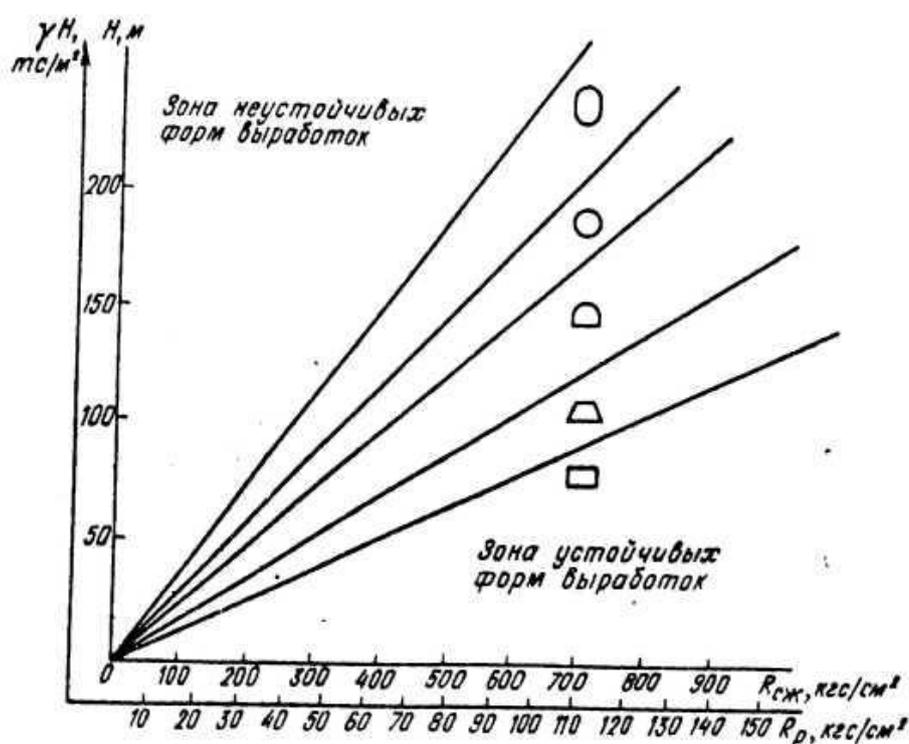


Рис. 1.5. Номограмма для определения устойчивой формы выработки (высота – 2,5 м, ширина – 4,0 м) для условий Кузбасса

Площадь поперечного сечения выработок в свету определяется расчетом по факторам допустимой скорости воздушной струи (проветривания) и габаритов подвижного состава и оборудования с

учетом минимально допустимых зазоров, **величины усадки крепи после воздействия горного давления.**

Требования к минимальным площадям поперечных сечений горизонтальных и наклонных выработок в свету, ширине проходов для людей и величине зазоров между крепью, оборудованием или трубопроводами и наиболее выступающей кромкой габарита подвижного состава изложены в табл. 2.1 и 2.2 «Правил безопасности в угольных шахтах».

**Для сохранения регламентированных зазоров** в течение срока службы выработки размеры ее сечения в свету должны быть приняты с **запасом на величину ожидаемых смещений крепи** или пород вследствие проявлений горного давления. Ширину выработок увеличивают также **на криволинейных участках.**

**Площадь сечения выработки вчерне** (по наружному контуру крепи и почве выработки) **определяют по площади в свету, прибавляя площадь крепи, включая затяжку, если она есть, и балластного слоя в сечении выработки.** Проектную площадь сечения в проходке принимают на **3-5% больше площади вчерне**, что необходимо для беспрепятственного возведения крепи в выработке. Для уменьшения затрат времени и средств при проектировании горных выработок разрабатывают для основных видов крепи и транспортных средств **типовые сечения горных выработок.**

Принятую площадь сечения в свету следует проверить по скорости движения воздуха, необходимого для проветривания. В квершлагах, главных откаточных и вентиляционных штреках, капитальных бремсбергах и уклонах скорость не должна превышать 8 м/с, а в остальных выработках - 6 м/с. Минимальная скорость воздуха - 0,15 м/с.

## 2. ОПЫТ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.

Устойчивый интерес к проблеме крепления и поддержания горных выработок на угольных шахтах в последние десятилетия неразрывно связан с возрастающими требованиями к прочности и надежности применяемых конструкций крепей в усложняющихся горно-геологических условиях отработки месторождений, интенсификацией проявлений горного давления.

Необходимость создания новых средств и способов крепления горных выработок, обеспечивающих существенное увеличение их силовых и кинематических параметров, связана со следующими моментами. Во-первых, непрерывное увеличение глубины разработки (в среднем на 15-17 м в год) создает новую геомеханическую ситуацию, которая предъявляет повышенные требования к конструкциям крепи в части их рабочих характеристик. А во-вторых, применяемые в настоящее время традиционные типы рамных крепей уже не соответствуют усложнившимся горно-геологическим условиям и не позволяют обеспечить эксплуатационную устойчивость выработок в течении срока их службы.

С промышленным освоением металлопроката, стальные рамные крепи начали широко применяться в практике подземного строительства шахт Германии и Чехии в 40-е годы 19 века. Первоначально в горных выработках использовали жесткие рамы из стального двутаврового профиля или рельса, которые соединялись при помощи планок и болтов. Однако значительные смещения породного контура приводили к недопустимым деформациям крепи и необходимости ее ремонта, поскольку жесткая конструкция может приспосабливаться к смещению пород только ценой остаточной деформации с последующим разрушением элементов рамы. Это обстоятельство дало основание, а начале XX века считать металлические конструкции не пригодными для крепления горных выработок. Впоследствии совершенствование стальных рамных крепей шло по пути увеличения их работоспособности и приспособления (адаптации) к формоизменению сечения выработки. Для этого, на первом этапе (до 1924 г.) в конструкцию стальной арочной крепи были введены дополнительные шарниры, позволившие снизить неравномерность распределения внешних нагрузок за счет их передачи на окружающие крепь породы. Особая заслуга по внедрению шарнирных арок принадлежит фирме «Ф.В. Моль и сыновья», благодаря которой в 30-40-е годы 20 века стальная рамная крепь находит массовое применение на угольных шахтах Рура. На втором этапе, в 1932 году фирма «Тиссен-Хайнцман» (Германия) разрабатывает парные желобчатые профили различных типоразмеров и удачную конструкцию их соединений (прототип нынешних замков податливости). Благодаря этому рамная крепь стала податливой и, сохранив свои функции, получила возможность «уходить» от горного давления без разрушения, приспосабливаясь к смещениям породного контура. После второй мировой войны металлические податливые крепи получают широкое распространение в большинстве

промышленно-развитых стран. К концу 50-х годов 20 века стальной рамной крепью поддерживалось: в Германии – до 50 % горных выработок, во Франции – более 60 %, в Англии – более 70 %, в Бельгии – до 90 %. С 50-х годов 20 века началось широкое использование стальных рамных крепей на шахтах бывшего СССР (первые промышленные испытания проведены в 1947 г.). Большой вклад в разработку стальной рамной крепи внесли отечественные научные школы, возникшие на базе горных вузов и отраслевых институтов.

Первоначально работы по конструированию и внедрению рамных крепей были сосредоточены в ДонУГИ (г. Донецк). Здесь были разработаны параметрический ряд взаимозаменяемых специальных профилей (СВП), особые стали для изготовления элементов крепи, созданы нормативные материалы по изготовлению и применению податливых крепей типа АП (Комиссаров М.А., Зигель Ф.С. и др.).

Большой вклад в разработку конструкций равно-радиусных крепей, обеспечивающих поддержание подготовительных выработок в условиях наклонного и крутого падения на шахтах ЦРД, внесли проф. С.Я. Липкович и С.В. Краснов.

Важные исследования по изучению взаимодействия металлической податливой крепи с массивом и определению нагрузок на крепь были проведены в 60-е 70-е годы 20-го века проф. Ю.З. Заславским, проф. И.Л. Черняком и проф. Ю.М. Либерманом.

В Институте Горного Дела им. А. А. Скочинского (г. Люберцы) под руководством проф. М.Н. Гелескула и проф. Е.С. Киселева примерно в эти же годы были изучены вопросы повышения производительности труда и экономии металла на горно-подготовительных работах, созданы новые стальные податливые крепи типа МПК, МИК с кулачковыми и клиновыми узлами податливости.

Научной школой проф. В.Н. Каретникова и В.Б. Клейменова (Тульский Государственный Технический Университет, г. Тула) были разработаны методы автоматизированного расчета крепи как пространственной системы, предложены новые элементы для пространственного усиления конструкций, улучшенный специальный профиль СВПУ и др.

Оригинальные, исследования проведены в Санкт-Петербургском Государственном Горном Университете проф. В.В. Смирняковым, который одним из первых создал шарнирно-податливый узел соединения несущих элементов крепи и разработал ряд крепей повышенной податливости.

При освоении месторождений Западного Донбасса, где выработки проходили и поддерживали в слабых, склонных к размоканию породам, большой вклад в совершенствование конструкций и технологии возведения стальных рамных крепей внесли ученые: проф. А.П. Максимов (НГА Украины), проф. Г.С. Пиньковский (Днепрогипрошахт), проф. Б.М. Усаченко (ИГТМ АН Украины), проф. Ю.М. Халимендик, проф.

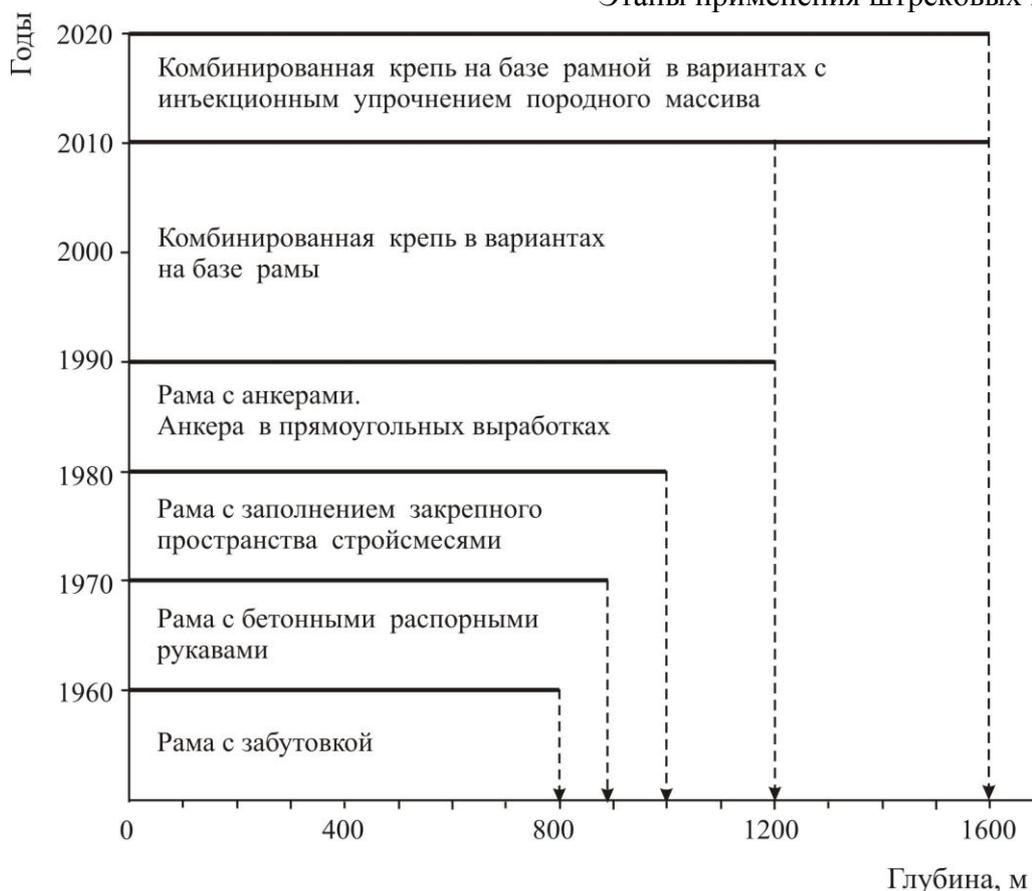
В.И. Бондаренко (НГУ) и др.

Нормативные материалы по расчету и применению крепи в горных выработках были разработаны во ВНИМИ (г. С.-Петербург) и НИИОМШС (г. Харьков) под руководством проф. И.Г. Коскова и проф. В.П. Друцко.

Большой вклад в решение проблемы управления усилиями в рамных крепях, разработку способов и средств повышения работоспособности конструкций, разработку методов оценки и прогноза взаимодействия крепи и вмещающего массива внесли ученые ДонГТУ (г. Алчевск): проф. Г.Г. Литвинский и Г.И. Гайко. Задача снижения расхода металла в стальных рамных крепях путем применения анкеров решена в КузНИИШахтострое проф. Ерофеевым Л.М. (г. Кемерово).

Большое разнообразие конструктивных решений стальных рамных крепей и значительный диапазон их рабочих характеристик, позволяющий подбирать конструкции для широко круга геомеханических условий поддерживаемых выработок, сделали рамные крепи фактически универсальным средством крепления горных выработок. Этапы применения рамных конструкций крепи (в том числе и комбинированных крепей на их основе) приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1  
Этапы применения штрековых крепей



Положительным свойством стальной рамной крепи, как конструкции, является возможность придать ей практически любую форму поперечного сечения выработки в зависимости от назначения последней и характера

ожидаемых проявлений горного давления. По этой же причине, на протяжении уже многих десятилетий вплоть до настоящего времени, стальные рамные крепи были и остаются самым распространенным средством крепления выработок. Наиболее распространены следующие конструкции рамной крепи: арочная, трапециевидная, прямоугольная и кольцевая формы, которые изготавливаются в различных модификациях и вариантах конструктивного исполнения в зависимости от назначения выработки и ожидаемых проявлений горного давления. Так, прямоугольные и трапециевидные крепи являются наилучшими по критерию «коэффициент использования сечения», но неприемлемы по фактору горного давления, из-за чего очень ограниченно применяются на угольных шахтах. Кольцевые крепи и их разновидности – замкнутые рамные крепи с обратным сводом применяются только в капитальных выработках, причем, преимущественно, в условиях всестороннего, «гидростатического» давления на крепь или интенсивного выдавливания пород почвы.

Для подготовительных выработок угольных шахт Украины наиболее используемой была и остается разработанная ДонУГИ в 70-е годы 20-го века арочная податливая крепь из спецпрофиля СВП: трехзвенная – АП-3 (или КМП-А3 и модификация с удлиненными стойками) и пятизвенная (АП-5 или КМП-А5). Объемы применения арочной крепи в подготовительных выработках – до 95 % от общего объема проведения. На шахтах таких развитых угледобывающих стран как Россия, Польша, Чехия, Германия и Китай рамные крепи также являются наиболее распространенными конструкциями.

По данным ряда исследований (в том числе Ю.З. Заславского) с увеличением глубины разработки с 500 м до 1000 м смещения боковых пород в подготовительных выработках выросли в три раза, а воспринимаемые крепью нагрузки – в 2,0 раза. Несмотря на это (по данным В.Г. Лисичкина и К.В. Кошелева), в подавляющем большинстве случаев, деформированные податливые крепи, работая за пределами своего паспортного эксплуатационного режима работы обеспечивают остаточную несущую способность. При этом, нагрузка на крепь, при запредельном деформировании несущих ее элементов, перераспределяется по периметру рамы, а смещения элементов крепи происходят с постепенной (поэтапной, достаточно плавной) потерей устойчивости, без разрушений. При этом, сохраняется значительная часть от первоначального сечения выработки (рабочего пространства). Все это позволяет считать металлическую арочную податливую крепь одной из наиболее безопасных конструкций.

По данным исследований, выполненных Н.В. Гавриловым, В.И. Бондаренко и Л.В. Байсаровым кроме высокой надежности стальная рамная крепь является конкурентоспособной по стоимости крепления, уступая только нарызгбетонной и анкерной крепям, которые имеют ограниченную область применения по устойчивости вмещающих пород и условиям разработки.

Вместе с тем, применяемые в настоящее время рамные крепи имеют и очень существенные недостатки, выявленные в процессе их эксплуатации. В

ряде же случаев, как показывает производственный опыт, отмечено их полное не соответствие условиям больших глубин и интенсивного проявления горного давления. Так, по данным обследований состояния горных выработок на шахтах, проведенных ДонНТУ, ДНУ, ДонГТУ и др. типовые рамные крепи деформированы и требуют ремонта в 30-50 % обследованных выработок.

Как система крепления, арочная крепь имеет ряд недостатков. Она фактически не поддерживает выработку до тех пор, пока вмещающие породы не разрушатся и не начнут смещаться в выработку, нагружая рамы крепи. То есть, крепь работает в пассивном режиме и не препятствует разрушению вмещающего массива. Кроме этого основными недостатками арочной крепи являются:

1. Большая металлоемкость.
2. Крепь не включается в работу сразу после обнажения проектного контура выработки.
3. Невозможность полной механизации процесса крепления (затяжка рам и забутовка закрепного пространства производятся вручную).
4. Традиционная конструкция арочной крепи не соответствует условиям ее нагружения (нет соосности между направлениями податливости крепи и наибольших смещений контура выработки).

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования и опыт поддержания выработок показывают, что обеспечить их нормальное эксплуатационное состояние в течение всего срока службы можно лишь путем использования несущей способности породного массива, вмещающего выработки.

Все это требует применения нетрадиционных видов крепи, которые бы не только обладали значительной несущей способностью, низкой материалоемкостью и трудоемкостью возведения и поддавались бы высокой степени механизации, но и активно воздействовали на напряженно-деформированное состояние вмещающего массива с целью вовлечения его в совместную работу. Поэтому, одним из перспективных направлений совершенствования рамных конструкций в последние годы стало применение анкерно-рамных и рамно-анкерных конструкций крепи.

Крайне негативным следствием применения типовых металлокрепей в сложных горно-геологических условиях, кроме роста стоимости поддержания выработок, является невозможность увеличить нагрузку на очистной забой и интенсивность отработки запасов, планируемые Правительством в последние годы и на ближайшую перспективу (рис. 2.1). Так, на шахтах им. А.А. Скочинского, им. Челюскинцев, ш/у «Октябрьская», им. А.Ф. Засядько, «Щегловская-Глубокая», им. А.Г. Стаханова и др., где глубина ведения работ превышает 900 м, стоимость перекрепления 1 п.м выработки на 30 % и более превышает стоимость ее проведения.

В условиях выше перечисленных шахт все подготовительные выработки при столбовой системе разработки обязательно 1 раз перекрепляются, а при

комбинированной или сплошной системе разработки – 2-3 раза. При этом, из-за плохого состояния подготовительных выработок суточная нагрузка на лаву не превышала 700-800 т.

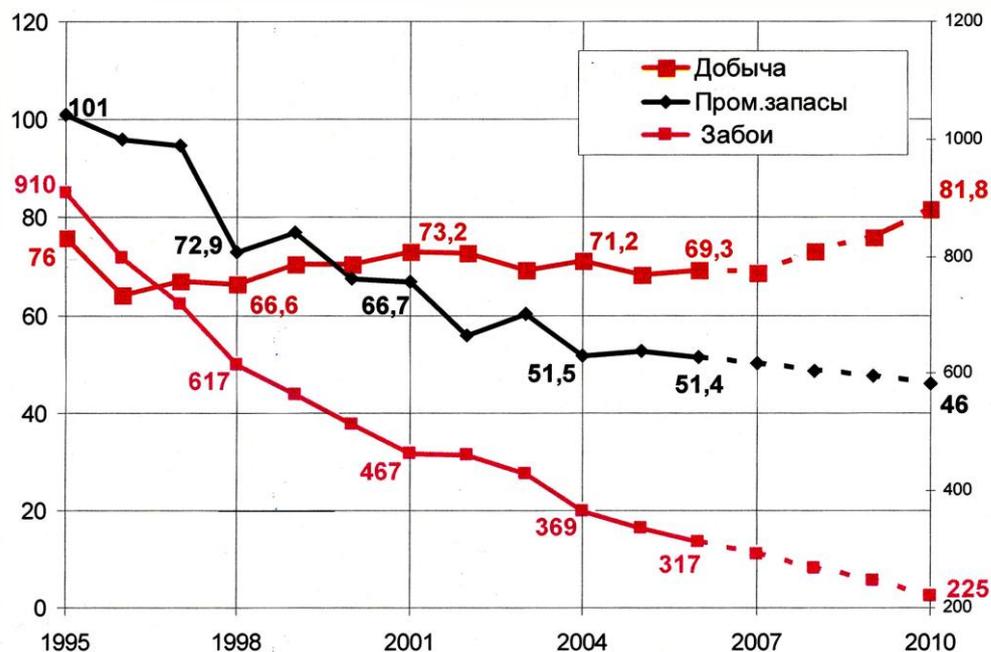


Рис.2.1. Динамика изменения добычи угля на шахтах Украины

Совершенствование конструкций рамных крепей в последние десятилетия развивалось по следующим направлениям:

- уменьшение металлоемкости крепи;
- максимальное упрощение конструктивных элементов;
- упрощение технологии изготовления крепи.

Приоритетными мероприятиями при этом было использование низколегированных сталей с более высокими прочностными свойствами и прокатных профилей с повышенными статическими показателями (КГВ). Крепи производились на нескольких крупных заводах, оснащенных полуавтоматическими линиями. Конструкции крепежных рам упрощались за счет исключения электросварки на участках опирания стоек на подошву выработки («подпятник»), сокращения длины нахлестки элементов в замках и количества межрамных стяжек. В основу параметрического ряда типовых конструкций был заложен принцип «каждому сечению – свой типоразмер профиля», который привел к снижению запаса прочности крепи до 1,5-1,7, что явно не достаточно.

У профиля КГВ, несмотря на достигаемое снижение металлоемкости крепи на 4 % при постоянной несущей способности и увеличении на 30 % рабочего сопротивления запас прочности еще ниже – 1,1-1,2.

Опыт применения сталей с более высокими прочностными свойствами был направлен на снижение размера профиля на ступень при том же сечении. Однако при этом рабочее сопротивление крепи снизилось на 12-22 %, а за счет повышения хрупкости стали возросла деформация несущих элементов крепи.

Так, если в 70-е годы 20-го века значение средней площади поперечного сечения для откаточных штреков не превышало  $11,2 \text{ м}^2$ , то в 2003 году оно составляло уже  $14,8 \text{ м}^2$ , а в настоящее время достигает  $16-18 \text{ м}^2$ . По данным обследований состояния горных выработок, проведенных ДНУ в 2008-2010 годах, крепи с сечением до  $11,2 \text{ м}^2$  практически не используются (4 %); с сечением  $13,8 \text{ м}^2$  – 37 %; с сечением  $15,5 \text{ м}^2$  – 25 %; с сечением  $18,3 \text{ м}^2$  – 29 %; и с сечением  $19 \text{ м}^2$  и более – 5 %.

Известной тенденцией развития средств крепления выработок (в том числе и рамных конструкций) последние 3-4 десятилетия остается увеличение площади поперечного сечения подготовительных выработок (рис. 2.2).

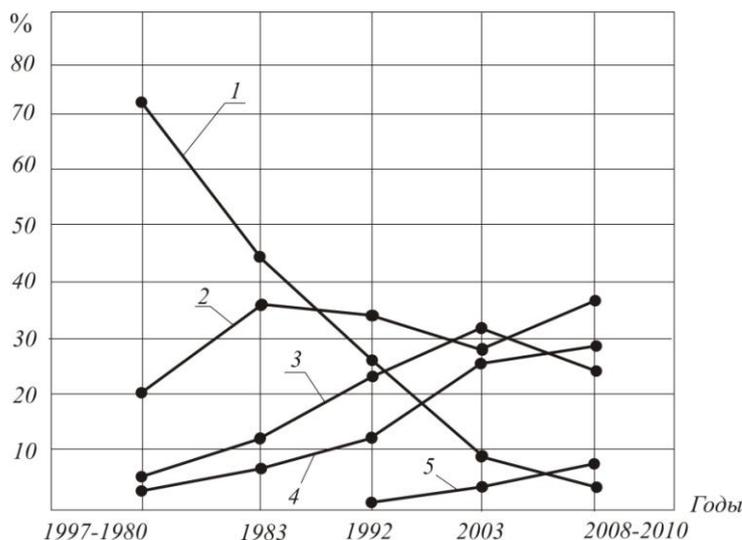


Рис. 2.2. Распределение применяемых сечений подготовительных выработок: 1 – до  $s=11,2 \text{ м}^2$ ; 2 –  $s=13,8 \text{ м}^2$ ; 3 –  $s=15,5 \text{ м}^2$ ; 4 –  $s=18,3 \text{ м}^2$ ; 5 – более  $s=19 \text{ м}^2$ .

Еще одна тенденция развития рамного крепления связана с применением более тяжелых профилей (рис. 2.3).

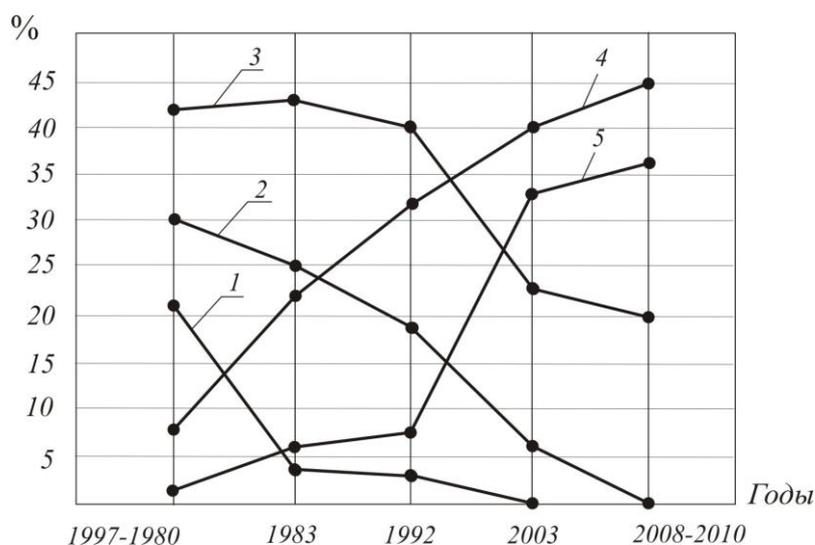


Рис. 2.3. Распределение применяемых типоразмеров спецпрофиля СВП: 1 – СВП-17; 2 – СВП-19; 3 – СВП-22; 4 – СВП-27; 5 – СВП-33

Следует отметить, что рамы с поперечным сечением в свету до  $11,2 \text{ м}^2$ , которые наиболее часто встречались 25-30 лет назад практически не используются, а преобладающие сейчас сечения  $13,8 \text{ м}^2$  зачастую оказываются не достаточными и вытесняются сечениями  $15,5 \text{ м}^2$  и  $18,3 \text{ м}^2$ . На шахтах с особо тяжелыми условиями поддержания преимущественно используются крепи трехзвенные, с удлиненными стойками с сечением  $18,3 \text{ м}^2$ . Вместе с тем, опыт применения трехзвенных крепей с удлиненными стойками (сечение  $18,3 \text{ м}^2$ ) и пятизвенных крепей оказался отрицательным, так как улучшения состояния выработок добиться не удалось.

С увеличением глубины и усложнением горно-геологических условий разработки в горной промышленности многие страны пошли по экстенсивному пути повышения несущей способности крепи за счет использования тяжелых профилей

Существенное изменение структуры применяемых на шахта профилей СВП произошло с 1980 по 1983 годы. Учитывая, что спецпрофиль СВП-14 к этому времени вышел из употребления, удельный объем применения спецпрофиля СВП-17 снизился в 5,9 раза (с 20 % до 3,4 %). Постепенно, к 2003 году, СВП-17 также вышел из употребления. Сокращается из года в год объем применения СВП-19. Основными типоразмерами в настоящее время являются СВП-22, СВП-27 и СВП-33, что связано с увеличением средних сечений поддерживаемых выработок изготавливаемых из профилей больших размеров.

В процессе обследования состояния крепей на шахтах Западного Донбасса, проводимого В.Я. Кириченко, была выявлена тенденция изготовления металлокрепей из более тяжелых типоразмеров профиля, чем это необходимо по техническим условиям. Так, например, было установлено, что до 15 % крепи АП-13,8 изготавливается из СВП-33 (вместо СВП-27 по техническим условиям), а АП-11,2 – из СВП-27 (вместо СВП-22 по ТУ). Автор объясняет это стремлением производителей повысить несущую способность типовых рамных крепей.

Очевидно, что такая экстенсивная тенденция развития рамного крепления малоэффективна и связана с отсутствием альтернатив при выборе типа крепи, а также с тем фактом, что возможности усовершенствования циркульных конструкций крепи практически исчерпаны. Следствием такого подхода является негативная тенденция увеличения плотности установки рамной крепи, которая уже сейчас привела к росту металлоемкости крепи до 1,2 тонны на 1 п.м выработки.

Установленные тенденции в развитии стальных рамных крепей неразрывно связаны с содержанием общих направлений развития технических средств и технологии добычи угля в контексте изменения геомеханической ситуации, связанной с увеличением глубины разработки.

Характеризуя выше упомянутое изменение геомеханической ситуации при отработке угольных пластов на больших глубинах, следует упомянуть не только о произошедших количественных, но и о качественных изменениях.

Возросли не только смещения пород (их величина достигает линейных размеров поперечных сечений даже в выработках вне зон влияния очистных работ). Изменились характер и интенсивность протекающих во вмещающем выработки массиве деформационных процессов. Это обусловлено образованием вокруг выработок, динамичных зон разрушенных пород значительных размеров. Это явление привело не только к резкому увеличению затрат на поддержание выработок, но и практически свело на нет одно из основных преимуществ столбовой и комбинированной систем разработки.

Общепризнано, что повышения эффективности добычи угля на больших глубинах можно достичь на основе применения столбовых и комбинированных систем разработки с повторным использованием выработок и отработкой обратным ходом с использованием высокопроизводительной угледобывающей техники, обеспечивающей при нагрузке на лаву 3,0-3,5 тыс. тонн в сутки необходимую экономичность отработки запасов.

Основной причиной такой ситуации следует считать образование нового «узкого места» в технологической цепи на ее участке от очистного забоя до поверхности. Очевидно, что это не удовлетворительное состояние всех поддерживаемых конвейерных и вентиляционных выработок, в том числе и на уровне «окна лавы». В настоящее время до 55% участковых затрат приходится на ремонт и поддержание выемочных штреков, а также комплекс работ на сопряжениях. Трудоемкость работ на сопряжениях лавы со штреками является по данным экспертов наиболее трудоемким процессом не только на добычном участке, но и на подземных работах. Таким образом, использование для поддержания конвейерных выработок старых типовых рамных крепей, имеющим не соответствующие новым условиям силовые и кинематические характеристики не позволяет обеспечить эффективность отработки запасов при столбовой системе разработки.

Одним из радикальных путей решения этой проблемы является переход на безнишевую технологию, с выносом концевых приводов лавного конвейера в пределы сечения выемочных штреков. Однако исполнение этого решения упирается опять-таки в возможность обеспечить минимально необходимое остаточное сечение штреков на уровне «окна лавы». Это условие в новой геомеханической ситуации, при использовании стальных крепей старого типа, стало непреодолимым препятствием при решении задачи обеспечить высокие технико-экономические показатели работы добычных участков.

По мнению экспертов, занимающихся разработками новых крепей, наиболее перспективной считается тенденция, направленная на повышение несущей способности крепи за счет изменения формы поперечного сечения выработки и типа рамной конструкции. В ее основе лежат фундаментальные исследования механики горных пород, строительной механики и статики сооружений.

Из механики горных пород известно, что наиболее устойчивой формой поперечного сечения выработки является эллипс (полуэллипс), у которого большая полуось расположена в направлении действия наибольшего главного

нормального напряжения. Из строительной механики также известно, что тип конструкции должен обеспечить наиболее выгодное использование прочностных свойств материала крепи, но и определяет схему ее нагружения.

До 80-х годов 20 века, в Украине, идея создания рамных крепей эллиптической формы считалась не осуществимой по технико-технологическим причинам. Переходным техническим решением стали разработанные трех-шарнирные крепи КС-4, прошедшие успешную апробацию на шахте «Южно-Донбасская №3» в 1994-1995 гг.

В начале 80-х годов прошлого века были разработаны две конструкции рамной крепи, приближающейся по форме к эллипсу: КЭП и КШПУ. Крепь типа КЭП была разработана МакИСИ и успешно использовалась в системе Укршахтостроя. Однако, для крепления штреков она не подошла из-за ограниченной податливости (от 120 до 200 мм). Крепь КШПУ была создана для условий Западного Донбасса и по сравнению с АП-3 показала лучшую несущую способность и более высокую устойчивость.

Дальнейшее развитие тенденция изменения формы поперечного сечения выработок нашла при разработке пятизвенной крепи типа КМП-А5С (разработчик Донбасский НЦ при АГН Украины) и четырехзвенной крепи КМП-А4К (разработанной на основании опыта применения рамных крепей на шахтах Германии). Однако эти конструкции крепи широкого распространения не получили из-за необходимости иметь в забое дополнительное оборудование для монтажа, более сложной технологии сборки, требующей высокого уровня организации и культуры производства, а также ряда субъективных причин.

Анализируя объемы и области применения стальных арочных крепей, количество выпускаемых конструкций, а также изобретения, продлевающие срок эксплуатации рамных конструкций, Г.Г. Литвинский делает вывод об их S-образном характере развития во времени, как любой технической системы. Так как система уже прошла исходный этап быстрого совершенствования и последующий этап стабильного роста, темпы ее развития начинают спадать, хотя объемы применения еще достаточно высоки. В дальнейшем, утверждает автор, в соответствии с «законом жизни технических систем», стальная рамная крепь скорее всего вытеснится принципиально иной системой крепления (анкерные, породонесущие конструкции и др.). Однако, в ближайшие 10-20 лет это маловероятно из-за высокой инерционности развития горной промышленности. Более вероятно, что рамная крепь перейдет на существенно более высокий уровень своего технического развития.

Наиболее перспективными, по мнению автора работы, направлениями совершенствования металлического рамного крепления для подготовительных выработок является изменение формы поперечного сечения и конструкции крепи, а также использование комбинированных конструкций на основе анкерных систем, позволяющих за счет вовлечения вмещающих пород в совместную работу с крепью существенно увеличить ее несущую способность.

### **3. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

#### **Группирование и общая характеристика способов охраны**

Под охраной горных выработок следует понимать комплекс дополнительных специальных мероприятий, направленных на повышение устойчивости породных обнажений, улучшение условий работы постоянной крепи и обеспечивающих безопасные и экономичные условия эксплуатации выработки в течение срока ее службы (по проектному назначению).

Проявления горного давления в выработках обусловлены влиянием большого числа естественно-геологических и производственных факторов. Однако устойчивость породных обнажений выработки и прилегающих к ней горных пород зависит, главным образом, от физико-механических (в первую очередь от механических) свойств пород и действующих в них напряжений, обусловленных массой вышележащих пород, тектоническими процессами и ведением горных работ. Поэтому все способы охраны направлены на изменение показателей этих двух групп факторов или на использование наиболее благоприятного их сочетания.

С некоторой степенью условности способы охраны могут быть подразделены на четыре группы:

- 1) использование благоприятных горно-геологических и технических условий;
- 2) укрепление пород;
- 3) разгрузка породного массива;
- 4) комбинированные способы.

Условность этого группирования объясняется тем, что некоторые способы охраны не могут быть однозначно отнесены к определенной группе способов. По своим результатам или физической сущности, а также по характеру воздействия на основные влияющие факторы они примерно одинаково характеризуют то или иное направление повышения устойчивости породных обнажений в выработке. Например, выбор формы поперечного сечения выработки, с одной стороны, это снижение напряженного состояния, т.к. при круговом или близком к нему очертании поперечного сечения выработки коэффициент концентрации напряжений меньше, чем при трапециевидном или прямоугольном, но с другой стороны — это укрепление пород, так как обеспечивает условия, при которых порода работает на сжатие, повышается несущая способность породных обнажений и наиболее полно используется техническая характеристика выработки.

#### **Методические положения выбора способа охраны**

Первоначально определяется необходимость применения дополнительного мероприятия. Решение этого вопроса рекомендуется производить, используя данные табл. 3.1, которые получены в результате анализа состояния выработок в пределах достигнутых глубин ведения

горных работ на шахтах Донбасса и оценке возможного состояния выработки по критерию устойчивости.

Таблица 3.1

Оценка возможного состояния выработки по критерию устойчивости

Глубина ведения горных работ, м	Прочность пород на сжатие (МПа), характеризующая необходимость применения способов охраны при направлении выработки		
	вкрест простирания	под углом к простиранию	по простиранию
600-800	52	60	68
801-1000	64	70	78
1001-1200	72	80	82
Более 1200	83	90	96

При расположении выработок в породах указанной или меньшей прочности обеспечить их эксплуатационное состояние только за счет применения крепи невозможно. В этих условиях необходимо применение способа охраны, так как без использования несущей способности породного массива, без создания системы «крепь—порода» никакие решения конечных положительных результатов не дадут.

После определения необходимости оценивается возможность применения способов охраны, обусловленная горно-геологическими условиями и наличием средств для выполнения требуемых при этом работ. Например, отсутствие вышерасположенного пласта полезного ископаемого исключает применение надработки, так как мы практически не располагаем эффективными техническими средствами для создания разгрузочной полости в породах над выработкой.

При слабых сильнообводненных породах способы разгрузки хороших результатов не дадут, так как продолжительность действия фактора разгрузки в этих условиях мала (1-2 мес.). Затруднительно применение тампонажа в породах с большим содержанием глинистых примесей и т.д.

После выбора ряда способов (возможно из разных групп), которые приемлемы в данных конкретных условиях, оценивается целесообразность применения того или иного способа по следующему критерию - способ должен иметь наименьшие дополнительные затраты и обеспечить высокую эффективность.

Если нет фактических данных по стоимостным и трудовым затратам на выполнение работ по применению того или иного способа, возможно использование расчетных данных по действующим на данный период нормативным документам. Однако такое решение вопроса целесообразности применения данного способа охраны обычно дает погрешность 15-20 %, так как нормативные документы не учитывают специфику способа и особенности выполняемых при его использовании работ. Это может привести к ошибке в принятии того или иного способа охраны для данных конкретных условий. Поэтому важное значение имеет

широкое промышленное испытание способов охраны в различных горно-геологических условиях.

Кроме указанной методики выбора способа охраны, в ряде случаев оказывается более целесообразно использовать прямое сопоставление технико-экономических показателей принимаемого способа охраны с затратами на поддержание выработки, закрепленной той или иной конструкцией крепи.

При оценке необходимости применения способа охраны, определяем возможные затраты на поддержание выработки за весь период ее эксплуатации в зависимости от применяемой конструкции крепи.

Сопоставляя их с технико-экономическими показателями применяемого способа охраны, объективно решаем вопрос о целесообразности применения в конкретных горно-геологических и технических условиях дополнительных мероприятий.

Сопоставляя данные инструментальных наблюдений за нагрузкой на крепь и смещением пород, проведенных на участках выработок, поддерживаемых с применением способов охраны и без них, можно отметить конечное снижение указанных величин, воспринимаемых постоянной крепью, в случае использования способов охраны. Речь идет о конечных результатах, так как в процессе выполнения дополнительных работ по охране возможно кратковременное возрастание этих величин, что практического влияния на последующее состояние поддерживаемой выработки не оказывает. Например, при последующей надработке полевых выработок, на участках, находящихся в зонах опорного (повышенного) давления надрабатывающего забоя (30 - 40 м впереди него), наблюдаются интенсивные и неравномерные смещения породных обнажений, которые обычно сопровождаются ремонтом крепи. Но на участках, перешедших в зону уже надработанную, смещения либо не фиксируются, либо их значения не превышают 40- 50 % от величин, фиксируемых на участках выработок до их надработки. В этой связи предпочтительна предварительная надработка, когда выработку проводят в уже надработанном породном массиве и исключена необходимость ее даже кратковременного поддержания в зонах опорного давления. Это возможно в условиях действующих шахт, но практически исключено в условиях шахт-новостроек, так как подготовка и выемка угля из разгрузочных лав увеличит продолжительность строительства и усложнит последующую работу в пределах данного участка шахтного поля.

Применение способа взрывошелевой разгрузки увеличивает смещения пород кровли до 10 %, но эти смещения, равномерные по периметру, происходят без разрыва сплошности и фиксируются в течение не более 1 мес после производства работ по разгрузке. В дальнейшем их значения обычно не превышают 50 % от значений, фиксируемых в выработках, поддерживаемых без применения способов охраны. Смещения пород почвы при этом способе охраны либо вообще отсутствуют, либо не превышают 10% от наблюдаемых в обычных условиях.

При проведении выработки в два этапа рост смещений породных обнажений передовой выработки и нагрузки на крепь на 50-100 %, наблюдаемые на участке 10-15 м впереди забоя по расширению, для последующего состояния выработки значения не имеют, т.к. после расширения и возведения постоянной крепи фиксируемые смещения не превышают 30 % от смещений, наблюдаемых в аналогичных условиях при проведении выработки обычным способом и обычно фиксируются в первые 10-15 дней после возведения постоянной крепи.

Возможное уменьшение смещений породных обнажений и нагрузок на постоянную крепь в период эксплуатации выработки, поддерживаемой с применением того или иного способа охраны, рекомендуется учитывать коэффициентом охраны  $K_0$ . Его значения для ряда способов охраны получены в результате инструментальных наблюдений, проведенных в сопоставимых горно-геологических и технических условиях на обычных участках выработки и участках с применением того или иного способа охраны и приведены ниже.

Проведение выработки увеличенным сечением	0,8
Технологическая податливость постоянной крепи	0,7
Взрывошелевая разгрузка:	
кровля выработки	0,5
бока выработки	0,3
почва выработки	0,1
Проведение выработки в два этапа	0,3
Укрепление пород:	
Оставление предохранительных целиков	0,9
Последующий тампонаж закрепного пространства	0,8
тампонаж породного массива	0,5
Предварительное образование зон неупругих деформаций	0,7
Предварительная надработка	0,4-0,5
Проведение выработки в обрушенных и уплотненных породах	0,8
Проведение пластовых выработок широким ходом	0,8
Предварительный распор крепи	0,7

При оценке возможных фактических значений смещений пород  $U_\phi$  и нагрузок на крепь  $P_\phi$ , используемых при выборе крепи выработок, поддерживаемых с применением указанных способов охраны, следует пользоваться зависимостями:

$$U_\phi = K_0 U_p, \quad P_\phi = K_0 P_p, \quad (3.1)$$

где  $U_p$ ;  $P_p$ - расчетные значения смещений породных обнажений и нагрузок на крепь (данные инструментальных наблюдений в выработках, поддерживаемых без применения способов охраны).

## Использование благоприятных горно-геологических и технических условий

### Расположение выработок в крепких породах и относительно подрываемых слоев пород.

Расположение выработок в крепких породах целесообразно при  $K_y \leq 0,3$ . Исключением являются выбросоопасные породы, расположение выработок в которых связано с большими дополнительными затратами на ликвидацию последствий выбросов или на предупредительные мероприятия. Применение этого способа в 2 раза и более снижает затраты на ремонт выработок, который зачастую выполняется еще до сдачи их в эксплуатацию.

Так, в условиях ш/у «Октябрьское» все основные подготовительные выработки пройдены полевыми и расположены в песчаных и глинистых сланцах. В качестве крепи принята металлическая податливая крепь (АП-3) с шагом установки 0,75 м. На период сдачи в эксплуатацию было деформировано и перекреплено 11 км этих выработок (15 % общей их протяженности). В условиях шахты им. А.А. Скочинского все основные подготовительные выработки пройдены по песчаникам и поддерживаются тем же видом крепи, установленной с шагом 1 м, т.е. на 25 % большим, чем в первом случае. На период сдачи шахты в эксплуатацию было перекреплено 5 км выработок (7% общей их протяженности).

Таким образом, расположение выработок в крепких породах снизило более чем в 2 раза объем ремонта, несмотря на то, что затраты на крепление были уменьшены. Начальные дополнительные затраты при этом способе связаны с увеличением затрат на выемку породы (табл. 3.2).

При  $K_y > 0,3$  это мероприятие может не дать необходимого результата и для поддержания выработки в эксплуатационном состоянии потребуется применение других способов охраны. В этой связи, если не выполняется вышеуказанное условие, может оказаться целесообразным расположение выработок в породах менее прочных, что даст снижение затрат на выемку породы и в определенной мере компенсирует дополнительные затраты, связанные с повышением устойчивости породных обнажений за счет применения другого способа охраны.

Таблица 3.2  
Значение затрат на выемку породу в зависимости от площади сечения и прочности пород

Площадь поперечного сечения в проходке, м <sup>2</sup>	Затраты на выемку 1м <sup>3</sup> породы в зависимости от коэффициента крепости пород, руб		
	Не более 4	4-6	Более 6
Не более 10	7,08	8,65	14,05
10,1-15	4,65	5,91	10,62
15,1-20	4,26	5,49	9,52
Более 20	3,95	4,8	7,57

**Расположение выработок относительно подрываемых слоев пород.** В общем случае, с точки зрения распределения напряжений вокруг контура выработки, целесообразно, чтобы штрек при расположении в слоистом массиве в кровле и почве имел прочные слои пород, а слабые попали в бока. В кровле и почве возникают, как правило, растягивающие напряжения, в боках - сжимающие.

В условиях крутонаклонных и крутых пластов наличие слабого слоя внутри пород непосредственной кровли или почвы и подсечка этого слоя обычно приводит к такому явлению, как сползание пород. Известны случаи сползания пород почвы выработок и в условиях наклонного залегания пород (угол наклона  $20^\circ$  и более), при оборудовании их рельсовым транспортом. Сползание обычно происходит по плоскостям ослабления на контакте слоев. Сползание пород кровли может произойти и без подрывки ее при проведении выработки. Смещение пород всякого бока ведет к тому, что перемятые породы выдавливаются, а иногда и высыпаются в штрек и происходит самоподрывка пород в кровле. При плохой забутовке закрепного пространства может произойти сползание пород кровли.

Мощность сползающего слоя пород изменяется от 0,5 до 1 м. В отдельных случаях мощность сползающего слоя пород достигает 2-2,5 м. Основным технологическим фактором, обуславливающим сползание, является подрезка сползающих слоев пород штреком (при его проведении) на величину более 25 % их мощности. Вопрос влияния расположения выемочного штрека по отношению к слабому слою был исследован в лабораторных и шахтных условиях.

Анализ случаев завалов штреков, связанных со сползанием пород, показывает, что наибольшее их число происходит в районе сопряжения штрека с лавой. Завалы позади очистного забоя обусловлены ремонтом выработок.

На моделях из оптически активного материала (игдантин) исследовалось распределение напряжений вблизи пластового штрека, пройденного с различной подрывкой боковых пород. Исследование напряжений было проведено на четырех моделях. В двух моделях кровля пласта состояла из слабого слоя пород, перекрываемых однородной породой, почва - из однородных пород. В двух других моделях штрек проводили в однородных породах. Имитировалась выработка с опережающей печью, что соответствует условию отработки пласта на крутом падении, и неблагоприятному условию с точки зрения поддержания штрека.

На рис. 3.1. приведены изохромы главных касательных напряжений вокруг штрека в однородном, а на рис. 3.2 в неоднородном массиве, пройденном с подрывкой слабого слоя пород.

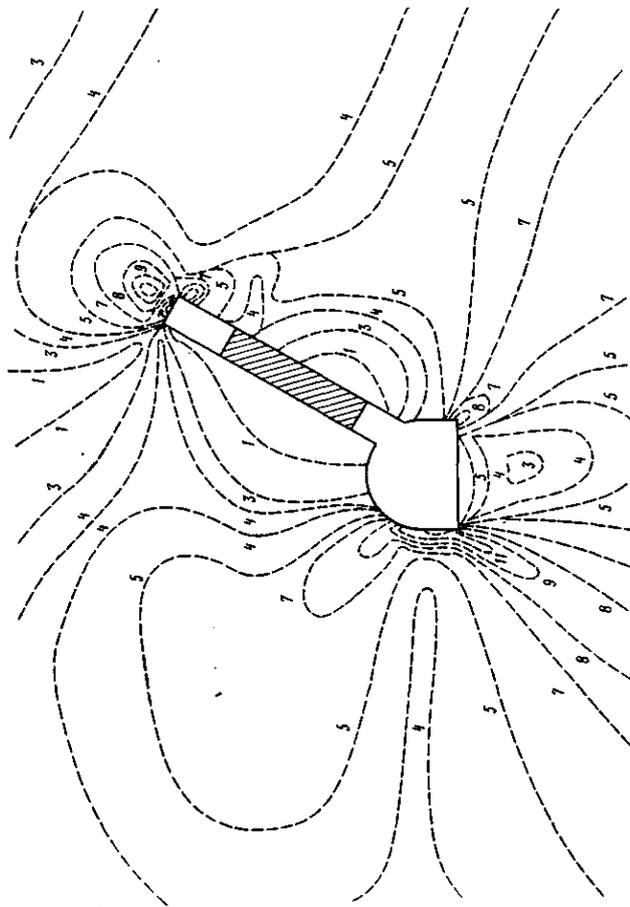


Рис. 3.1. Характер распределения максимальных касательных напряжений вокруг штока, пройденного с подрывкой слабого слоя пород непосредственной кровли для однородного массива.

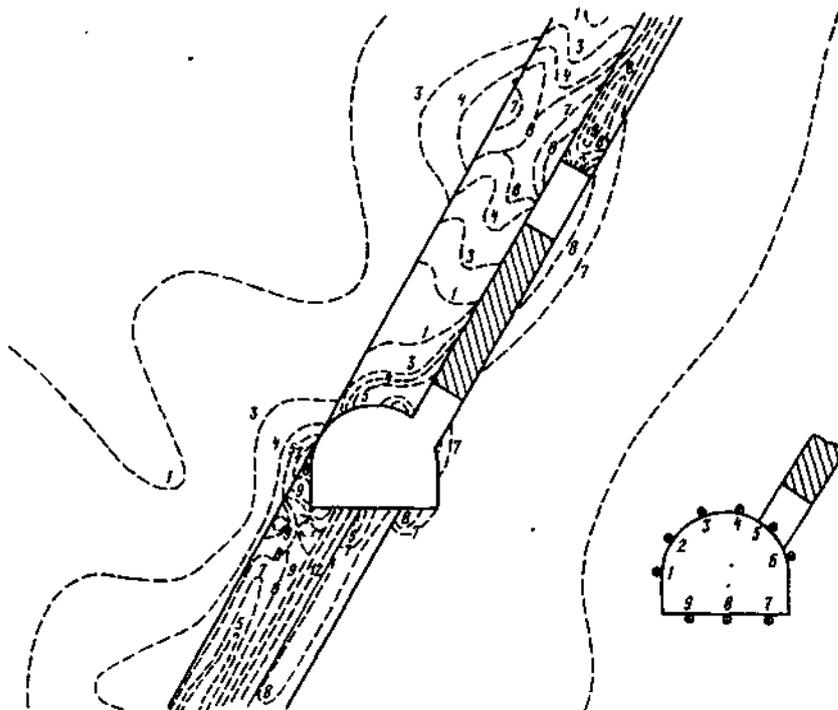


Рис. 3.2. Характер распределения максимальных касательных напряжений вокруг штока, пройденного с подрывкой слабого слоя пород непосредственной кровли для неоднородного массива

Таблица 3.3

Значение коэффициента концентрации напряжений в точках

Расположение штрека	Коэффициент концентрации напряжений в точках								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
В однородном массиве:									
при подрывке непосредственной кровли	6,82	5,42	1,87	1,11	-	2,36	3,2	3,2	3,2
без подрывки непосредственной кровли	4,71	6,1	-	1,11	1,81	1,81	3,2	3,2	3,2
В неоднородном массиве:									
при подрывке непосредственной кровли	4,27	1,04	2,0	2,96	-	4,8	4,8	2,18	3,67
без подрывки непосредственной кровли	2,96	3,82	-	5,86	6,92	6,2	1,3	1,13	3,64

Сравнение полученных данных по всем моделям позволяет сделать следующие выводы.

В неоднородном массиве наблюдается более сложная картина распределения наибольших касательных напряжений  $\tau_{max}$ . При этом отмечаются резкие изменения в значениях напряжений в массиве вблизи выработки и печи, а также при переходе от слоя к слою. Подрывка пород кровли ведет к более резкому перепаду значений напряжений в непосредственной кровле, отмечаемых над печью и над угольным пластом. При этом и максимальные напряжения возникают у кромки печи.

Из табл. 3.3 видно, что максимальные значения коэффициентов концентрации напряжений в кровле выработки (в слабом слое пород непосредственной кровли) больше при подрывке этого слоя.

Для получения качественной картины механизма деформирования слабого слоя была отработана модель из эквивалентных материалов.

Соотношение упругих и деформационных характеристик пласта, непосредственной и основной кровли было таким же, как и в оптической модели. Штрек на одном пласте был пройден без подрывки слабого слоя непосредственной кровли, на втором пласте - с его полной подрывкой. Расстояние между пластами было принято с таким расчетом, чтобы избежать взаимного влияния при их разработке. Данные моделирования показали следующее. При подрывке слабого слоя смещения с передней части печи больше, чем у кромки, в 1,9 раза, а расслоение между непосредственной и основной кровлей - в 3,6 раза. Соотношение этих же параметров при проведении выработки без подрывки сползающего слоя составляет соответственно — 1,4 и 3. Отработка лавы увеличила смещение

и расслоение пород в приштрековой зоне и вызвала сползание непосредственной кровли для случая ее подсечки штреком. Искусственный целик (в модели в качестве искусственного целика был принят паралон) не смог создать достаточного подпора сползающим слоям непосредственной кровли, и они переместились в выработку, увлекая целик за собой.

Шахтные наблюдения подтвердили данные лабораторных исследований о неравномерности смещений пород в приштрековой зоне. Инструментальные наблюдения за сближением кровли с почвой  $U_B$  опережающей печи показали, что наибольших величин сближение достигает в нижней части печи, наименьших - у ее границы (рис. 3.3). Вследствие этого на кромке опережающей печи и массива формируется зона с большими напряжениями и возможного в этом месте образования разрыва сплошности пород. Анализ 97 случаев завалов показал, что в 70 % из них высота сползающего слоя была равна или близка к высоте печи.

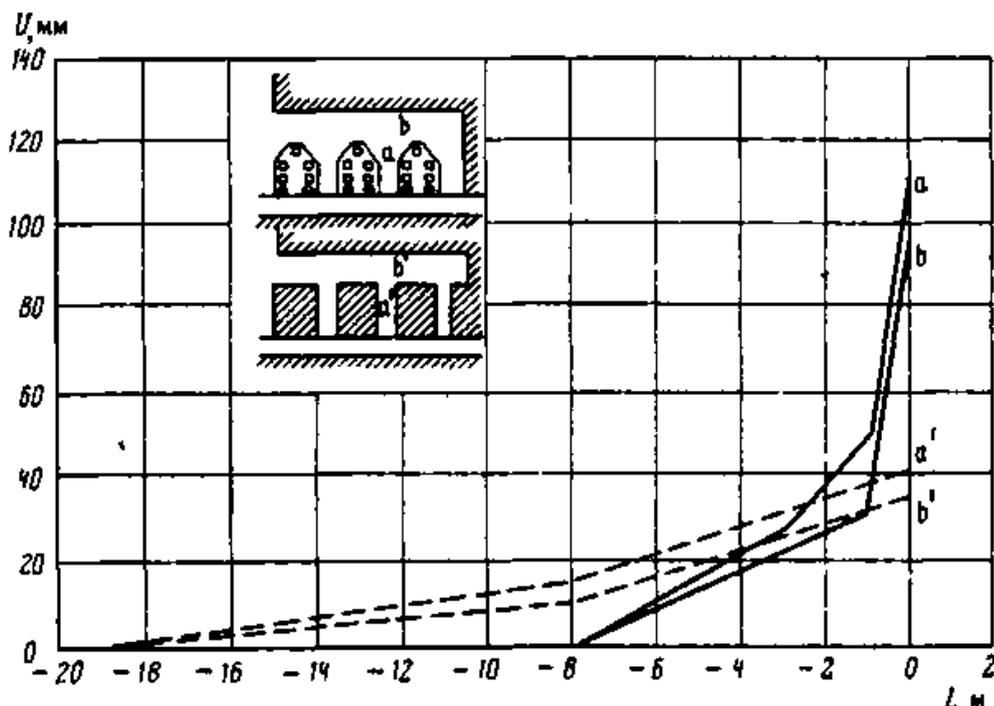


Рис. 3.3. График зависимости смещений кровли и почвы опережающей печи от расстояния до забоя лавы: a, b - при охране штрека искусственными целиками; a', b' - при охране штрека угольными целиками

Следовательно, процесс формирования сползания пород может быть представлен следующим образом. Впереди зоны опорного давления смещения пород в штрек происходят с расслоением пород в зоне неупругих деформаций. В зоне опорного давления расслоение увеличивается и в опережающую печь породы поступают с нарушенной природной структурой. Опережающая печь вызывает интенсификацию смещений и расслоения, а также их неравномерность по высоте печи. Это приводит к образованию неустойчивой системы из слоев пород, которая удерживается в равновесии средствами охраны печи, крепью штрека, силами трения между слоями и связью наиболее смещающейся части слоев пород с остальным массивом.

Система становится еще более неустойчивой, когда пересекаются штреком при его проведении слабые, склонные к сползанию, слои непосредственной кровли или почвы пласта, а по простиранию массив ослабляется очистным забоем и возможными геологическими нарушениями. Возможность сползания снижается при правильном расположении выемочного штрека относительно подрываемых, склонных к сползанию пород, применением средств охраны (угольные целики, кустокостры), создающих достаточный подпор слоям непосредственной кровли и почвы пласта.

В особо опасных по сползанию породах необходимо переходить на отработку пласта на полевые выемочные штреки через гезенки.

### Проведение выработок в обрушенных и уплотненных породах.

После выемки пласта подработанная толща пород в пределах зон обрушения I и полных сдвижений II (рис. 3.4) разгружается от первоначального давления.

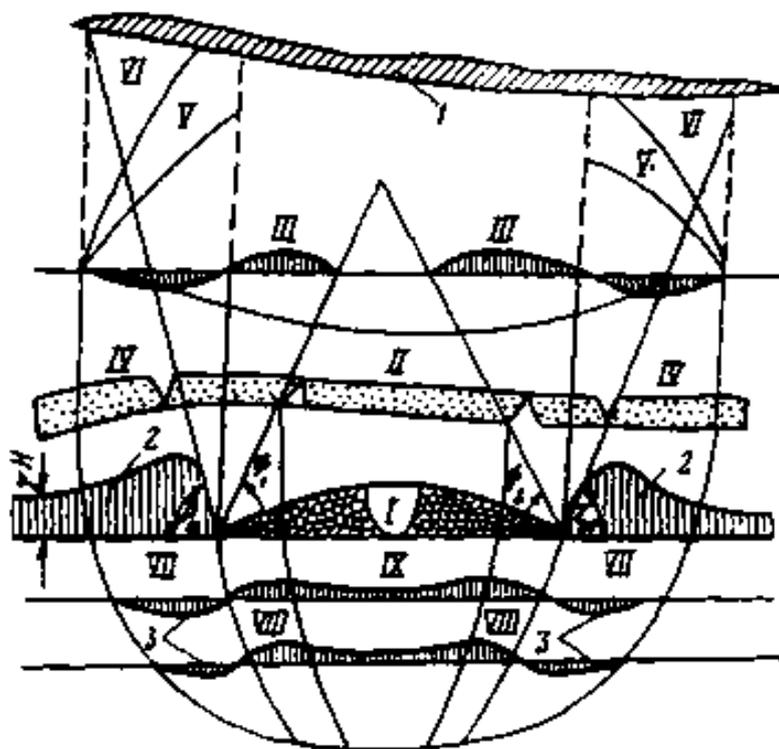


Рис. 3.4. Схема сдвижения толщи горных пород на разрезе в крест простирания при выемке угля одиночной лавой по данным исследований ВНИМИ: I - зона обрушения пород кровли пласта; II - зона полных сдвижений (прогиба с нарушением сплошности слоев в виде трещин); III - зона наибольшего плавного прогиба без нарушения сплошности слоев пород; IV — зона опорного давления в кровле пласта (сжатие пород по нормали к напластованию); V - зона малых знакопеременных деформаций; VI - зона сдвижения пород практически без деформаций по нормали к напластованию; VII— зона опорного давления в почве пласта (сжатия пород); VIII — зона неравномерного поднятия пород; IX - зона равномерного поднятия пород (разгрузки); 1 — кривая оседания земной поверхности; 2 - эпюры нормальных напряжений в зоне опорного давления; 3 - графики деформаций пород по нормали к напластованию;  $\beta_0$ ,  $J_0$  - граничные углы сдвижения земной поверхности;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  - углы полных сдвижений (обрушений) пород.

На эту область пород не оказывает влияние опорное давление, которое формируется у краевых частей массива угля. Расположение в этой области пород выработок, пройденных после завершения активных оседаний подработанной толщи, улучшает их последующее эксплуатационное состояние. При подготовке горизонта, панели или блока проведение основных выработок по обрушенным породам кровли пласта следует осуществлять вслед за подвиганием лавы с отставанием от чистых работ на расстояние  $L$ :

$$L \geq \left( \frac{t}{24} - n \right) v, \quad (3.2)$$

где  $l$  — длина отработываемой лавы, м;  $t$  — удельное время формирования области полных сдвижений над выработанным пространством, ч/м лавы; при отсутствии в толще пород кровли слоев крепких песчаников (известняков)  $t = 6 \div 8$ ;  $n$  — число суток, в течение которых в лавке не производилось работ по выемке угля;  $v$  — скорость подвигания лавы, м/сут. Для средних горно-геологических условий Донбасса при длине лавы 150-250 м и скорости их подвигания 2-3 м/сут период образования области полных сдвижений составляет примерно 2 месяца. Если в лаве нет простоев, упрощенно можно принимать  $L = 2$ .

Расстояние  $l$  от кромки массива или целика угля до проводимой в обрушенных породах выработки следует принимать не менее 10 м, а при наличии с одной стороны выработки бутовой полосы — 16 м. Вблизи остановленного очистного забоя проведение выработки в обрушенных породах следует начинать спустя 1,5 месяца и более после прекращения выемки угля. Расстояние от забоя остановленной лавы до места расположения выработки следует принимать 15 м и более.

В обрушенных породах можно выделить две четко выраженные зоны. Непосредственно на почве отработанного пласта располагается зона мелкодробленых пород (первая зона), образуемых из слоя пород непосредственной кровли. Толщина слоя пород этой зоны обычно превышает на 5—10 % мощность отработанного пласта. Породы представляют сыпучую изотропную среду с углом внутреннего трения 28-40°. При наличии воды породы этой зоны склонны к размоканию.

Вторая зона обрушенных пород располагается над первой. Она представляет собою трещиноватую среду, состоящую из кусков призматической формы, сохраняющую исходную слоистость массива и ориентацию слоев в пространстве. По высоте вторая зона распространяется до основной кровли пласта, оседающей плитами, размер которых определяется шагом посадки основной кровли.

Особенность обрушенных пород второй зоны заключается в том, что трещиноватость не ухудшает, а облегчает условия поддержания выработок за счет устранения значительной части распорности массива. При этом сохраняется его связность из-за наличия большого угла трения между

кусками пород призматической формы. Для повышения устойчивости выработок, пройденных в обрушенных породах, иногда приходится дополнительно воздействовать на зону мелкодробленых пород (применять ее осушение, укрепление и т.д.).

Основными преимуществами этого способа охраны по сравнению со способами охраны целиками или бутовыми полосами являются: снижение потерь подготовленных запасов угля; ликвидируются трудоемкие ручные работы по выкладке бутовых полос, костров; сдвигание обрушенных и уплотненных пород на контуре выработок в 2-5 раз меньше, чем при бутовых полосах, что позволяет уменьшить запас крепи на осадку; в выработках не наблюдается пучение пород почвы; расширяется область применений комбайнов для проведения выработок.

Область применения способа проведения наклонных и горизонтальных выработок в обрушенных породах относится к пластам мощностью 1 м и более, боковые породы которых имеют достаточно большую мощность (более 1м), слабые, трещиноватые и склонные к интенсивному выдавливанию в выработки. Способ проведения выработок в обрушенных и уплотненных породах может быть отнесен и к способам разгрузки. Однако специфика условий его применения и взаиморасположения подготовительных и очистных забоев в большей степени характеризует данный способ как способ, относящийся к группе способов выбора благоприятных горно-геологических и технических условий.

### **Выбор допустимых расстояний между параллельными выработками.**

Чтобы предотвратить вторичные смещения пород вокруг параллельных выработок, целесообразно проходить их одновременно. Если по техническим причинам такая схема работ невозможна, выработки следует располагать на безопасном расстоянии одну от другой. Для расчетного определения расстояния между параллельными выработками, исключая их опасное взаимодействие, был проведен анализ 680 выработок (в условиях крутого падения - 160), пройденных на глубинах 600 м и более [6]. В результате получена зависимость для оценки безопасного расстояния между выработками  $L$  (м):

$$L = n \left( 12.5 \frac{\gamma}{m \sigma_{сж}} + K \right) \frac{B_1 + B_2 H}{4}, \quad (3.3)$$

где  $n$  — коэффициент, учитывающий направление выработок относительно напластования: по простиранию — 1,2; вкрест и под углом к простиранию — 1;

$m$  — коэффициент (показатель) стойкости пород;

$B_1, B_2$  ширина параллельных выработок в черне, м;

$H$  глубина расположения выработки от земной поверхности, м;

$K$  эмпирический коэффициент, характеризующий прочность вмещающих

пород ( $\sigma_{сж}$ ) на одноосное сжатие: при  $\sigma_{сж} < 40$  МПа -  $K=0,0085$ ; при  $\sigma_{сж}=40\div 60$  МПа -  $K=0,008$ ; при  $\sigma_{сж} > 60$  МПа -  $K=0,0076$ .

На оцениваемый показатель несущая способность крепи практически не влияет: при увеличении ее от 50 до 300 кН/м<sup>2</sup> изменение не превышает 4 %, не отмечено также влияние формы поперечного сечения выработок.

При оценке допустимого расстояния между наклонными выработками необходимо учитывать наибольшую глубину их расположения, что обеспечивает дополнительный запас устойчивости для верхних участков.

Если по ряду причин не удастся располагать выработки на расстоянии, исключая их взаимное влияние, то целесообразно выполнять рекомендации, которые заключаются в следующем. Для повышения устойчивости породных обнажений сближенных параллельных выработок целесообразно обеспечить их одновременное проведение или с отставанием проходческих забоев друг от друга на расстояние не более 20 м.

При последовательной проходке для улучшения условий работы постоянной жесткой крепи ее надо возводить с отставанием от проходческого забоя параллельной выработки не менее, чем на 40 м, а если позволяют горно-геологические условия, возведение постоянной крепи производить после полного окончания работ в пределах рассматриваемой системы сближенных выработок.

Предлагаемое решение может быть использовано и для оценки участков пониженной устойчивости сопрягающихся или пересекающихся выработок.

Оценив для данных горно-геологических и технических условий допустимое расстояние  $L$ , откладывают его между сопрягающимися выработками. Участки выработок, где фактическое расстояние между ними меньше расчетного, будут иметь повышенные деформации и для обеспечения их эксплуатационного состояния необходимо применение дополнительных мер. Получаемые по данной методике результаты хорошо согласуются с результатами оценки зон повышенных напряжений в пределах сопряжений выработок, методика которой изложена в п. 3.3.5.

**Расположение выработок относительно границ угольных целиков.** При оконтуривании околоствольных целиков горными работами у их границ возникают зоны опорного давления 1 (рис. 3.5), в пределах которых породы испытывают повышение напряжения. Это положение справедливо и для целиков других назначений, оставляемых над участками существующего или будущего развития подготовительных работ, например, при подготовке нижерасположенного горизонта. Расположение выработок в этих зонах приводит к повышенной деформации породных обнажений и крепи, а, следовательно, и к увеличению затрат на их поддержание. Следует также отметить, что в пределах указанных зон возникающие повышенные напряжения характеризуются весьма высокой неравномерностью действия, что практически исключает возможность прогнозирования характера их

проявления. Это создает трудности при выборе средств и способов поддержания выработок. Деформации указанных выработок в первую очередь наблюдаются у краевых выработок системы (например, околоствольных дворов), которые обычно попадают в пределы этих зон.

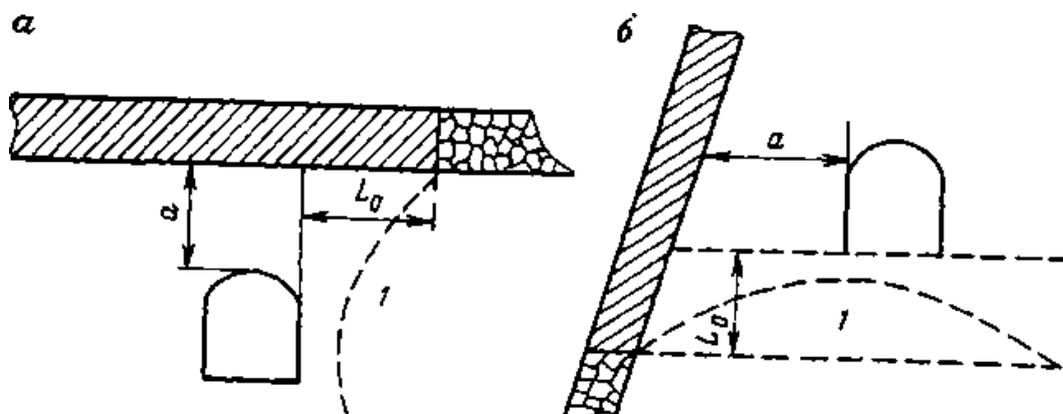


Рис. 3.5. Схема расположения краевых выработок околоствольного двора относительно границ целиков; а - при  $\alpha < 18^\circ$ ; б - при  $\alpha > 55^\circ$

Деформации краевых выработок нарушают общее равновесное состояние породного массива и обычно сопровождаются последовательной деформацией других, входящих в рассматриваемую систему, выработок даже в случае расположения последних вне зоны опорного давления. Правильно выбранное место расположения краевых выработок рассматриваемой системы позволит предупредить повышенные, непрогнозируемые деформации и обеспечить эксплуатационное состояние выработок данной системы с наименьшими затратами на их поддержание.

При выборе места расположения краевых выработок системы или индивидуальной выработки рекомендуется пользоваться следующими положениями, учитывая угол залегания пород а.

1).  $\alpha < 18^\circ$  (рис. 32, а). В указанных условиях угол залегания пород практического влияния на искомый результат не оказывает, поэтому в решении он не учитывается, а для определения места расположения краевой выработки относительно границы целика рекомендуется пользоваться зависимостью:

$$L_0 = 24 \left( \sqrt{+0.001H} \right) + 0.2a, \quad (3.4)$$

где  $H$  — глубина расположения от земной поверхности до почвы пласта полезного ископаемого, в пределах которого оставляется целик, м;

$a$  — расстояние по вертикали от почвы пласта до контура кровли рассматриваемой выработки, м. В условиях шахт Донецкого угольного бассейна значение  $a$  обычно принимается в пределах  $10 \text{ м} \leq a \leq 40 \text{ м}$ .

2)  $19^\circ < \alpha < 45^\circ$ . В данных условиях наблюдается влияние угла залегания пород. Это влияние сказывается на уменьшении искомой величины. Поэтому для снижения потерь полезного ископаемого, особенно в околоствольных целиках, оставление которых особенно практикуется, рекомендуется использовать зависимость (3.4) в следующем виде:

$$L_0 = [4\kappa + 0.001H] \cdot 0.2a \cdot \cos\alpha, \quad (3.5)$$

Для вышерассмотренных условий, при  $\alpha=45^\circ$ ,  $L_0 \approx 34$  м.

Искомый размер  $L_0$  в принципе может регулироваться изменением параметра  $\alpha$ . Однако следует иметь в виду, что предел регулирования не превышает 16 %, а параметр  $\alpha$  обычно выбирается с учетом горно-геологической характеристики данного района (шахтного поля) и принятым способом его отработки, т.е. является заданным (постоянным) для данных условий.

3).  $45^\circ < \alpha < 55^\circ$ . В этих условиях используется зависимость (3.5), положив  $\cos\alpha = \cos 45^\circ$ .

4)  $\alpha > 55^\circ$  (рис. 3.5,б). Искомым параметром  $L_0$  в данных условиях является расстояние (по вертикали) от почвы краевой выработки (условия расположения выработок околоствольного двора) до уровня нижней границы околоствольного целика. При крутом залегании пород влияние глубины расположения пласта полезного ископаемого, в пределах которого оставляется целик, не отмечено. Основное влияние на искомый размер  $L_0$  оказывает расстояние краевой выработки от пласта (по горизонтали) —  $a$ .

Для условий шахт Донецкого бассейна, разрабатывающих крутые пласты, обычно  $a > 10$  м. При расстоянии краевой выработки от крутопадающего пласта  $10 \leq a \leq 30$  м целик должен иметь размеры, при которых очистные работы ведутся на расстоянии не менее 10 м (по вертикали ниже уровня расположения поддерживаемой выработки), т.е.  $L_0 \geq 10$  м.

При  $a > 30$  м нижняя граница целика может находиться на уровне расположения действующей или проводимой выработки, т.е.  $L_0 = 0$ .

При разработке свиты пластов и расположении системы выработок ниже данной свиты, независимо от размеров между пластами и мощности пластов, место расположения краевой выработки должно оцениваться относительно границ целика, оставляемого в пределах нижнего пласта.

В случае расположения системы поддерживаемых выработок в пределах между пластами, или при выборе месторасположения одиночной полевой выработки, например, при оставлении в пределах вышерасположенного пласта предохранительных целиков, месторасположение краевой выработки должно выбираться относительно границ целика, оставляемого в пределах ближайшего вышерасположенного пласта, а размеры целиков по ниже расположенному пласту должны исключить подработку этих выработок. Следует отметить, что оставление угольных целиков для охранных подготовительных (пластовых) выработок в условиях глубоких горизонтов шахт Донецкого бассейна, независимо от угла залегания пород, принятой системы разработки и способов (средств) поддержания выработок, является нецелесообразным. Помимо увеличения потерь полезного ископаемого, предохранительные целики ухудшают

состояние выработок, вызывая увеличение затрат на их поддержание в самых благоприятных условиях (однородные, достаточно прочные породы,  $\sigma_{сж} \geq 60$  МПа) до 20 %. В неблагоприятных условиях это увеличение достигает 40 % и более. Поэтому принятое общее направление бесцеликовой обработки угольных месторождений с точки зрения поддержания выработок (в том числе и полевых) является оптимальным.

При рассмотрении месторасположения краевых выработок относительно границ околоствольных целиков размер  $L_0$  определяется без учета охраны стволов. Поэтому размеры околоствольных целиков должны определяться по существующим положениям, а приведенные рекомендации использоваться для проверки. В случае несоответствия принятых размеров целиков требованиям охраны выработок околоствольных дворов и невозможности изменения места их расположения (или схемы двора в целом) размеры целиков должны быть, соответственно увеличены.

**Направление выработки относительно напластования пород характеризуется ее расположением по отношению к простиранию пород.** При этом для унификации возможного расположения выработок в породном массиве рекомендуется принимать: направление по простиранию (II) — угол, образуемый продольной осью выработки и линией простирания породной толщи (находится в пределах  $0^{\circ} — 30^{\circ}$ ); направление под углом к простиранию (<) -  $31^{\circ} - 60^{\circ}$  направление вкрест простирания (I) -  $61^{\circ} - 90^{\circ}$ .

В указанных пределах изменение угла направления выработок относительно простирания пород вызывает незначительное изменение в состоянии выработок, характеризуемое изменением затрат на поддержание на 2-4 % (меньше значение для условий пологого залегания), что практически учесть невозможно. При различных направлениях выработок изменение затрат на поддержание достигает 15 % и более. Эти изменения уже должны учитываться. Инструментальными наблюдениями и технико-экономическими обследованиями выработок шахт Донбасса [6] установлено, что величина смещений пород на контуре выработки (характеристика устойчивости), так же, как и нагрузка на крепь, в значительной степени зависит от направления выработки относительно напластования.

При проектировании системы выработок обычно учитывают возможность расположения в прочных породах, удобства транспортной схемы, объемы горных работ. Затраты на последующее поддержание во внимание обычно не принимаются, что приводит к неоправданному их увеличению, а в ряде случаев и нарушению режима работы шахты, вследствие значительных деформаций откаточных выработок.

Наиболее сложным с точки зрения поддержания выработок является пересечение контактов разнопрочных пород (направление вкрест простирания и под углом к простиранию). В этих условиях продолжительность интенсивных и неравномерных смещений

увеличивается на 40-120 % (по сравнению с условиями однородных пород), поэтому камерные выработки при слоистых разнопрочных породах следует располагать по простиранию, исключая тем самым пересечение контактов пород, даже если при этом их приходится располагать в относительно слабых породах.

На участках закруглений выработки по ее периметру наблюдается рост неравномерности смещений пород. Объясняется это тем, что на закруглениях (рис. 3.6) породный массив в пределах участков А и В находится в повышенном напряженном состоянии, как бы аккумулируя нагрузки со стороны вышерасположенных толщ пород. Также следует учитывать, что при проведении выработок с применением БВР именно эти участки породного массива испытывают наибольшее влияние взрывных работ. Для того, чтобы снизить или полностью исключить неравномерность смещений пород контура выработок на участке закругления, их радиусы  $R_{min}$  рекомендуется принимать по данным табл. 3.4.

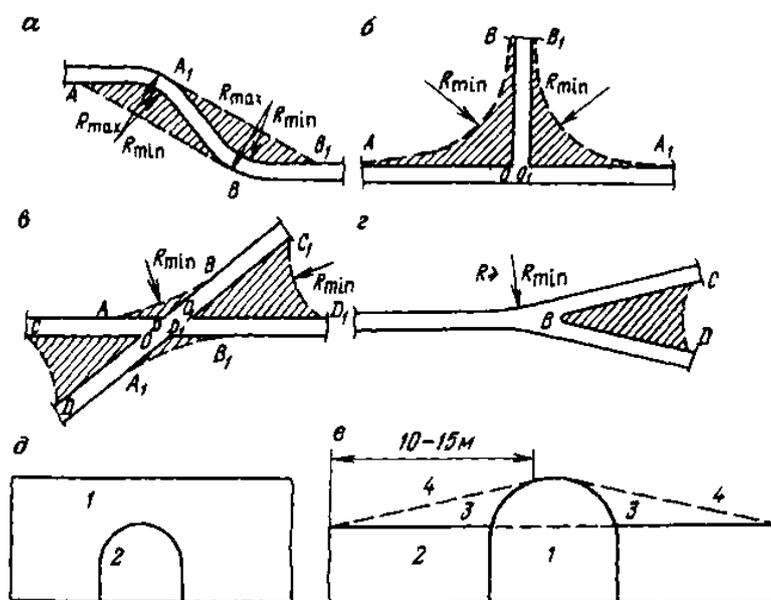


Рис. 3.6. Зоны повышенных напряжений на участках закругления (а), примыкания (б), пересечения (в), разветвления (г) выработок и участок перехода от одного сечения выработки к другому: д - применяемый; е — рекомендуемый; 1, 2 - пересекающиеся выработки; 3, 4 — соответственно применяемая и рекомендуемая конфигурации пересечения

Таблица 3.4

Значение минимальных радиусов закругления контура выработок

Прочность пород на сжатие, МПа	Значение $R_{min}$ (м) для шахт со сроком службы	
	<5 лет	>5 лет
<40	40 (45) *	50 (55)
40,1-60	35 (40)	45 (50)
60,1-80	30 (35)	40 (45)
>80	25 (30)	35 (40)

\* Данные приведены для сухих пород, в скобках — для обводненных.

Приведенные в табл. 3.4 данные получены путем обработки результатов обследования выработок. Значение  $R_{min}$  принимается для продольной оси выработки.

При проведении сопряжений в виде примыкания и пересечения выработок (рис. 3.6, б, в), независимо от их вида, следует определять участки (по длине выработок) возможных повышенных деформаций породных обнажений (крепей) для своевременного принятия предохранительных мер (разгрузка или упрочнение массива, усиление крепи и т.п.).

Размеры зон возможных повышенных деформаций  $AOB (A_1O_1B_1)$  и  $СОД (C_1O_1M_1)$  определяются вписыванием между смежными сторонами примыкающих (пересекающихся) выработок окружности радиусом, равным  $R_{min}$  (табл. 30). Точки касания окружности со сторонами выработок ( $A, B, O, D$  и т.д.) ограничивают участки необходимого принятия предупредительных мер. В отдельных случаях, обычно при породах слабых ( $\sigma_{сж} \leq 40$  МПа), породный массив в пределах участка  $СОД (C_1O_1M_1)$  удаляется и заменяется искусственным сооружением (бетонным или железобетонным). Такое решение нецелесообразно, так как именно в этом случае наблюдаются обычно повышение деформации как самих сопряжений, так и прилегающих к ним участков выработок, поддерживаемых податливыми крепями. Оно возможно только в случае поддержания выработок жесткими крепями. При проектировании и проведении сопряжений выработок, независимо от их вида, обязательным условием снижения затрат на поддержание является однородность режима работы крепи на протяженных участках выработок и на участках их сопряжений. Несоблюдение этого требования является основной причиной значительных деформаций сопряжений (на шахтах Донбасса деформировано 67 % сопряжений выработок), которые с течением времени распространяются на протяженные участки выработок. При производстве ремонта на участках сопряжения возможно усиление крепи, но ни в коем случае нельзя переходить на жесткий режим ее работы, если выработки и само сопряжение поддерживались до ремонта податливой крепью.

При проведении разветвленной выработки (рис. 3.6, г) радиус сторон разветвляющейся выработки должен приниматься не менее  $R_{min}$  участка необходимого принятия предупредительных мер определяются по вышеизложенной методике. При этом участки массива ( $СОД$ ) при слабых породах целесообразно заменять искусственными сооружениями только при жестком режиме работы постоянной крепи.

Значительные деформации породных обнажений и постоянной крепи (при равных условиях) наблюдаются на участках перехода от одного сечения к другому. Обычно эти переходы имеют уступный характер (рис. 33, д), что способствует концентрации повышенных напряжений. Чтобы избежать отрицательного влияния перехода от одного сечения к другому, необходимо обеспечивать плавное изменение размеров (по высоте и ширине) выработки на участке не менее  $2B$  ( $B$  - ширина выработки в черне)

по длине от сопряжений (рис. 3.6, е). Это требует увеличения начальных расходов на проведение выработок (по расчетным данным до 5 %), но они окупятся снижением затрат на поддержание не только участка сопряжения, но и прилегающих к нему протяженных участков выработок.

### Укрепление пород

Эта группа способов основана на тампонаже вмещающего выработку (или их систему) породного массива, в той или иной степени деформированного, в том числе и в результате ведения горных работ.

Способы охраны, связанные с укреплением массива, направлены на увеличение устойчивости пород в зоне неупругих деформаций, разрушенных или трещиноватых в результате упругого перераспределения напряжений, а также при наличии тектонических нарушений. Способы этой группы предусматривают уменьшение смещений пород, требуют достаточно высоких начальных дополнительных затрат, специального оборудования при увеличении потерь полезного ископаемого.

**Оставление предохранительных целиков.** В настоящее время применение этого способа охраны подготовительных выработок, главным образом пластовых, постоянно ограничивается стремлением снизить потери полезного ископаемого и упростить схемы его выемки, а также ограниченностью области целесообразного применения предохранительных целиков. Согласно данным технико-экономического анализа, охрана предохранительными целиками (рис. 3.7) в условиях пологого и наклонного падения (а) эффективна при глубине ведения горных работ до 500 м. В условиях крутонаклонного и крутого падения способ является неэффективным (б) независимо от глубины ведения горных работ. Затраты на поддержание выработок, охраняемых целиками в указанных условиях, на 10-20 % выше, чем при любом другом способе охраны, в том числе при поддержании только за счет применения крепи.

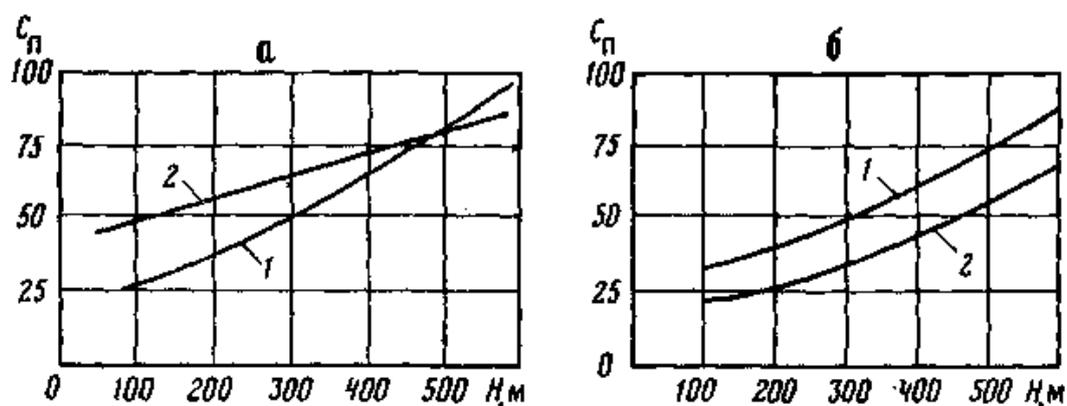


Рис. 3.7. Зависимость затрат на поддержание выработок  $C_n$  от глубины разработки  $H$ : а - в условиях пологого и наклонного залегания; б - в условиях крутонаклонного и крутого залегания; 1 - при охране целиками; 2 - при других способах охраны

В условиях целесообразного применения предохранительных целиков их ширина может приниматься по данным ВНИМИ или определяться расчетным методом, что для глубин до 500 м более точно. В условиях шахт Донецкого бассейна при расчетном методе определения ширины целика  $x_{ц}$  (м) рекомендуется учитывать способ управления кровлей в очистном забое при плавном опускании кровли;

$$x_{ц} = \frac{\gamma H \left( r + \frac{m}{\Delta m} \right)}{\sigma_{сж} - \gamma H} \cos \alpha, \quad (3.6)$$

где  $\gamma$  — удельный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;

$H$  — глубина расположения пласта от земной поверхности, м;

$r$  — полупролет охраняемой выработки, м;

$m$  — мощность пласта полезного ископаемого, м;

$\Delta m$  — величина опускания кровли на 1 м выработанного пространства, м. Величина  $\Delta m$  при  $f \leq 4$  равна 0,035, при  $f = 4 \div 6$   $\Delta m = 0,032$  при  $f > 6$ , то  $\Delta m = 0,3$ .

$\sigma_{сж}$  — предел прочности полезного ископаемого на сжатие, МПа;

$\alpha$  — угол падения пласта, градус.

При обрушении, частичной или полной закладке выработанного пространства:

$$\begin{aligned} x_{ц} &= 0,04mH + 6 \text{ (для каменного угля);} \\ x_{ц} &= 0,03mH + 6 \text{ (для антрацита).} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Длина целика  $l_{ц}$  обычно принимается в зависимости от его ширины и регламентируется требованиями транспорта и вентиляции:

$$l_{ц} = 2 - 2 \bar{x}_{ц}$$

В ряде случаев длина целика может быть ограничена требованиями безопасного ведения работ.

Как отмечалось выше, при глубине ведения горных работ 500 м и более, оставление предохранительных целиков для охраны выработок неэффективно, поэтому данный способ охраны не должен иметь практического применения.

**Оставление потолочного и почвенного слоя** в угольной промышленности самостоятельно не применяют, ограниченно применяют оставление потолочины (слоя угля толщиной до 20 см) для уменьшения поступления в выработку воды или улучшения условий работы крепи при слабых, склонных к просыпанию, вмещающих породах.

При разработке полезных ископаемых, характеризующихся большой вязкостью (гипс, поваренная соль), оставление потолочного и почвенного слоев обычно применяются как самостоятельный способ поддержания

выработок.

В этом случае толщина защитных слоев принимается в пределах 1,5-3,5 м (редко 5 м) в зависимости от ширины выработки и механической характеристики полезного ископаемого.

Для расчетного определения толщины потолочины  $h_1$  (в метрах) можно пользоваться положениями первого предельного пролета, решая относительно  $h_1$  зависимость:

$$h_1 = \frac{3\gamma B^2 H^2}{4m\sigma_p 150^2}, \quad (3.8)$$

где  $B$  — пролет охраняемой выработки, м;

$\gamma$  — удельный вес полезного ископаемого, МН/м<sup>3</sup>;

$\sigma_p$  — прочность полезного ископаемого на разрыв, МПа;

$m$  — коэффициент потери прочности во времени;

$H$  — глубина ведения горных работ, считая от земной поверхности до контура породных обнажений в почве выработки, м.

При равных условиях толщина почвенного слоя  $h_2$  может приниматься:

$$h_2 = 0.5 - 0.8 \bar{h}_1, \quad (3.9)$$

При известных нагрузках со стороны вмещающих пород на почвенный слой его толщина может быть определена по эмпирической зависимости:

$$h_2 = 0.5B \sqrt{\frac{q}{2\sigma_p}}, \quad (3.10)$$

где  $q$  — ожидаемая удельная нагрузка на почвенный слой со стороны вмещающих пород, МН/м<sup>2</sup>.

При использовании в выработке большегрузного оборудования в качестве нагрузки на почвенный слой следует принимать большее значение, сопоставляя давление со стороны вмещающих пород и удельное давление данного оборудования на почву.

**Укрепление пород нагнетанием вяжущего вещества.** Условием возможного применения данного способа охраны является  $\gamma H / (m_{сж}) > 0,3$  ( $\gamma H$  — характеристика напряженного состояния;  $\sigma_{сж}$  — предел прочности пород на сжатие). При этом соотношении образуется зона неупругих деформаций, что обеспечивает проникновение в породный массив скрепляющих (вяжущих) растворов.

При отсутствии образующейся вокруг выработки зоны неупругих деформаций, т.е. в условиях устойчивых, высокой прочности пород (для глубоких горизонтов шахт Донбасса, однородные породы с  $\sigma_{сж} > 100$  МПа),

способ нецелесообразен, а при монолитных породах - технически невозможен при самостоятельном применении. Исключением являются трещиноватые обводненные породы (приток воды 2 м<sup>3</sup>/ч и более), когда применение способа может иметь цель - ограничить или предупредить поступление воды в выработку. Это имеет важное значение при агрессивных водах для улучшения условий работы постоянной крепи.

При расчете параметров этого способа определяется необходимая глубина проникновения скрепляющего раствора (размер зоны укрепленных пород  $h_y$ ), условная прочность укрепленных пород  $\sigma_{сж}$ , а для экономической оценки способа — необходимый расход раствора.

Размер зоны укрепленных пород (необходимый с точки зрения обеспечения устойчивого состояния выработки) непосредственно зависит от угла внутреннего трения пород в пределах зоны неупругих деформаций  $\varphi$  и может быть найден по формуле

$$h_y = r \left( \frac{1}{\sqrt{\sin \varphi}} - 1 \right), \quad (3.11)$$

где  $r$  — полупролет выработки в направлении производимого укрепления пород, м.

При отсутствии фактических данных о значении угла внутреннего трения при сильно деформированных породах в пределах зоны неупругих деформаций, например, пересечение выработкой, пройденной с помощью буровзрывных работ, участка тектонических нарушений, в расчете рекомендуется принимать  $\varphi=20^\circ$ . При отсутствии тектонических нарушений и проведении выработки буровзрывным способом  $\varphi=40^\circ$ , при комбайновом способе проведения выработки соответственно 30 и 50°.

При оценке условной прочности породы  $\sigma_{сж}^y$  (после работ по ее укреплению) находится значение коэффициента укрепления  $K_y$  по зависимости:

$$K_y = \frac{2\gamma H}{m\sigma_{сж}} - 0,6, \quad (3.12)$$

При  $K_y \leq 0$  применение способа укрепления нецелесообразно, т.к. возможная при этом условная прочность пород будет недостаточна для противостояния действующим напряжениям и предупреждения ожидаемых смещений пород:

$$\sigma_{сж}^y = (+ K_y) \sigma_{сж}, \quad (3.13)$$

Сопоставлением  $\sigma_{сж}^y$  действующими напряжениями решается вопрос о возможном уменьшении смещений пород при их укреплении, т.е. о достаточности применения данного способа охраны для обеспечения эксплуатационного состояния выработки в конкретных горно-геологических и технических условиях.

Для определения необходимой глубины укрепления пород  $h_y$  (м) ВНИМИ на основании обобщения опытных данных рекомендует пользоваться зависимостью:

$$h_y = K_t \{0.2 + 1.6U\} \cdot 0.2, \quad (3.14)$$

где  $U$  — величина смещений пород в направлении предполагаемого их укрепления, м;

$K_t$  — коэффициент снижения величины смещений пород в зависимости от времени начала работ по укреплению после проведения выработки.

Дальнейший расчет проводится по вышеизложенной методике.

Предложенная ВНИМИ зависимость имеет смысл при  $0 < K_t < 0,6$  и в этих условиях дает положительные результаты. При  $K_t > 0,6$  эффективность укрепления пород (в том числе и по начальным затратам) резко снижается и в большинстве случаев не обеспечивается конечный результат.

Недостатком приведенных зависимостей для определения  $h_y$  является необходимость на данном этапе прогнозной оценки  $\varphi$  или  $U$ , что вносит определенную погрешность в конечные результаты. Это подчеркивает важность и необходимость развития исследований физико-механических свойств породного массива:

Объем вяжущего раствора ( $m^3$ ) на 1м охраняемой выработки на участке ее укрепления:

$$V = 0.3h_y \{1 + h_y/r\}, \quad (3.15)$$

где эмпирический коэффициент равен 0,3.

Значения  $h_y$  и  $r$  принимаются в направлении участка укрепляемых пород, для которого определяется необходимый расход вяжущего раствора (почва, бока, кровля).

При наличии слоя забутовки за крепью последняя перед укреплением пород должна тампонироваться цементно-песчаным раствором. Объем этого тампонирования ( $V_m$ ) определяется в зависимости от объема забутовки ( $V_3$ ) по формуле:

$$V_m = 0,3V_3, \quad (3.16)$$

В практике ведения работ по укреплению пород используют песчано-цементные и цементные растворы; первые - для заполнения пустот в забутовке закрепного пространства и крупных трещин (толщина трещин более 3 мм) в породах; вторые - для средних и мелких трещин в породах зоны неупругих деформаций. В качестве вяжущего рекомендуется использование портландцемента марки 400 и более; при агрессивных водах - сульфатостойкий цемент. Песчано-цементные растворы могут приниматься состава П:Ц (песок : цемент) 2:1-5:1. Водоцементное отношение (В:Ц) следует принимать при П:Ц=2:1 в пределах 2:1 при увеличении расхода песка расход воды следует уменьшить до 1:2.

Число тампонажных скважин принимается из расчета одна скважина на 2—2,5 м<sup>2</sup> площади породных обнажений выработки. При всестороннем укреплении пород в выработке работы следует проводить сначала в боках выработки, затем в кровле и почве ее.

Для ускорения процессов схватывания и твердения в растворы следует добавлять ускорители. Хорошие результаты достигаются при добавке в песчано-цементный раствор ускорителей схватывания: фтористого натрия, силикат натрия (жидкое стекло) и др. в количестве 3-5 %. Процесс схватывания при добавке ускорителей начинается через 1—3 мин подачи раствора в породный массив, через 1 сут укрепленная порода начинает работать как монолит, обеспечивая несущую способность 8,5 МПа.

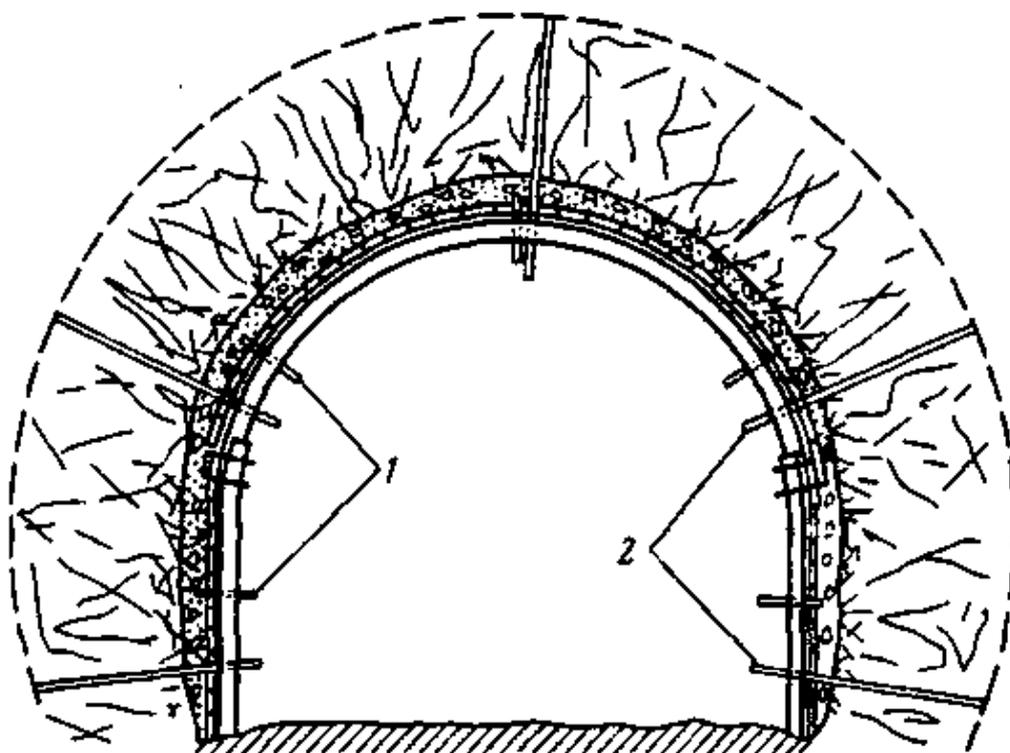


Рис. 3.8 Схема укрепления пород песчано-цементным раствором: 1 - кондукторы для заполнения пустот и крупных трещин; 2 - кондукторы для нагнетания раствора в средние и мелкие трещины.

Ускорители схватывания также снижают расход раствора до 15 %. С этой же целью при рамных крепях рекомендуется перед производством работ по укреплению нанесение на затяжки набрызгбетона слоем 2—3 см.

При развитой системе трещин и широком диапазоне величин их раскрытия укрепление пород следует производить в два этапа.

Первый этап — с помощью кондукторов 1 (рис. 3.8) производится заполнение пустот и крупных трещин песчано-цементным раствором.

Второй этап — с помощью кондукторов 2 песчано-цементный раствор состава 1:1 — 2:1 или цементный раствор подается в породный массив под давлением до 15 МПа, через 7-10 сут после работ первого этапа для заполнения средних и мелких трещин. Через 5—6 сут после окончания работ второго этапа фактическая несущая, способность укрепленного

породного массива достигает  $(26-28) 10^3 \text{ кН/м}^2$ .

Этот способ охраны требует специального оборудования и большого объема дополнительных работ, главным образом, по подготовке тампонажных скважин. Все это обуславливает высокие дополнительные затраты труда и средств.

Поэтому при решении вопроса применения способа укрепления пород нагнетанием вяжущих растворов необходимо тщательное обоснование его целесообразности. Это, в свою очередь требует достоверности исходных данных, чем на данном этапе мы не располагаем. В связи с изложенным, ограниченный объем исследований в области укрепления пород, а также их преобладающий практицизм не позволяют рекомендовать этот способ охраны для широкого использования.

**Предварительный распор крепи** заключается в создании в крепи дополнительного радиального (или близкого к нему) распора (рис. 3.9), за счет чего начальный отпор крепи увеличивается. При этом крепь, "вдавливаясь" в породные обнажения контура выработки, обеспечивает более полный контакт с породой по периметру выработки.

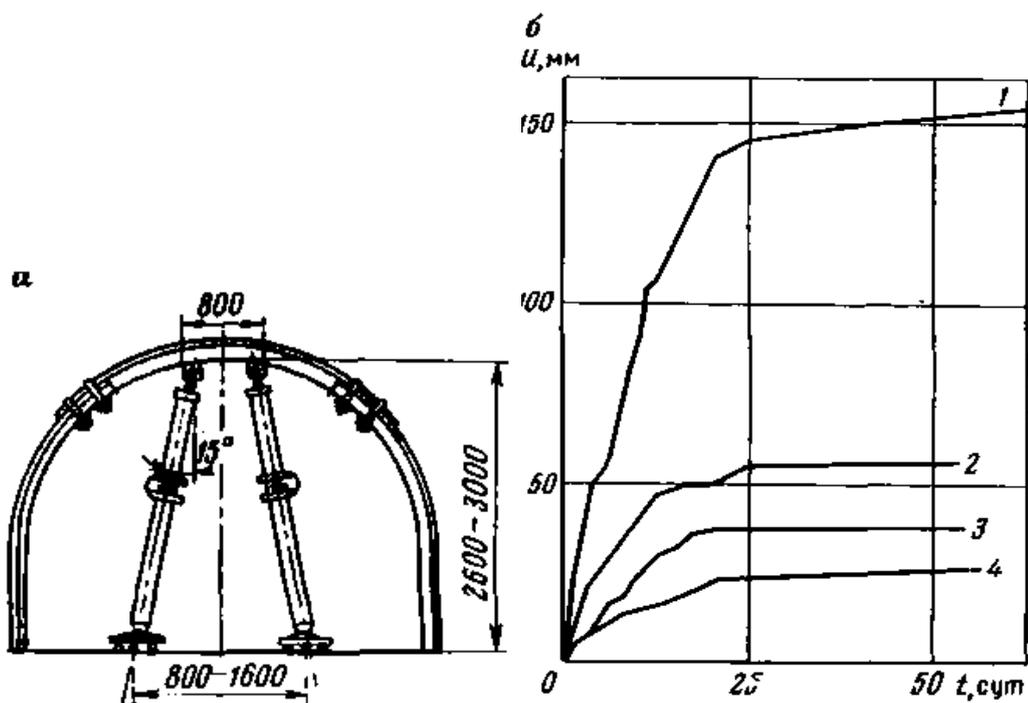


Рис. 3.9. Увеличение начального отпора крепи: а - схема усиления; б - изменение смещений контура выработки: 1 - без усиления; 2, 3, 4 — при усилении крепи с созданием начального отпора соответственно 120, 180 и 240 кПа.

Кроме того, при отпоре крепи  $180-240 \text{ кН/м}^2$  обеспечивается смещение пород без значительного нарушения ее естественной сплошности.

Подобное решение может быть реализовано при металлических рамных креплениях, в том числе и при последующем жестком режиме работы их. Усиление может производиться с помощью гидравлических стоек (рис. 3.8, а), которые одним концом устанавливаются под кронштейн, а

другим — на металлические подкладки, уложенные на почву выработки. Изменением числа гидростоек, устанавливаемых на одну раму, отпор арочной крепи может быть изменен примерно от 60 до 240 кН/м<sup>2</sup>. По результатам исследований (рис. 3.8, б), смещения пород за счет увеличения начального отпора крепи снижаются в 3 раза и более. При этом размеры зон проявления временного опорного давления уменьшаются в 1,7-1,9 раза.

При реализации способа улучшение условий работы крепи обеспечивается за счет смятия пород и, в определенной мере, их уплотнения, что может быть достигнуто при относительно слабых породах или достаточно высокой степени их деформации при ведении проходческих работ.

Использование способа эффективно в период производства работ по укреплению пород нагнетанием вяжущего вещества, в пределах участков возможного вывалообразования. Полезным будет его применение и для усиления крепи на участках выработки, смежных с участком производства ремонта.

### **Разгрузка породного массива**

Эта группа способов охраны направлена на снижение действующих напряжений. Снижение напряженного состояния породного массива, вмещающего выработку или их систему, способствует повышению устойчивости породных обнажений,

В действительности каждый из способов этой группы имеет более сложную характеристику, определяющую не только общее снижение величины действующих напряжений но и положительное влияние на другие показатели: уменьшение степени нарушенности породных обнажений проектного сечения выработки (проведение в два этапа); снижение величины остаточных смещений пород, воспринимаемых постоянной крепью, и обеспечение их равномерности по периметру выработки (технологическая податливость), сохранение проектных размеров выработки в течение срока ее службы (увеличение начального сечения); предупреждение пучения пород почвы и сокращение времени действия первичного горного давления (наиболее неблагоприятного условия для работы крепи) за счет искусственного управления процессом развития зоны неупругих деформаций (взрывощелевая разгрузка).

**Способ проведения пластовых выработок широким ходом** используют для равномерности смещений пород без разрыва сплошности. Величина смещений может регулироваться закладкой образуемых раскосок породой, получаемой при подрывке кровли и почвы выработки. Прогнозируемое смещение пород кровли при двухсторонней раскоске —  $0,4h_{пл}$  ( $h_{пл}$  — мощность пласта), смещения боков выработки практически отсутствуют, их величина (по данным инструментальных наблюдений) не превышает 3-5 % от смещений пород кровли, а пучение пород почвы

снижается в 2—2,5 раза. Эти результаты достигаются при длине каждой раскоски 6 м и более (с учетом косовичного ходка, размером 1,5 м) и качественной закладке не менее 80 % их ширины.

Дополнительные затраты, связанные с увеличением выемки горной массы работами по креплению косовичных ходков и закладкой, в значительной степени компенсируются попутной добычей угля и уменьшением объема, при  $h_{nl} > 0,7$  м полным, прекращением выдачи породной массы из выработки. Анализ затрат на проведение и последующее поддержание выработок, проходимых широким ходом, позволяет рекомендовать для предварительной оценки целесообразности применения рассматриваемого способа следующие показатели, кроме вышеуказанных: скорость проведения выработки снижается на 10 %; стоимость проведения возрастает на 8 %, трудоемкость — на 20 %; затраты, связанные с поддержанием, снижаются на 60 %. Приведенные данные позволяют в общем виде оценить целесообразность применения способа, однако следует учитывать, что эти данные характеризуют условие:  $0,5 \leq h_{nl} \leq 0,8$  м.

В связи с сокращением отводов земной поверхности под отвалы породы и требованием оставления ее в шахте, способ проведения выработок широким ходом получит широкое распространение.

**Способ проведения |выработки увеличенным сечением** применяют для сохранения проектных размеров выработки после завершения процесса смещений породных обнажений. Способ не предусматривает борьбу с пучением и возможен только при податливой постоянной крепи.

Необходимое увеличение начальных размеров выработки в проходке  $\Delta S$  по отношению к проектным при образовании зоны неупругих деформаций радиусом  $R$  может быть оценено по зависимости:

$$\Delta S = \pi R^2 (K_p - 1) - \pi r^2 (K_p - 1), \quad (3.17)$$

где  $r$  - проектный полупролет выработки в черне, м;  $K_p$  - коэффициент разрыхления пород в пределах зоны неупругих деформаций, зависящий от коэффициента крепости  $f$  окружающих пород, приведен ниже:

$f$	...	<4;	4-6;	>6.
$K_p$	...	1,2;	1,15;	1,1.

Обеспечивая сохранение проектных размеров выработки, способ не исключает ремонтные работы, связанные с возможной деформацией крепи, которая может быть вызвана неравномерностью смещений пород по периметру выработки. Затраты на эти ремонтные работы с известной степенью условности, связанной с неполной достоверностью отчетных данных, можно принимать равными 20 % от затрат на крепление выработок. Говоря о неполной достоверности отчетных данных по ремонту выработок, мы имеем в виду обычное отнесение к ним затрат на работы, не имеющие

отношения к поддержанию выработок. Существующая практика отнесения всех unplanned расходов к затратам на поддержание выработок искажает фактические данные и затрудняет технико-экономическое обоснование принимаемых решений. При таком положении практически любое решение может быть экономически обосновано. В этой связи обобщение фактических данных по стоимости и трудозатратам на поддержание выработок имеет исключительно важное значение.

**Технологическая податливость крепи.** Сущность способа заключается в выборе места (при проведении выработки малой протяженности или длительных перерывах в проходческих работах — времени) возведения постоянной (обычно жесткой) крепи относительно проходческого забоя.

Цель способа - вывести постоянную крепь из зоны интенсивных и неравномерных смещений пород, характерных для начальной стадии образования зоны неупругих деформаций, т.е. в условиях первичного горного давления. Таким образом, результативность способа технологической податливости заключается в создании благоприятных условий работы постоянной крепи.

Применение способа способствует снижению затрат на поддержание в 1,5-2 раза. Данные обследований выработок, закрепленных различными конструкциями крепи (в том числе и по режиму работы), характеризуют непосредственную зависимость ее деформационного состояния от места возведения относительно проходческого забоя (рис. 3.10, а). Инструментальные наблюдения за характером развития горного давления и его величиной (рис. 3.10, б) при металлобетонной крепи показывают возможность при этом способе использовать облегченные крепи.

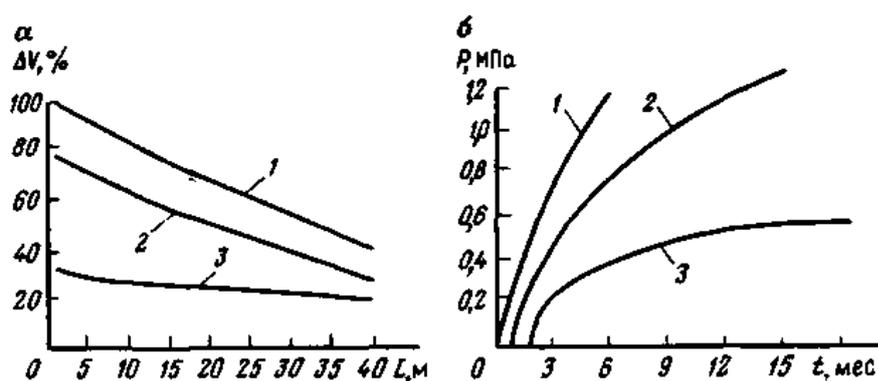


Рис. 3.10. Характер влияния места возведения постоянной крепи относительно проходческого забоя: а — количество деформированной крепи  $\Delta V$  в зависимости от места возведения  $L$  (%): 1 — металлобетонной; 2 - бетонной; 3 - податливой крепи; б - характер развития горного давления на крепь  $P$  во времени  $t$  при металлобетонной крепи, возводимой: 1 в непосредственной близости от забоя; 2 - с отставанием на 30 м с использованием в качестве временной крепи металлических элементов постоянной; 3 - с отставанием на 40 м и с использованием в качестве временной крепи податливых металлических арок.

При возведении крепи в непосредственной близости от проходческого забоя наблюдалось интенсивное развитие нагрузки на крепь (кривая 1), приведшее к полной деформации крепи. При возведении крепи с отставанием от проходческого забоя на 30 м и использовании в качестве временной крепи металлических элементов постоянной, наблюдалось менее интенсивное развитие нагрузок на крепь (кривая 2), но в конечном счете также приведшее к ее полной деформации.

Приведенные результаты наблюдений характеризуют нецелесообразность применения в качестве временной крепи несущих элементов постоянной, т.к. это отрицательно влияет на последующее состояние крепи. Использование элементов постоянной крепи в качестве временной объясняют стремлением снизить начальные затраты. Но при этом обычно не учитывается существенное ухудшение условий работы постоянной крепи из-за неравномерности нагрузок, несовместимости работоспособности отдельных несущих элементов. Исключением может быть металлическая крепь ограниченной податливости, которая после перехода в жесткий режим работы входит составной частью в металобетонную крепь. При отставании постоянной крепи от проходческого забоя на 40 м и применении в качестве временной крепи ограниченно податливых металлических арок, нагрузка на крепь развивалась плавно (кривая 3) и в конечном счете стабилизировалась.

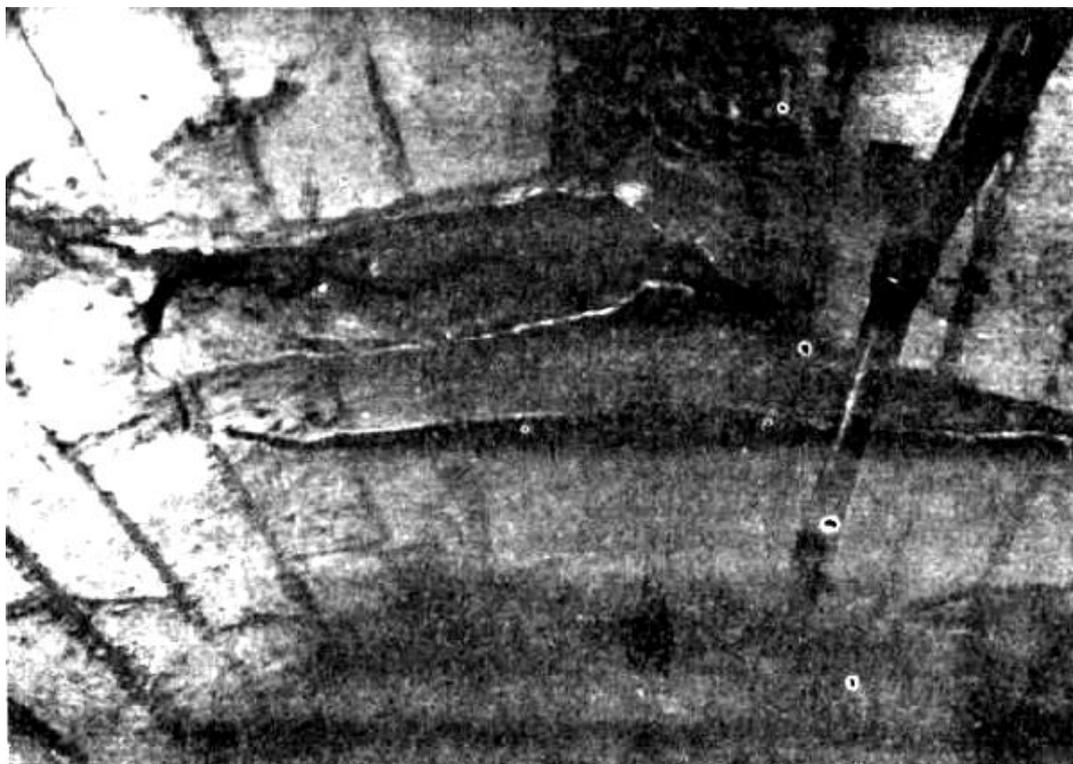


Рис. 3.11 Состояние бетонной крепи, возводимой на расстоянии 5 м от забоя

Близкие к вышеизложенным результаты были получены и при оценке состояния других видов крепи (рис. 3.11). Во всех случаях применения технологической податливости (при соблюдении рекомендуемых

параметров) отмечалось снижение конечной нагрузки на крепь в 2-2,4 раза (при длительном — более 5 лет — сроке службы выработки), а смещения, воспринимаемые постоянной крепью, уменьшились в 3—4 раза.

Параметрами способа технологической податливости крепи в зависимости от характеристики выработки и проходческих работ являются расстояние места возведения постоянной крепи от проходческого забоя  $L$  и время возведения постоянной крепи относительно времени выполнения проходческих работ  $T$ . Значения указанных параметров при проведении выработки с нормативной скоростью могут приниматься по следующим данным:

$\sigma_{сж}$ , МПа	...	<40	40-60	>60
$L$ , м	...	35	40	50
$T$ , мес	...	1,5	2,0	2,5

Способ технологической податливости крепи за счет увеличения объема применения временной крепи требует увеличения начальных затрат средств на 10 % (слабые породы) и 8 % (крепкие породы); труда — на 13 % (слабые породы) и 8 % (крепкие породы). Ограничивающим условием применения способа является пучение пород почвы выработки. Поэтому его применение целесообразно в комбинировании со способами охраны, предупреждающими пучение (например, взрывоцелевой разгрузкой). Это тем более целесообразно, что производство поддирки для нормализации работы транспорта и режима вентиляции обычно не способствует улучшению условий работы крепи.

**Проведение выработки в два этапа.** Для предупреждения повышенных деформаций контура проектного сечения выработки, вызываемых проходческими работами и последующим смещением пород, рекомендуется проведение выработки в два этапа.

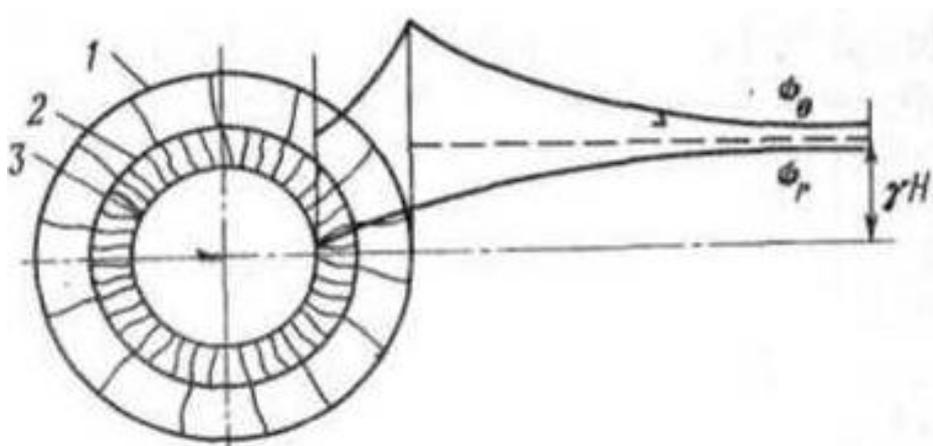


Рис. 3.12. Схема проведения выработки в два этапа: 1 - зона неупругих деформаций; 2 - проектный контур выработки; 3 - передовая выработка

При этом первоначально проводят передовую выработку (I этап), после образования зоны неупругих деформаций заданных размеров передовую выработку расширяют до проектных размеров и возводят

постоянную крепь (II этап).

Таким образом, сущность способа (рис. 3.12) заключается в образовании зоны неупругих деформаций 1 до обнажения проектного контура выработки 2.

С этой целью проводят передовую выработку 3 площадью поперечного сечения  $S_n$ , уменьшенным по отношению к проектному сечению  $S$  (первый этап работ). Передовую выработку поддерживают с помощью податливой крепи. Размеры передовой выработки выбирают с учетом сохранения контура проектного сечения в ненарушенном состоянии и действия на нем наименьших касательных (разрушающих) напряжений  $T_{min}$ . Касательные напряжения равны полуразности нормальных  $\sigma\theta$  и радиальных  $\sigma_r$  напряжений. В начальный момент проведения выработки нормальные напряжения характеризуются суммой напряжений, вызванных ведением горных работ (технологические напряжения) и весом вышележащих пород (геомеханические напряжения), оцениваемых общепринятым выражением  $K_\gamma H$ , или  $\lambda K_\gamma H$  ( $K$  - коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки;  $\lambda$  — коэффициент бокового распора).

Радиальные напряжения характеризуются отпором  $q_{кр}$ , создаваемым на породном контуре выработки крепью, а по мере удаления от породного контура в глубь массива суммарным отпором крепи  $q_{кр}$  и толщии пород  $q_n$ . На породном обнажении контура выработки с полным основанием, учитывая технологическую нарушенность его, можно рассматривать породы, как находящиеся в условиях одноосного напряженного состояния. По мере удаления от контура в глубь массива породы переходят в условия двухосного и далее трехосного напряженного состояния. Несущая способность породы (прочностная характеристика) возрастает по мере перехода от одноосного к трехосному напряженному состоянию.

В начальный момент после рывки породы на контуре выработки действуют наибольшие нормальные напряжения при действии (после установки крепи) относительно малых радиальных напряжениях, т.е. действующие касательные напряжения  $\tau_\theta$  стремятся к наибольшему значению и обычно превышают допустимые касательные напряжения  $\tau$ , которые могут восприниматься породой без опасных деформаций. При  $\tau_\theta > \tau$  наблюдается деформация пород, наибольшие нормальные напряжения перемещаются в глубь массива.

На этих положениях основан принцип способа проведения выработки в два этапа. На первом этапе после проведения передовой выработки основные смещения пород в пределах проектного контура проходят под защитой породной оболочки 3-2 (рис. 3.9) при действии  $\sigma_r$ , равной  $(q_{кр} + q_n)$ , что снижает величину  $\tau_\theta$ . Находясь в условиях, близких к двухосному напряженному состоянию, эти породы воспринимают действие разрушающих касательных напряжений с меньшей степенью деформации. При достижении зоной неупругих деформаций размеров, при которых на контуре 1 действующие напряжения с учетом отпора постоянной крепи не

превысят допустимых, производят расширение передовой выработки до проектных размеров и возведение постоянной крепи (работы второго этапа).

При правильно выбранных размерах передовой выработки основные деформации пород происходят в пределах контуров 3-2. При расширении деформированные породы удаляются. В результате породный контур проектного сечения сохраняется в менее нарушенном состоянии, имеет более ровную поверхность, чем при обычном способе проведения, что, с учетом уже образовавшейся зоны неупругих деформаций, повышает его устойчивость в 2—2,5 раза. Важным фактором является и равномерность нагружения постоянной крепи, что реально позволяет применять при этом способе охраны облегченные крепи. Однако есть другие способы предупреждения пучения, требующие меньших начальных затрат, поэтому основное значение способа проведения выработок в два этапа - повышение устойчивости породных обнажений в боках и кровле выработок.

Обязательным условием успешного применения способа является совмещенность вертикальных осей поперечного сечения передовой и проектных выработок и равномерность породной оболочки между контурами 3-2 (см. рис. 3.12).

Расширение передовой выработки до проектных размеров может производиться и с применением буровзрывных работ. При этом, учитывая деформационное состояние пород, расход ВВ, затраты труда и средств не превышают 20 % от необходимых для отделения такого же объема пород от массива при обычном способе проведения выработки. Благодаря этому, ведение взрывных работ не оказывает отрицательного влияния на устойчивость породного контура проектной выработки. Вполне удовлетворительные результаты достигаются при расширении отбойными молотками.

Параметрами способа является отношение площади поперечного сечения передовой выработки ( $S_n$ ) к проектной ( $S$ ) и расстояние между забоями передовой выработки и местом расширения  $L$  или время  $T$  выполнения работ второго этапа относительно работ первого этапа. При проведении выработок малой протяженности или длительных перерывах (более 20 дней) в проходческих работах вместо параметра  $L$  параметр  $T$  более эффективен с учетом последующего эксплуатационного состояния выработки.

Параметрами способа является отношение площади поперечного сечения передовой выработки ( $S_n$ ) к проектной ( $S$ ) и расстояние между забоями передовой выработки и местом расширения  $L$  или время  $T$  выполнения работ второго этапа относительно работ первого этапа. При проведении выработок малой протяженности или длительных перерывах (более 20 дней) в проходческих работах вместо параметра  $L$  параметр  $T$  более эффективен с учетом последующего эксплуатационного состояния выработки.

Для практического использования рекомендуются следующие

значения параметров способа (табл. 3.5), основанные на результатах шахтных исследований.

Для соблюдения параметра  $S_n/S$  поперечные размеры передовой выработки (полупролет и высота) должны быть в зависимости от прочности пород на 0,3-0,9 м меньше проектных (табл. 3.6).

Таблица 3.5

Рекомендованные значения параметров способа проходки выработки в два этапа

Прочность пород на сжатие, МПа	$S_n/S$	$L$ , м	$T$ , мес
<40	0,5	40	1,5
41-60	0,6	50	2
> 60	0,7	60	3

Таблица 3.6

Значение поперечных размеров передовой выработки

Предел прочности пород на сжатие, МПа	Уменьшение размеров передовой выработки (м) относительно проектных, при проектной площади поперечного сечения, м <sup>2</sup>				
	≤10	10,1-14	14,1-18	18,1-22	<22
≤40	0,5	0,6	0,7	0,7	0,9
40-60	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7
>60	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5

Трудоемкость работ по отдельным процессам проходческого цикла практически не зависит от формы поперечного сечения выработки и распределяется следующим образом: проведение передовой выработки 40 %; расширение до проектных размеров - 20 %, возведение постоянной крепи 40 %. Отклонения от приведенных показателей независимо от способа-проведения выработки, ее размеров и вида постоянной крепи не превышают 5 %.

Применение способа требует дополнительных начальных затрат, которые зависят от вида постоянной крепи. При рамной крепи они изменяются от 8 до 20 % (средств) и 6-16 % (труда), при монолитной — соответственно 6-15 % и 6-14 %, При оценке дополнительных затрат не учитывается возможность применения облегченных крепей, что может обеспечить их снижение. Нормативная скорость проведения выработки  $v$  (м/мес);

$$v = \frac{v_n v_p}{v_p - v_n},$$

где  $v_p$  - скорость расширения выработки, равная при расширении комбайном 200 м/мес; с применением буровзрывных работ - 150 м/мес; с применением отбойных молотков - 120 м/мес;

$v_n$  — скорость проведения передовой выработки, м/мес.

Ограничивающим фактором является скорость возведения постоянной крепи; по монолитной (например, бетонной) крепи фактические данные

составляют 0,65—0,7 от выше приведенных.

Способ требует строгого соблюдения параметров, установленных для конкретных условий. Невыполнение этого требования приводит к снижению последующей устойчивости породных обнажений.

При соблюдении требуемых параметров наибольшие смещения пород проектного контура выработки составляли в породах  $\sigma_{сж} > 60$  МПа 8 мм;  $\sigma_{сж} = 50$  МПа — 11,5 мм;  $\sigma_{сж} < 40$  МПа — 17,5 мм и полностью прекращались через 3—6 мес. Дополнительные смещения пород, вызванные работами второго этапа, не превышают 4,5—8 мм в проектной выработке и 9-16 мм в передовой. При этом они отмечаются на расстоянии 5-6 м впереди забоя по расширению (передовая выработка) и 3-4 м позади забоя по расширению (проектная выработка).

Условием, ограничивающим целесообразность применения способа проведения в два этапа, является площадь поперечного сечения проектной выработки в свету. Это связано с возможностью размещения проходческого оборудования в передовой выработке. В зависимости от величины отношения  $S_n/S$ , равного 0,5-0,7, площадь поперечного сечения проектной выработки (в свету) должна быть не менее: 0,5-9,6 м<sup>2</sup>; 0,6-8,0 м<sup>2</sup>; 0,7-6,9 м<sup>2</sup>. При несоблюдении этого условия трудоемкость работ возрастает в 1,8-2 раза, а начальные дополнительные затраты - в 1,3-1,7 раза. Способ проведения в два этапа не предусматривает предупреждение (или снижение) пучения пород почвы, хотя при выполнении работ второго этапа породы почвы частично удаляются, что в целом снижает величину пучения на 10-25 %. Однако способ к индивидуальному применению не рекомендуется. Это объясняется тем, что поднятие породы почвы вызывает нарушение крепи и уже восстановившегося равновесия системы "крепь — порода", наблюдается интенсивное развитие процесса смещений пород и их деформации.

**Взрывоцелевая разгрузка породного массива.** Сущность способа охраны (рис. 3.13) заключается в искусственном образовании вокруг выработки 1 в законтурном породном массиве податливых полостей 2, образуемых взрыванием серии шпуров 3 одновременно (обычно в предпоследней серии замедления) с забойными шпурами при проведении выработки с применением БВР. При проведении выработок с применением проходческих комбайнов, бурение и взрывание разгрузочных шпуров производится с отставанием от забоя на 10—15 м по специально составленному паспорту БВР. Способ снижает действующие на контуре выработки напряжения, ускоряет процесс образования зоны неупругих деформаций, обеспечивая практическую возможность управления этим процессом.

Способ был рекомендован к промышленному применению для повышения устойчивости породных обнажений кровли и боков выработки. При этом отмечалась вероятность положительного воздействия способа на

устойчивость пород почвы.

Непрерывно возрастающий объем выработок, деформированных вследствие смещений пород почвы, вызвал необходимость дополнительных исследований способа разгрузки и оценки его параметров как основного способа защиты выработки от пучения пород. Параметры способа включают в себя геомеханические (длина разгрузочных шпуров и угол наклона их к горизонту) и параметры взрывных работ (масса заряда ВВ в разгрузочных шпурах и расстояние между ними).

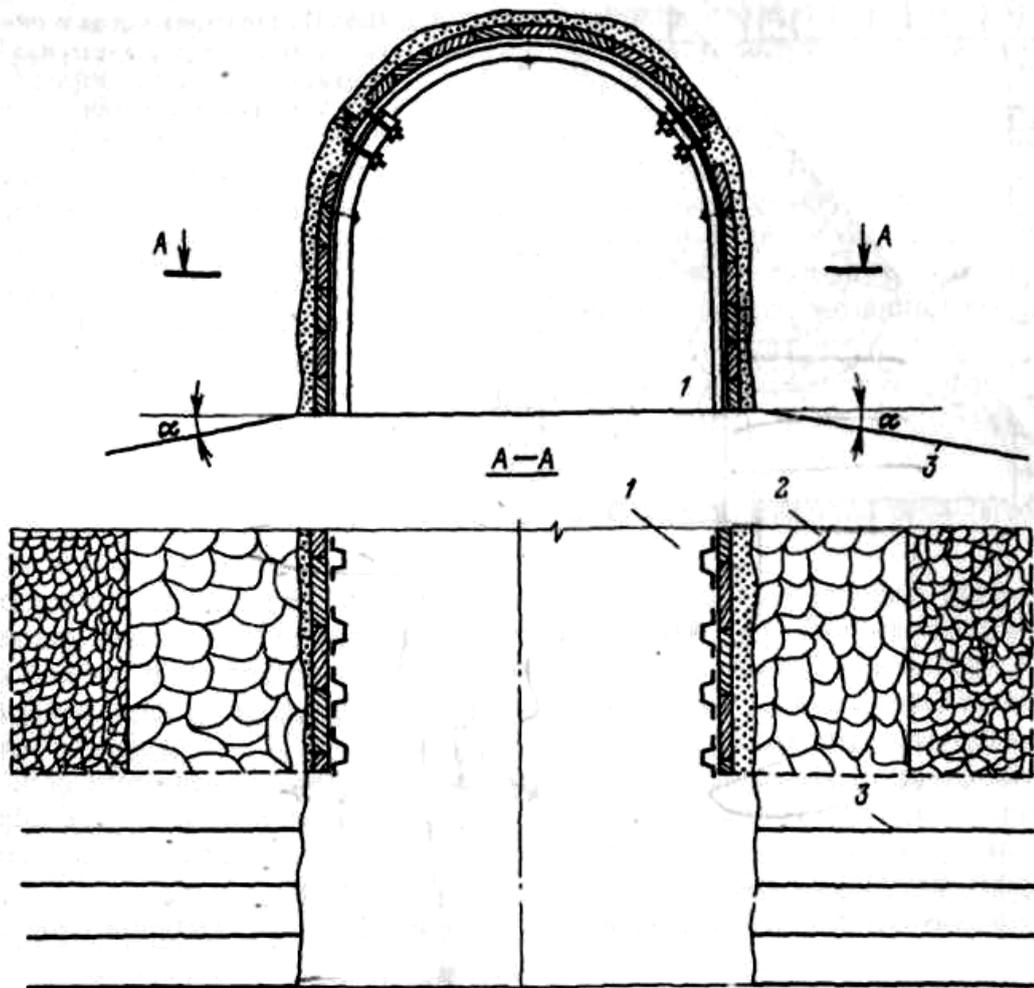


Рис. 3.13. Схема способа охраны выработок взрывоцелевой разгрузкой породного массива: 1 - выработка; 2 - разгруженная зона; 3 - разгрузочные шпуры

При определении геомеханических параметров решалась аналитическая задача о взаимодействии искусственно созданной разгруженной зоны по величине, равной длине разгрузочных шпуров, с нетронутым массивом, который представлен однородной изотропной средой с гидростатическим полем напряжений (рис. 3.14). Граничные условия были следующие: массив с искусственно созданной разгруженной зоной определенных размеров должен быть в равновесии, а смещения контура почвы в результате образования разгруженной зоны не должны превышать 0,2 м (эта величина была принята в качестве критерия, так как при данных смещениях пород почвы работы по подрывке, независимо от

применяемого вида транспорта, не производится). При указанных смещениях пород почвы влияния на вентиляционный режим выработки не наблюдается.

В результате выполненных исследований радиус разгруженной зоны:

$$R_3 = R_B \exp \frac{1}{\sigma_{сж}^1} \left[ \gamma H - \frac{2A\gamma H + \delta_{сж}}{2(1+A)} \right], \quad (3.18)$$

где  $R_a$  - радиус выработки, м;

$R_3$  - радиус зоны неупругих деформаций, м;

$\gamma H$  - характеристика напряженного состояния массива, Па;

$\sigma_{сж}$  - прочность пород на одноосное сжатие, Па;

$\sigma_{сж}^1$  - остаточная прочность пород в разгруженной зоне, Па;

$A = \ln \varphi (\ln \sin \varphi)$  - условная характеристика среды, где  $\varphi$  - угол внутреннего трения пород.

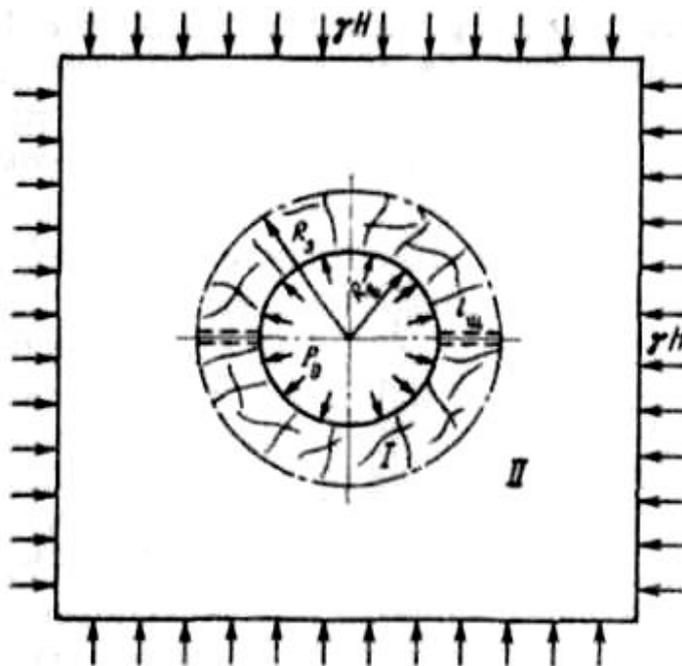


Рис. 3.14. Расчетная схема к определению геомеханических параметров способа взрывощелевой разгрузки: *I* - зона разгруженных пород; *II* - нетронутый массив;  $R_a$  - радиус выработки в черне;  $R_3$  - радиус зоны разгруженных пород;  $P_0$  - отпор крепи;  $i_{ut}$  - длина разгрузочных шпуров

Радиус разгруженной зоны из условия, что смещения не превышают 0,2 м, определится по следующей зависимости:

$$R_3 = R_B \exp \left\{ \frac{\left[ \frac{2U_{доп}}{R_B (K_p - 1)} - 1 \right]^A - 1}{2A} \right\}, \quad (3.19)$$

где  $U_{доп}$  - допустимое смещение почвы выработок, равное 0,2 м,

$K_p$  - коэффициент разрыхления пород.

Оптимальная длина разгрузочных шпуров, удовлетворяющая условиям (3.18-3.19) с учетом, что  $R_3=R_b + l_{ш}$  была получена методом статистической обработки с использованием ЭВМ,

При этом радиус выработки  $R_b$  изменялся от 1,5 до 3 м, параметр устойчивости  $\gamma H/\sigma_{сж} = 0,5 \div 0,8$ , угол внутреннего трения от  $25^\circ$  до  $35^\circ$ . Коэффициент разрыхления пород  $K_p$  в почве составлял 1,08-1,1, Значения коэффициента разрыхления были получены по результатам выполненных инструментальных наблюдений за смещениями пород почвы, а остаточная прочность пород в разгруженной зоне определялась по значению коэффициента разрыхления:

$$K_p = 0.985 + \frac{0.018\sigma_{сж}}{\sigma_{сж}^1} \quad (3.20)$$

Длина разгрузочных шпуров  $l_{ш}$  при горизонтальном расположении их в боках выработки:

$$l_{ш} = (0,15 + \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}})^{2A} B, \quad (3.21)$$

где  $B$  — ширина выработки в черне, м.

Значение  $l_{ш}$  получено для условия расположения выработки в однородном изотропном массиве. Однако в реальных условиях выработки находятся в слоистом (неоднородном) массиве. Поэтому для практического применения необходимо пользоваться приведенной прочностью пород. Приведенная прочность ( $\sigma_{пр}$ ) позволяет учитывать влияние расположения слоев пород различной мощности и прочности относительно контура выработки на ее устойчивость.

Приведенная прочность

$$\sigma_{пр} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \frac{S_i}{x_i} / \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{x_i}, \quad (3.22)$$

где  $\sigma_i$  - предел прочности пород на одноосное сжатие  $i$ -го слоя;  $S_i/x_i$  - приведенная площадь  $i$ -го слоя, которая определяется по формуле:

$$\frac{S_i}{x_i} = m_i \left( \frac{y_0}{x_1} - \frac{y_0}{x_0} - \frac{l}{2x_0} \right), \quad (3.23)$$

где  $m_i$  - мощность  $i$ -го слоя;  $x_0$  - расстояние от центра выработки до центра  $i$ -го слоя; .

$y_0 = x_0 = 1,5 B$  (ширина выработки в черне) - размер области влияния выработки на массив в боках и почве;

$l$  - длина пролета, наиболее удаленного от выработки расслоения пород в почве.

При расчете параметров следует также учитывать снижение прочности пород при длительном их нагружении и увлажнении, что может

быть оценено коэффициентом стойкости пород.

С учетом перечисленных факторов зависимость (3.21) для определения длины разгрузочных шпуров будет иметь вид:

$$l_{ш} = (0,15 + \frac{\gamma H}{m \sigma_{пр}})^{2A} B, \quad (3.24)$$

Угол наклона разгрузочных шпуров к горизонту выбирается из условия, чтобы разгрузка в почве выработки охватывала зону интенсивного расслоения пород (зона, в пределах которой фиксируется более 50 % смещений почвы), зависящей от мощности пород, непосредственно прилегающих к почве выработки.

С учетом наклона длина разгрузочных шпуров:

$$l_{ш} = \frac{(0,15 + \frac{\gamma H}{m \sigma_{пр}})^{2A} B}{\cos \alpha}, \quad (3.25)$$

Параметры взрывных работ способа (расстояние между разгрузочными шпурами, масса заряда ВВ в них) были определены на основании лабораторных и шахтных исследований действия камуфлетного взрыва.

Аппроксимацией экспериментальных данных получена зависимость размеров зоны дробления при камуфлетном взрыве от прочности пород на одноосное сжатие и энергии взрыва:

$$R_3 = (0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{Q} \quad (3.26)$$

где  $R_3$  — радиус зоны дробления, м;

$\sigma_{ем}$  - прочность пород на одноосное сжатие, МПа;

$E_b$  — энергия взрыва, кДж;  $Q$  — масса заряда ВВ, кг.

Полученная зависимость положена в основу расчета параметров взрывных работ. Расстояние между разгрузочными шпурами при взрыве одиночных зарядов определяется из условия соприкосновения зон дробления по зависимости:

$$l_0 = 2(0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{Q}, \quad (3.27)$$

где  $l_0$  — расстояние между разгрузочными шпурами, м.

При взрывании серии зарядов ВВ (двух, трех и более рядом расположенных зарядов) относительные размеры зоны дробления увеличиваются в 1,3— 1,4 раза.

Следовательно, при взрывании серии зарядов ВВ расстояние между разгрузочными шпурами будет иным и может быть определено по формуле:

$$l_0 = 2a(0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{Q}, \quad (3.28)$$

где  $a$  безразмерный коэффициент, учитывающий число одновременно

взрывааемых зарядов ВВ. При взрывании двух зарядов  $a = 1,3$ , а при взрывании трех зарядов и более  $a = 1,4$ .

Масса заряда ВВ

$$Q = l_m K \Delta \pi d^2 / \Delta 4, \quad (3.29)$$

где  $l_m$  - длина разгрузочных шпуров, определяемая по формуле (3.25);

$d$  — диаметр патрона ВВ, м;

$A$  — плотность патронирования, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  — коэффициент заполнения шпура.

Исследования способа взрывощелевой разгрузки ка моделях из эквивалентных материалов показало, что применение способа уменьшает напряжения в почве выработки в среднем в 2,5—4 раза, способствует переносу максимальных напряжений в глубь массива и снижает величину пучения в 2,5-3 раза.

Применение способа позволяет полностью исключить пучение пород почвы или уменьшить его величину в 2,5-3 раза. Эта неоднозначность в оценке результатов применения способа взрывощелевой разгрузки характеризуется временем выполнения работ по охране относительно времени проходческих работ и степенью соответствия фактических параметров необходимым.

Область применения способа оценивается условием  $yH$

$$0.5 \leq \frac{yH}{m\sigma_{сж}} \leq 0,8 \quad (3.30)$$

Способ взрывощелевой разгрузки не рекомендуется к применению в обводненных с большим содержанием глинистых примесей породах. В этом случае возможность образования разгруженной зоны при применении способа резко снижается, а продолжительность эффективного действия способа составляет 3—4 месяца. В условиях, характеризуемых целесообразной областью применения, продолжительность действия способа практически не ограничена.

### Комбинированные способы охраны

Эти способы представляют собой сочетание различных (обычно двух) способов, которые могут представлять одно (например, проведение выработки в два этапа со взрывощелевой разгрузкой) или разные (например, взрывоукрепление пород) направления повышения устойчивости породных обнажений выработок. Использование комбинированных способов охраны целесообразно, если индивидуальное применение какого-либо способа не дает конечного результата по обеспечению эксплуатационного состояния выработки (их системы). Применение комбинированных способов может быть вызвано необходимостью управления процессом неизбежных смещений пород. Ограничение

применения комбинированных способов охраны обусловлено организационными сложностями и более высокими начальными дополнительными затратами по сравнению с применением одного способа охраны.

**Активная разгрузка и последующее укрепление пород.** Коммунарским горно-металлургическим институтом разработан и испытан способ охраны горных выработок активной разгрузкой, основанной на принципе взрывоцелевой разгрузки и последующим укреплением пород (АРГТУ).

Разработанный способ охраны предназначен для предотвращения пучения пород вследствие вмешательства в естественный деформационный процесс и направлен на устранение продольно-поперечного изгиба и последующего выдавливания пород в выработку.

Разгрузка пород в почве выработки осуществляется взрыванием в шпурах 1 зарядов ВВ, рассчитанных на образование зоны интенсивной трещиноватости. Это позволяет снять повышенные напряжения и обеспечивает проникновение скрепляющего раствора в образованные трещины (рис. 51). После выполнения указанных работ в почве выработки образуется защитная толща укрепленных пород, несущая способность которой достигает  $(2-6) \cdot 10^3$  Н на  $1 \text{ м}^2$  почвы выработки.

Работы по разгрузке следует производить одновременно с проходческим или с отставанием от забоя не более 10 м. Такое требование объясняется тем, что именно в начальный период проведения выработки отмечается интенсивное смещение пород с образованием зоны неупругих деформаций и необходимо уже в этот период препятствовать развитию пучения почвы.

Число шпуров для разгрузки определяется прочностью вмещающих пород и принимается: для крепких пород на  $1 \text{ м}^2$  площади почвы выработки - 1 шпур; для слабых и средней прочности породы - 0,8 шпура.

Глубина шпура  $l_{ш}$  определяется необходимой толщиной защитной толщи, которая должна выходить за контуры выработки. В этой связи боковые шпуры бурят под углом  $55-60^\circ$  к горизонтальной плоскости. Центральные шпуры имеют длину на 20 % больше толщи защитного слоя. Рекомендуемая схема расположения разгрузочных шпуров показана на рис. 51. Величина заряда ВВ определяется требуемой степенью рыхления пород в почве выработки и рекомендуется: при мощности защитной толщи 1,25 м - 1 патрон ВВ (Т-19) на шпур (300 г); при большей мощности - 2 патрона ВВ на шпур (600 г). После производства взрывных работ часть разрыхленной породы, которая выходит за пределы проектного контура почвы выработки, удаляют и приступают к производству работ по укреплению. Для этого бурят и оборудуют инъекционные скважины 2, в которые нагнетают скрепляющие растворы (обычно цементно-песчаный раствор). Число инъекционных скважин (см. рис. 51) принимают в пределах 75 % от числа

шпуров для образования зоны интенсивной трещиноватости. Работы по укреплению для исключения помех проходческим работам ведут на расстоянии 10 м и более от забоя выработки.

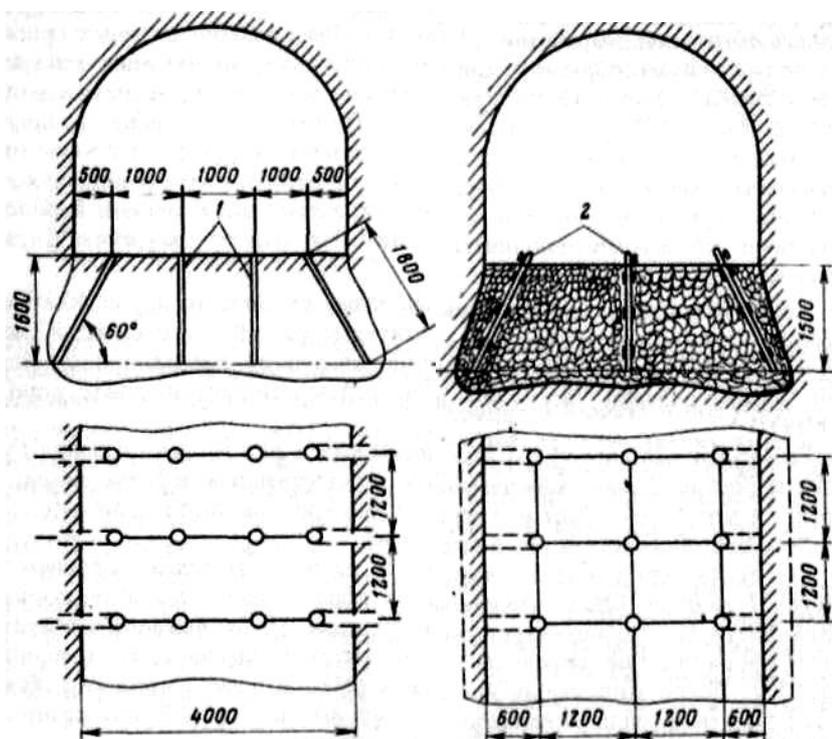


Рис. 3.15. Схема способа активной разгрузки в почве выработки (а) с последующим укреплением пород (б): 1 - разгрузочные шпуров; 2 - инъекционные скважины

Требуемая несущая способность слоя укрепленных пород  $q_y$  и толщина его  $h_y$  связаны зависимостью:

$$q_y = 2\sigma_{сж}^1 \frac{R^2 y}{B^2}, \quad (3.31)$$

где  $\sigma_{сж}$  - прочность на сжатие упрочненных пород, МПа;  
 $B$  - ширина выработки в черне, м.

Этот способ усложняет организацию работ, требует использования дополнительного оборудования. Трудомкость способа составляет 2 чел.-смен на 1 м выработки, т.е. достаточно высокая, что в определенной степени объясняется высокой долей ручного труда, достигающей 80 %. В этой связи его применение должно быть ограничено условиями невозможного применения взрывощелевой разгрузки.

Упрощенной разновидностью рассмотренного способа следует считать рыхление пород почвы с удалением излишнего объема взорванного породного массива. Оставшиеся рыхленные породы, частично уплотненные проходческим и стационарным оборудованием выработки, за счет сил трения, возникающих между ее кусками и возможного последующего уплотнения, воспринимают смещения пород почвы. Этот способ дает положительные результаты при ожидаемой величине пучения до 300 мм. Рыхление пород осуществляется взрыванием зарядов ВВ, помещенных в

короткие (0,75-1,0 м) шпуры, пробуренные в породах почвы с наклоном в сторону забоя под углом 25-30°. Масса заряда ВВ одного шпура 150-200 гр. Работы по рыхлению целесообразно вести одновременно с проходческими. Число шпуров следует принимать из расчета 1 шпур на 1,5 м<sup>2</sup> площади почвы.

**Взрывоукрепление** предусматривает одновременность выполнения работ по разгрузке породного массива и его укреплению.

Сущность этого способа заключается в бурении на участке необходимой охраны выработки шпуров, число и глубина которых определяется согласно рекомендациям по способу активной разгрузки. Шпуры заполняются ампулами с укрепляющим раствором и зарядами ВВ. При взрывании зарядов происходит рыхление приконтурного массива по длине шпура, разрушение оболочки ампул и проникновение укрепляющего раствора в образовавшиеся в породном массиве трещины.

Совмещение работ по разгрузке и укреплению упрощает их организацию и снижает затраты труда по сравнению с простым укреплением на 35-40%.

На принципе использования энергии взрыва основано предложение ДПИ по возведению бетонной крепи в сводчатой части выработки. Заданное количество ВВ (по данным эксперимента 1 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси) в виде стандартных патронов помещается на днище крепежной платформы с наклонными под заданным углом бортами, которая заполняется бетонной массой. Платформа подается к месту возведения крепи, при взрывании ВВ бетонная масса энергией взрыва подается как закрепляемую поверхность. Качественная укладка бетона достигается при высоте подачи до 2,5 м. Боковые поверхности выработки при этом способе не закрепляются, что является недостатком, ограничивающим область его целесообразного применения.

Способ укладки бетонной массы энергией взрыва по своей сущности является нетрадиционным, обеспечивает высокую степень механизации процесса постоянного крепления (до 90 %), ликвидирует необходимость во вспомогательных операциях по возведению и последующему удалению опалубки (на данном этапе в сводчатой части выработки).

**Крепль-монолит.** Способ охраны "крепль-монолит" заключается в разгрузке пород по периметру выработки взрыванием камуфлетных зарядов ВВ и последующего укрепления разрыхленной породы вяжущим раствором, т.е. по своей сущности он идентичен активной разгрузке.

Взрывание камуфлетных зарядов вокруг выработки производится за передвижной крепью-опалубкой, которая играет роль предохранительного щита при работе в забое выработки. В случае, если взрывание работы производится с отставанием от забоя, то передвижная опалубка предупреждает возможность дополнительных деформаций установленной крепи выработки. Под защитой передвижной опалубки бурят разгрузочные

шпуров. Омоноличивание зоны искусственной трещиноватости производится нагнетанием скрепляющего раствора с помощью тапонажного оборудования через иньекторы за крепь-опалубку. Раствор, попадая в трещины между блоками пород, заполняет их и работает после схватывания, в основном, на сдвиг. Это придает высокую водонепроницаемость образованной монолитной оболочке, а ее несущая способность может доходить до 30-50 МН/м<sup>2</sup>.

Стоимость крепления 1 м выработки площадью поперечного сечения 12-15 м<sup>2</sup> в свету по расчетам составляет 50-80 руб. по прямым нормируемым затратам.

Этому способу присущи недостатки способа активной разгрузки, кроме того, возникают большие сложности с отрывом крепи-опалубки

### **Проведение выработки в два этапа со взрывощелевой разгрузкой.**

В данном случае назначение взрывощелевой разгрузки - ускорить образование зоны неупругих деформаций заданных размеров и предупредить возможное пучение пород почвы выработки.

Размер зоны неупругих деформаций определяется требованиями повышения устойчивости выработки и задается параметрами взрывощелевой разгрузки. Благодаря созданию разгрузочной полости время образования зоны неупругих деформаций необходимых размеров сокращается и обычно не превышает 1-2 мес. Сохраняя результативность входящих способов охраны, комбинированный способ позволяет увеличить скорость проведения охраняемой выработки по сравнению с индивидуальным применением способа проведения выработки в два этапа, на 30-40 %.

С учетом совместимости применения двух способов охраны (рис.3.16) расчет параметров комбинированного способа рекомендуется производить по следующей методике.

Сечение передовой выработки выбирается из условия размещения в ней высокопроизводительного проходческого оборудования. При этом оно должно составлять не менее 50—70 % площади проектного сечения.

Длина разгрузочных шпуров

$$l_{ш} = R_B \left[ \left( \gamma H - \frac{2A\gamma H + \sigma_{сж}^1}{2(1+A)} + \frac{\sigma_{сж}^1}{2A} \right) \left( \frac{2A}{2AP_k + \sigma_{сж}^1} \right) \right]^{\frac{1}{2A}} - r, \quad (3.32)$$

где  $R_B$  — радиус выработки проектного сечения вчерне, м;

$r$  — радиус передовой выработки вчерне, м;

$H$  — глубина ведения горных работ, м;  $\gamma$  - удельный вес, МН/м<sup>3</sup>;

$A$  — безразмерный коэффициент, равный  $\sin \varphi / (1 - \sin \varphi)$ ,

$\varphi$  — угол внутреннего трения пород;

$\sigma_{сж}$  - прочность пород на одноосное сжатие, МПа;

$\sigma_{сж}^1$  - остаточная прочность пород,  $\sigma_{сж}^1 \sim (0,1-0,15) \sigma_{сж}$ ;

$P_k$  - отпор крепи в выработке проектного сечения, МПа.

Время, через которое необходимо производить расширение передовой выработки до проектных размеров

$$T = \frac{N}{B_1(n+1)} \frac{R_3^2}{r^2} \left[ (\gamma H - P_n) - (\gamma H + C) \frac{R_3^2}{r^2} \sin \varphi \right]^{-1} \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \quad (3.33)$$

где  $N$  - безразмерный коэффициент, равный  $\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi}$ ,

$R_3$  - радиус зоны неупругих деформаций, равный  $l_{ш} + r$ ;

$l_{ш}$  - длина разгрузочных шпуров, м;  $r$  - радиус передовой выработки вчерне, м;  $C$  - удельная сила сцепления пород, Н/м<sup>2</sup>;

$B_1$  - реологический параметр, зависящий от типа, структуры и свойства горных пород, ее влажности и температуры, равный  $(20,1-34,3) \cdot 10^5$  1/сут, МПа;

$n$  - безразмерный показатель интенсивности трещинообразования в зависимости от прочности пород, равный 1,01—1,05;

$P_n$  - суммарный отпор металлической податливой крепи в передовой выработки и пород в зоне неупругих деформаций:

$$P_n = (P_0 + \frac{\sigma_{с.ж}^1}{2A}) (\frac{R_3}{r})^{2A} - \frac{\sigma_{с.ж}^1}{2A} \quad (3.34)$$

где  $P_0$  - отпор металлической податливой крепи, устанавливаемой в передовой выработке, величина которого зависит от сечения передовой выработки и находится в пределах 0,01-0,03 МПа.

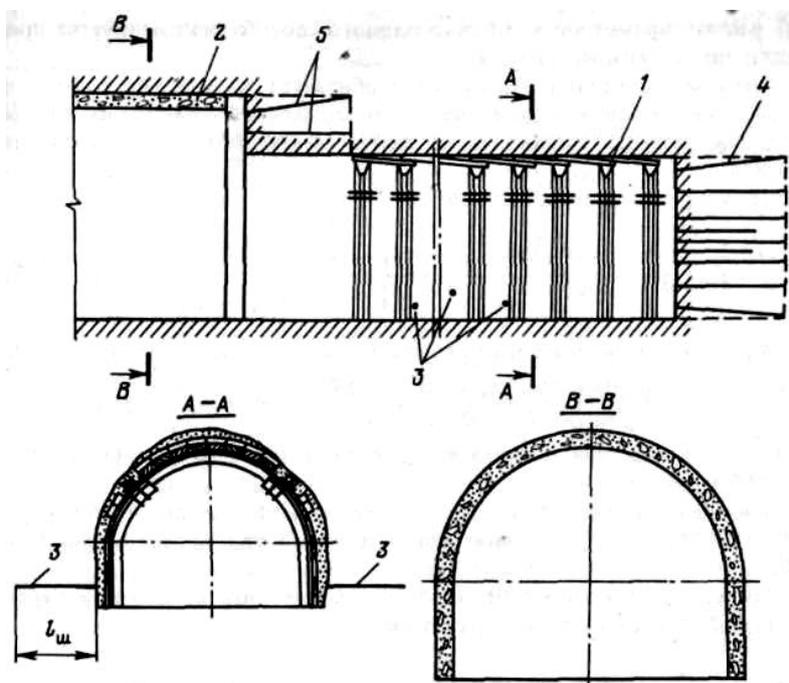


Рис. 3.16. Схема проведения выработки в два этапа со взрывощелевой разгрузкой: 1 - крепь передовой выработки; 2 - крепь выработки проектных размеров; 3 - разгрузочные шпуры; 4 - шпуры по забою; 5 - шпуры по расширению передовой выработки от уже закрепленной части выработки для возможности ее передвижки с целью повторного использования

К параметрам взрывных работ также относятся: расстояние между разгрузочными шпурами и масса заряда ВВ в них. Масса заряда ВВ в разгрузочных шпурах:

$$Q = l_{ш} \frac{\pi d^3}{4} K \Delta, \quad (3.35)$$

где  $l_{ш}$  - длина разгрузочных шпуров, м;  
 $\Delta$  - плотность патронирования, кг/м<sup>2</sup>;  
 $K$  - коэффициент заполнения шпуров, равный 0,15-0,4.

Расстояние между разгрузочными шпурами

$$l_0 = 2M (0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^3 \sqrt{Q}, \quad (3.37)$$

где  $M$  - безразмерный коэффициент, учитывающий число одновременно взрывааемых камуфлетных зарядов ВВ. При взрывании двух зарядов  $M=1,3$ , при взрывании трех и более зарядов  $M=1,9$ ;

$\sigma_{сж}$  - прочность пород на одноосное сжатие, МПа;  
 $E_0$  — энергия взрыва, кДж;  $Q$  - масса заряда ВВ, кг.

Применение комбинированного способа охраны позволяет заменить металлобетонные крепи в выработках околоствольных дворов на бетонные. Кроме того, в условиях выработок, пройденных по пласту, хорошие результаты были достигнуты при проведении выработок широким ходом с последующей установкой железобетонных тумб или возведением литых полос и т.п.

Однако следует иметь в виду, что комбинированные способы охраны относительно трудоемки и требуют больших начальных затрат. Поэтому их применение следует ограничивать условиями, когда индивидуальное применение того или иного способа охраны результатов не дает.

Дальнейшее совершенствование способов охраны, в том числе и комбинированных, должно идти не только по пути получения лучшего технического результата, но и снижения трудоемкости и начальных дополнительных затрат, необходимых при выполнении работ, связанных с применением способов охраны. Одним из возможных направлений в этом отношении является совмещенность работ по креплению и искусственному образованию зон неупругих деформаций заданных размеров.

В результате исследований предложен способ "крепь-охрана", направленный на реализацию вышеизложенного предложения.

**Способ поддержания выработок "крепь-охрана"** предназначен для повышения "устойчивости вмещающего массива и применения облегченных конструкции крепи в выработках, находящихся вне зоны непосредственного влияния очистных работ.

Идея способа заключается в совмещении разгрузки вмещающего выработку массива от повышенных напряжений с процессом крепления, что

позволяет использовать несущую способность породного массива и снизить затраты на проведение и поддержание горных выработок.

Сущность способа (рис. 53, а) заключается в образовании на заданном удалении от контура выработки зоны разрушенных пород, что достигается путем взрывного раскрепления трубчатых анкеров (рис. 53, б), устанавливаемых по периметру выработки на определенном расстоянии. При этом приконтурный целик пород, усиленный анкерами, будет выполнять роль крепи.

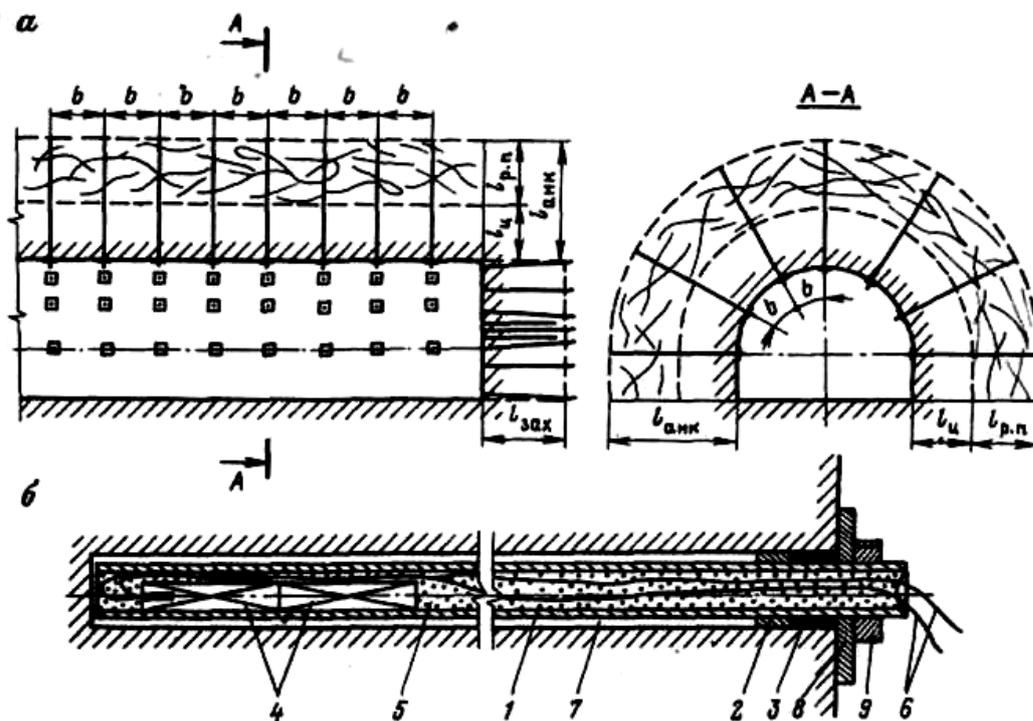


Рис. 3.17. Схема проведения выработки с применением способа поддержания выработок "крепь-охрана" (а) и конструкция заряда ВВ (б): 1 - трубчатый анкер; 2 — гайка стопора пакера; 3 — пакер; 4 - патроны ВВ; 5 — песчано-глинисгак забойка; 6 - провода электродетонаторов; 7 - шпур; 8 - опорная плита; 9 - натяжная гайка

Способ поддержания горных выработок "крепь-охрана" разработан на основании многолетнего положительного опыта использования взрывоцелевой разгрузки для повышения устойчивости почвы горных выработок, а также на основании лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов и теоретических исследований.

Параметры способа определены в результате решения плоской осесимметричной задачи методами теории предельного равновесия. Для определения оптимальных значений основных параметров способа в различных условиях разработана программа на ЭВМ. За оптимальные принимались параметры, обеспечивающие минимальные смещения контура выработки.

Расчетные параметры способа поддержания выработок "крепь-охрана" включают в себя: длину анкера, расстояние между анкерами и массу заряда взрывчатого вещества.

Длина анкера

$$l_{\text{анк}} = l_{\text{ц}} + l_{\text{р.п.}}, \quad (3.38)$$

где  $l_{\text{ц}}$  - размеры ненарушенного приконтурного целика;  
 $l_{\text{р.п.}}$  - размер зон разрушенных пород.

Эти величины

$$\begin{aligned} l_{\text{ц}} &= R_0 (r_k - 1) \\ l_{\text{р.п.}} &= R_0 (r_p - 1), \end{aligned} \quad (3.39)$$

где  $R_0$  — ширина выработки вчерне, м;  
 $r_k$  — безразмерный радиус границы между целиком и зоной разрушенных пород, м;  
 $r_p$  — безразмерный радиус границы между зоной разрушенных пород и ненарушенным массивом, м.

Значение параметра  $r_p$  можно определять по формуле:

$$r_p = r_k \left[ A_3 \left( \frac{2Br_k^2}{Ar_k^2 - A_5} \right) \right]^{\frac{1}{2B}} \quad (3.40)$$

где обозначаются

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{3}{4E} \left( \frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зан}}} - P_0 \right) \\ A_2 &= \frac{3}{4E} \left( \frac{2B\gamma H + \sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{B+1} \right) \\ A_3 &= \frac{2\gamma H - \sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}} + \sigma_{\text{сж}}^0}{2(B+1)} \\ A_4 &= B \frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зан}}} + BP_0 + \sigma_{\text{сж}}^0 \\ A_5 &= B \frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зан}}} - BP_0, \end{aligned} \quad (3.41)$$

где  $E$  - модуль Юнга, МПа;

$\sigma_{\text{сж}}$  - предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа;

$K_{\text{осл}}$  - коэффициент структурного ослабления массива;

$K_{\text{зан}}$  - коэффициент запаса прочности;

$P_0$  - отпор крепи, МПа;

$B$  - расстояние между анкерами, м;

$\sigma_{\text{сж}}^0$  — остаточная прочность пород, МПа;

$H$  — глубина заложения выработки.

Расчетная масса заряда ВВ в одном шпуре (анкере):

$$Q = l_{\text{анк}} \frac{\pi d_n^3}{4} K \rho, \quad (3.42)$$

Где  $d_n$  - диаметр патронов ВВ, м;  $\rho$  - плотность ВВ в патронах, кг/м<sup>3</sup>;  
К - коэффициент заполнения шпура ВВ, равный 0,15-0,4.

Расстояние между анкерами:

$$l_0 = 2\bar{a}(0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{\text{сж}} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{Q}, \quad (3.44)$$

где  $a$  - безразмерный коэффициент, равный 1,2-1,4, учитывающий количества и характеристику взрывания зарядов ВВ, взрывааемых за 1 цикл в сечении выработки.

$E_B$  - полная идеальная работа взрыва, кДж.

Для нахождения  $l_{\text{анк}}$ ,  $B$  и  $Q$  в зависимости от горно-геологических условий расположения выработки и типа применяемого ВВ разработана программа расчета параметров способа поддержания выработок "крепь-охрана" на языке ФОРТРАН-IV в ДОС ЕС ЭВМ.

### Условия применения способов охраны

Методические положения оценки необходимости применения и выбора способа охраны решают вопрос применения в конкретных горно-геологических и технических условиях того или иного способа повышения устойчивости породных обнажений, обеспечивающего, при наименьших дополнительных затратах труда и средств, получение конечного результата. Однако в ряде случаев результаты оценки примерно одинаковы для нескольких способов охраны. Возникает необходимость конкретизации условий применения их, в том числе и по критериям, не вошедшим в методические положения: повышение безопасности ведения работ, технологичность, обеспечение безотходной или малоотходной технологии, ресурсосберегаемость и пр.

Проведение выработок широким ходом - пластовые выработки (горизонтальные и наклонные) при мощности пласта 0,6-1,0 м и угле его залегания до 25°. Ширина раскоски - 6 м и более (независимо от их числа), необходимое (равномерное по длине выработки) заполнение раскоски разрыхленной породой 3 м и более (по ее ширине). Ограничивающим условием применения являются легкообрушаемые породы кровли пласта. Проведение спаренных выработок (разновидность способа) - целесообразно при угле залегания пород до 15° и расстоянии между выработками 15-50 м. При эксплуатации спаренных выработок (или одной из них) в течение 1 года и более до подхода очистного забоя, их проведение должно производиться с боковыми раскосками шириной 6 м и более.

Проведение выработок увеличенным сечением целесообразно при

угле залегания пород до  $20^\circ$  и относительно однородном (толщина слоев слагающих пород 1 м и более) массиве близких по прочности пород. Величина пучения пород почвы не должна превышать 0,4 м, при этом вид пучения практического влияния не оказывает.

Технологическая податливость крепи целесообразна при жесткой или ограниченно податливой постоянной крепи выработки площадью поперечного сечения в свету  $6 \text{ м}^2$  и более.

Ограничивающими условиями целесообразного применения способа охраны являются трещиноватость пород, характеризуемая  $P_n \geq 0,2$ ; величина пучения почвы 0,4 м и более; крепость вмещающих пород  $3 < f < 8$  (по шкале М.М. Протодяконова). Строение вмещающего массива и различие в прочности слагающих пород практического влияния на результативность способа охраны не оказывают.

Проведение выработки в два этапа. Целесообразность применения способа ограничивается величиной пучения пород почвы 0,5 м и более; трещиноватостью пород, слагающих вмещающий выработку (их систему) массив, характеризуемый показателем нарушенности  $P_n \geq 0,1$ ; крепостью пород  $3 < f < 8$  (по шкале М.М. Протодяконова); скоростью проведения выработки 80 м/мес и более. Угол залегания пород к направлению выработки относительно напластования практически на результативность способа не влияет. Ограничивающим условием индивидуального применения способа являются пластические деформации вмещающих пород, что характерно для водонасыщенных пород с большим содержанием глинистых частиц (глинистые сланцы).

Взрывоцелевая разгрузка нецелесообразна в трещиноватых породах, характеризуемых показателем нарушенности  $P_n \geq 0,2$ . В пластовых выработках независимо от их назначения и угле залегания пород до  $35^\circ$  разгрузку следует производить в породах почвы угольного пласта. Разгрузка по угольному пласту снижает эффективность способа в 2-3 раза, а продолжительность его действия ограничивается 2—3 мес. Кроме того, это повышает опасность самовозгорания угля, особенно при длительной (более 1 года) эксплуатации выработки до подхода очистного забоя. В условиях крутонаклонного и крутого залегания разгрузка может производиться в породах кровли пласта и односторонняя.

Укрепление пород нагнетанием вяжущего вещества целесообразно в трещиноватых породах, характеризуемых показателем нарушенности  $P_n \geq 0,55$ , независимо от их прочности, степени обводненности и условий залегания.

Последующее укрепление породного массива целесообразно проводить с отставанием от проходческих работ во времени не более 30 суток. При большем отставании в результате развития поперечных (касательных) трещин в породном массиве, вмещающем выработку (их систему), возможны обрушения пород под действием нагнетаемого вяжущего раствора.

Оставление предохранительных целиков. В условиях крутонаклонного и

особенно крутого залегания пород способ охраны может быть полезен для предупреждения сползания пород почвы угольного пласта при его подсечке пластовым штреком и ведении очистных работ. Целесообразность оставления в указанных условиях предохранительных целиков обосновывается необходимостью предупредить процесс сдвижения пород.

Целесообразность оставления предохранительного целика и требуемая для конкретных условий его ширина  $X$  может быть определена расчетом по величине необходимого дополнительного распора.

Как показывает опыт ведения горных работ шахт Центрального и Алмазно-Марьевского районов Донбасса, ширина предохранительного целика в зависимости от угла залегания пород  $a$  должна приниматься:  $a = 36-45^\circ$ ,  $X = 5$  м;  $a = 46-55^\circ$ ,  $X = 7$  м;  $a > 56^\circ$ ,  $X = 10$  м.

## 4. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ И ВСКРЫВАЮЩИХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Способы охраны и поддержания капитальных, подготовительных и выемочных выработок незначительно отличаются друг от друга. Так, капитальные выработки сооружаются и эксплуатируются обычно в массиве. Подготовительные выработки могут попадать в зону влияния очистных работ или находиться вне зоны их влияния. Выемочные выработки находятся в зоне влияния очистных работ.

Кроме того, срок службы в выработках разный (наибольший в капитальных, а наименьший в выемочных). В связи с этим, для крепления выработок применяют различные типы крепления и способы охраны.

К капитальным горным выработкам относятся стволы, выработки и камеры приствольного двора, квершлагги, штреки и др., которые эксплуатируются в течение всего срока службы шахты.

К подготовительным горным выработкам относятся те выработки, которые служат для отработки горизонта, панели, этажа. К ним относятся бремсберги и уклоны с ходками, штреки, квершлагги, гезенки, скаты, слепые и вентиляционные стволы.

### **Капитальные горные выработки.**

Одними из основных капитальных выработок стволы. Размеры, форма сечения, тип и конструкция крепления стволов определяется многими факторами: производственной мощностью шахты, способом раскрытия месторождения, назначением ствола, горно-геологическими условиями, сроком службы и др.

С увеличением глубины разработки и производственной мощности шахт заметное увеличение как средней глубины стволов, так и их поперечного сечения.

Так, в России до 1917 г. средняя глубина стволов равнялась 104 м при поперечном сечении от 6,9 м<sup>2</sup> до 32 м<sup>2</sup>. В СССР в 1940 средняя глубина стволов уже составляла 210 м при пересечении 14,0 м<sup>2</sup>, а за период с 1966 по 1970 гг. - 511 м и 33 м<sup>2</sup> соответственно. В настоящее время глубина стволов на Украине значительно больше, поскольку в последние десятилетия были построены и сданы в эксплуатацию глубокие шахты ( «Прогресс», им. Скочинского, «Шахтерская-Глубокая» и др.)

Форма поперечного сечения стволов на первых этапах подземного угледобычи была прямоугольная или квадратная. Крепились такие стволы деревянной крепью.

С увеличением глубины работ стали применять круглую форму поперечного сечения стволов. Эта форма более устойчива к воздействию горного давления. Как крепления применялись тубинги, кирпич, бетониты, бетон, железобетон и др. На рис.4.1 показано изменение видов крепления стволов в разные годы на шахтах СССР. Видно, что наиболее

распространенным является монолитное бетонное крепление.

Бетонное крепление представляет собой сплошной монолитный цилиндр, который прочно и плотно прилегает внешней поверхностью к окружающим ствол породам.

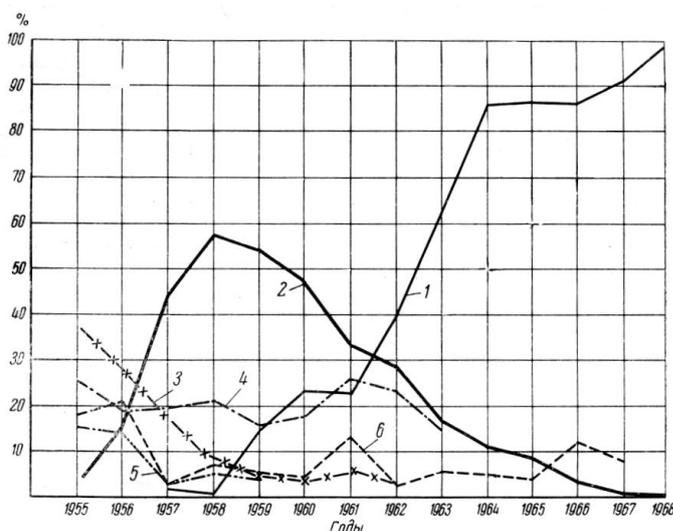


Рис. 4.1. Распространение различных видов крепи стволов по годам: 1 – монолитная бетонная, возводимая с помощью передвижной опалубки; 2 – ж/б тубинги; 3 – бетониты; 4 – монолитная бетонная, возводимая с помощью стационарной опалубки; 5 – бутовый камень; 6 – другие виды крепи.

Преимуществами бетонной крепи являются: монолитность; надежный и тесную связь с окружающими породами; широкие возможности механизации работ при возведении крепления в части доставки и укладки бетона по опалубку; применение передвижных опалубок, при которых можно не иметь временного крепления; возможность достижения высокой водонепроницаемости крепления и устойчивости ее против агрессивных вод; возможность эффективного применения следующей цементации; значительное снижение аэродинамического сопротивления.

На рис. 4.2 приведено сечение скипового ствола диаметром 7 м, закрепленного бетонной крепью.

При отработке угольных месторождений для обеспечения устойчивости стволов оставляют охранные целики. Поэтому поддержание их осуществляется практически в массиве. Причем на крепь стволов действуют напряжения меньшие, чем на крепь горизонтальных и наклонных выработок. На нее действуют напряжения, вызванные только горизонтальным распором горных пород. В связи с этим на большинстве шахт на поддержание стволов не нужно значительных затрат.

Непосредственно у стволов располагаются выработки околоствольных дворов, которые располагаются в пределах охранных целиков, и поэтому влияние очистных работ на них не сказывается.

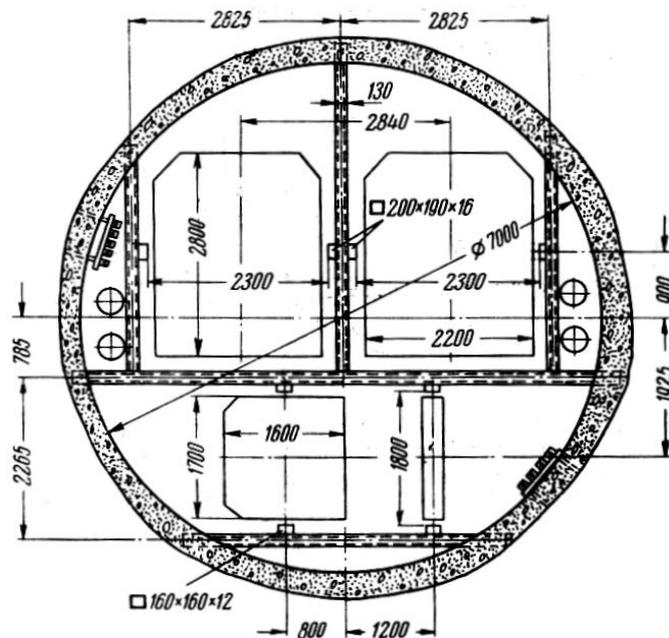


Рис. 4.2. Поперечное сечение скипового ствола.

Формы поперечных сечений выработок приствольных дворов бывают разные: прямоугольные, круглые, арочные, сводчатые, трапециевидные и др. Выработки приствольного двора у главных стволов эксплуатируются весь срок службы шахты. Смещения пород в этих выработках незначительные и для их крепления чаще всего применяется жесткая крепь (бетон, железобетон, железобетонные стойки и металлические верхняки, набрызгбетон, кирпич, бетонит) и реже податливые крепления.

На рис. 4.3 приведены некоторые выработки околоствольного двора, закрепленные бетоном.

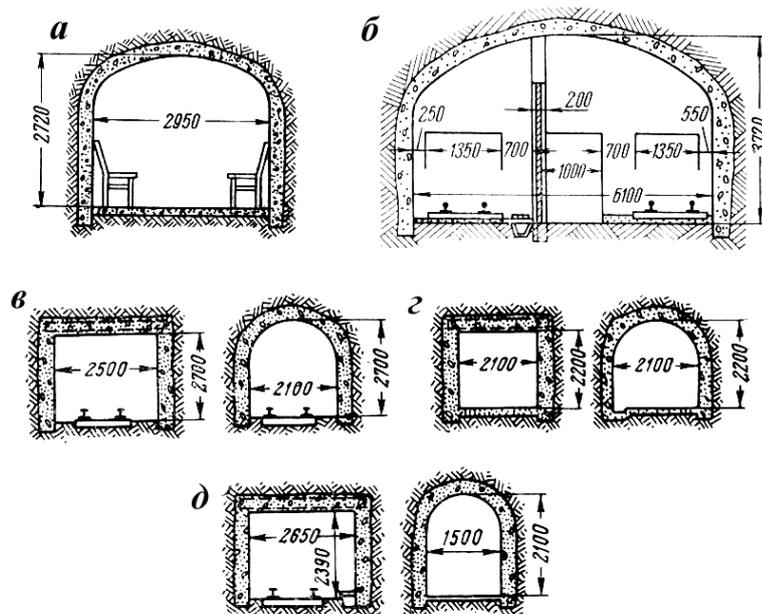


Рис. 4.3. Поперечные сечения выработок околоствольного двора: а – камера ожидания; б – депо противопожарного поезда; в – ходок в камеру водоотлива; г – ходок в камеру электростанции; д – ходок в склад ВМ; е – ходок в камеру медпункта.

Смещения пород кровли и почвы в этих выработках незначительные, поэтому на их поддержание и охрану не нужны большие средства.

Капитальные штреки и квершлагги обычно имеют арочную форму в поперечном сечении. Крепятся металлической податливой крепью. В некоторых случаях они попадают в зону влияния очистных работ.

Штреки охраняются целиками при пластовом или полевом расположении или в разгруженной зоне под разгрузочной лавой (рис. 4.4).

Для повышения устойчивости выработок применяются также дополнительные мероприятия: уплотнение крепления, укрепления пород, взрыво-щелевой разгрузки, взрыво-щелевой разгрузки с последующим укреплением пород, бурение разгрузочных скважин.

При охране пластового штрека в массиве или целиками для снижения напряжений, действующих на крепление, делают бурение разгрузочных скважин в боках выработки. В случае применения разгрузочных скважин зона опорного давления смещается от контура выработка внутрь массива, что благоприятно сказывается на устойчивости выработки.

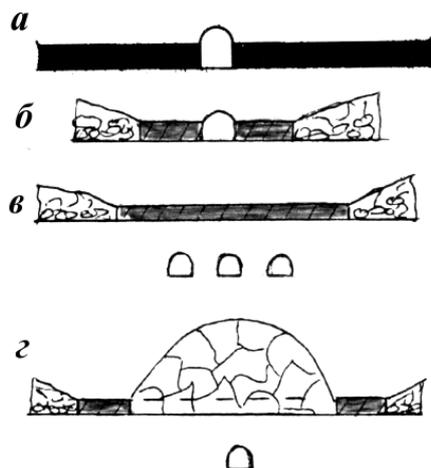


Рис.4.4. Способы охраны капитальных выработок: а – в массиве; б – целиками угля; в – в массиве под целиком угля; г – под разгрузочной лавой.

С целью повышения устойчивости горных выработок часто увеличивают плотность крепи. При этом увеличивается общее сопротивление крепи и оползни кровли могут быть значительно уменьшены. Но у данного метода есть *недостатки*:

увеличиваются расходы на строительство выработок за счет дополнительно установленных рам;

при проведении выработок без обратного свода уплотнение крепи не препятствует смещению пород почвы.

Вокруг горных выработок образуется зона неупругих деформаций, величина которой в слабых породах может достигать 10 м и более, что приводит к деформации крепления.

Для уменьшения интенсивности развития зоны неупругих деформаций и ее параметров используется способ, основанный на

повышении прочности горного массива (укрепление пород).

С этой целью перед забоем выработки или в ее стороны бурятся скважины (шпуры), в которые нагнетаются скрепляющие вещества: песчано-цементные смеси и различные смолы. Проникая в трещины и поры, они затем становятся твердыми и «связывают» собой неустойчивый массив. При этом повышается прочность горных пород, вмещающих горную выработку, и они воспринимают действующие на них нагрузки, либо не разрушаясь, либо разрушаясь незначительно.

Для борьбы с пучением почвы в горных выработках используется взрыво-щелевой разгрузки. Суть метода заключается в том, что в породах почвы бурятся шпуры в один, два или три ряда. В этих шпурах осуществляется камуфлетный подрыв зарядов, в результате чего вокруг шпуров образуются зоны дробления и трещиноватости. Под действием горного давления породы смещаются в сторону почвы выработки и трещины постепенно уменьшаются. До тех пор, пока будет существовать трещиноватость, пучения почвы не будет происходить. После смыкания трещин начинается пучение пород почвы.

При слабых породах, расположенных в почве выработки, применяют метод взрыво-щелевой разгрузки (ВЩР) с последующим укреплением пород (АРПУ). Суть способа заключается в следующем: вначале создается зона разгрузки при помощи ВЩР, а затем в этой зоне производится упрочнение массива при помощи скрепляющих веществ.

Капитальные квершлагги проводятся и эксплуатируются, как правило, в массиве. Для их охраны оставляют охранный целик. В связи с этим они практически не попадают в зону влияния очистных работ и состояние их значительно лучше, чем наклонных и горизонтальных, пройденных по простиранию пласта, выработок.

## 5. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ПОДГОТАВЛИВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК

Возможные варианты охраны подготавливающих выработок и рекомендуемая с точки зрения геомеханики область их применения приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Варианты охраны подготавливающих выработок и область их применения

Способ охраны	Рекомендуемая область применения
Охрана пластовой выработки целиками более $V_p$ (расположение в нетронutom массиве)	$H/R_c \leq 15$
Охрана пластовой выработки целиками менее $V_p$	$H/R_c \leq 15$
Охрана пластовой выработки бутовыми полосами в выработанном пространстве разгрузочной лавы	$H/R_c > 15$ . Мощность пласта до 1,2 м, пучащая и сильнопучащая почва ( $H/R_p > 25$ МПа)
Охрана пластовой выработки разгрузочными полосами и целиками	$H/R_c \leq 15$ . Труднообрушающаяся основная кровля, сильнопучащая почва, непосредственная кровля мощностью менее 3 м
Охрана выработки проведением её по выработанному пространству	$H/R_c > 15$ . Мощность пласта до 1,5 м, слёживающиеся породы непосредственной кровли с $R < 30$ МПа и мощностью более 5 м, сильнопучащая почва при отсутствии в ней слоя слабых пород ( $R < 10$ МПа) мощностью более 0,7 м
Охрана полевой выработки целиками достаточных размеров на рассматриваемом пласте (расположение в нетронutom массиве)	$H/R_c > 15$ , прочность пород вокруг полевой выработки больше, чем то же для пластовой выработки
Охрана полевой выработки при отработке разгрузочной лавы	То же
Охрана полевой выработки проведением её в нетронutom массиве с последующей надработкой	То же
Охрана полевой выработки проведением её в нетронutom массиве с последующей подработкой	То же, если в почве пласта отсутствуют достаточно прочные породы

Параметры вышеприведенных способов охраны подготавливающих выработок следующие (см. рис. 5.1).

**Охрана пластовой выработки целиками более  $V_p$  (расположение в нетронутым массиве)** (см. рис. 5.1а). Здесь нужно рассчитать величину  $V_p$  и принять в качестве параметра размер целика  $V$  большим или равным величине  $V_p$ :

$$V_p = L_0 \cdot K_{кр} \cdot K_{под}'' \quad (5.1)$$

где  $K_{под}''$  - коэффициент, учитывающий величину податливости крепи выработки:  $K_{под}''=1$  при податливости менее 300 мм;  $K_{под}''=0,75$  при податливости не менее 300 мм,  $K_{под}''=0,65$  при податливости не менее 500 мм.

*Примечание.* Если объектом проектирования является система параллельных выработок (например, бремсберг с ходками), то расстояние между боками таких выработок принимают не менее величины  $L_d$ :

$$L_d = (V_1 + V_2) \cdot K_L, \quad (5.2)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  - ширина соседних выработок в проходке, м;  
 $K_L$  - коэффициент взаимного влияния выработок, ед.

**Охрана пластовой выработки целиками менее  $V_p$**  (см. рис. 5.1б) В этом случае размер целика  $V$  может быть принят в пределах  $(0,5-1) V_p$ . То есть на этом этапе проектирования уже возможно принять несколько подвариантов этого способа охраны.

**Охрана пластовой выработки бутовыми полосами в выработанном пространстве разгрузочной лавы** (см. рис. 5.1в). Этот способ охраны может быть реализован в выработанном пространстве разгрузочной лавы. Забой выработки находится на границе призабойного пространства и порода от проведения выработки закладывается в двухсторонние одинарные бутовые полосы шириной не менее 12 м ( $m$  - мощность отрабатываемого пласта). Выработка проводится на расстоянии не менее  $0,5L_0$  от опорного целика, оставляемого для сохранения зоны разгрузки (см., например рисунок 5.1д). Ширина опорного целика ( $V_{оп}$ ) принимается не менее  $0,5L_0$ .

**Охрана пластовой выработки разгрузочными полосами и целиками** (см. рис. 5.1г). Выработку проводят широким ходом с двухсторонней раскоской шириной равной 2 мощностям непосредственной почвы угольного пласта, где укладывают деревянные костры. В последующем при развитии горных работ оставляют с двух сторон выработки целики шириной равной **20 м** ( $m$  – мощность отрабатываемого пласта), но не более 40 м.

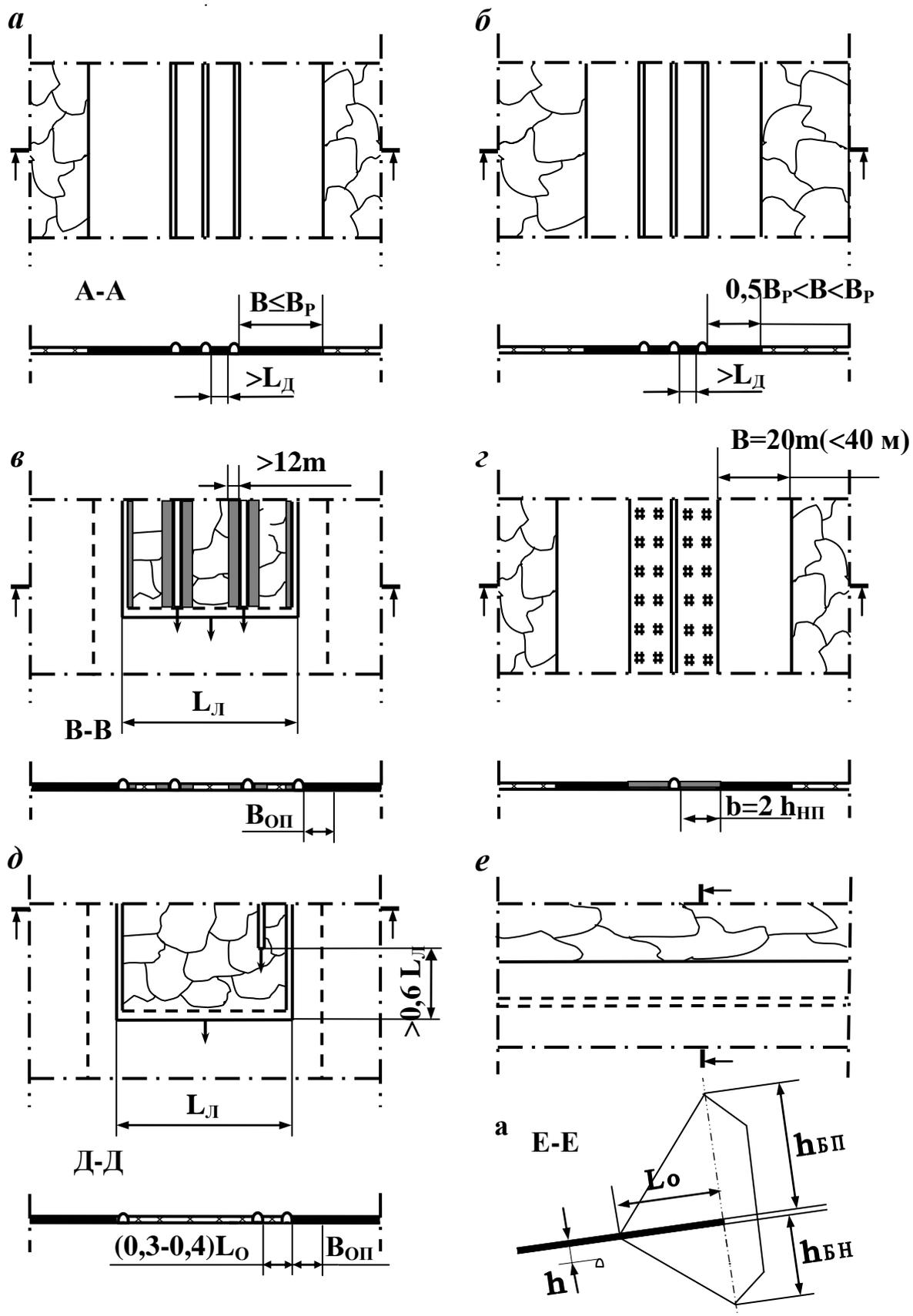
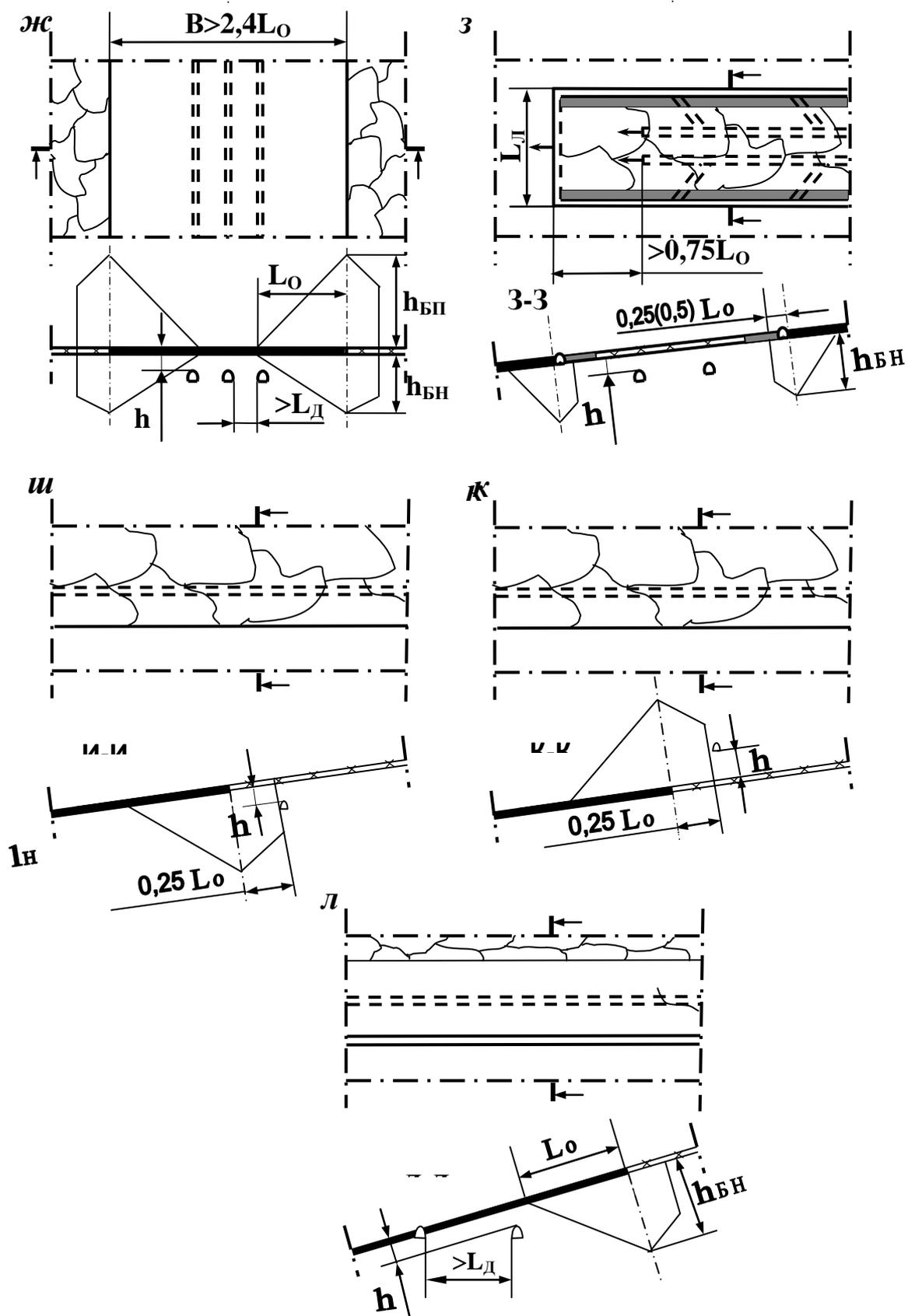


Рис. 5.1. Варианты охраны подготавливающих горных выработок и их параметры



Продолжение рис. 5.1. Варианты охраны подготавливающих горных выработок и их параметры

**Охрана выработки проведением её по выработанному пространству** (см. рис. 5.1д). Параметрами способа являются: отставание забоя выработки от забоя лавы, которое должно быть больше величины  $0,6L_{Л}$  ( $L_{Л}$  - длина лавы), а во времени – 3 месяца для легкообрушающейся кровли, 4 месяца для среднеобрушающейся кровли и 6 месяцев для труднообрушающейся кровли, а также расстояние от выработки до массива угля ( целика ), которое принимают  $(0,3 - 0,4)L_0$ . Для сохранения зоны разгрузки по мере развития горных работ вдоль выработанного пространства лавы оставляют опорный целик шириной  $B_{оп}$  или при отработке лавы сооружают механическим способом (скреперная установка, «Титан-1») плотные бутовые полосы шириной 30-60 м. В последнем случае возможно оставление целиков вдоль выработанного пространства лавы меньшей ширины.

**Охрана полевой выработки целиками достаточных размеров на рассматриваемом пласте (расположение в нетронутым массиве)** При этом способе охраны выработка располагается в почве или кровле угольного пласта на любом расстоянии  $h$  от него. В последующем при развитии горных работ с одной (см. рис. 5.1е) или с двух сторон от выработки (см. рис. 5.1ж) образуется целик, размер которого обеспечивает образование зон повышенных смещений вне места расположения выработки.

**Охрана полевой выработки при отработке разгрузочной лавы** (см. рис. 5.1з) Особенностью этого способа охраны является то, что проведение полевой выработки и отработка разгрузочной лавы взаимосвязаны во времени и пространстве. Параметры этого способа: отставание забоя выработки от забоя разгрузочной лавы не менее  $0,75L_0$ ; расстояние от выработки до краевой части угольного массива –  $0,25L_0$  или опорного целика –  $0,5L_0$ , длина разгрузочной лавы  $L_{Л}$  не менее 40-50 м; глубина расположения полевой выработки от пласта угля  $h$  не менее  $h_{н}$  и не более 40 м.

$$h_{н} = 30 + 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot H - 0,5 \cdot R_c, \quad (5.3)$$

В будущем при развитии горных работ вдоль выработанного пространства разгрузочной лавы следует оставлять опорный целик шириной  $B_{оп}$ .

*Примечание.* Полевые выработки могут проводиться и значительно позже отработки разгрузочной лавы.

**Охрана полевой выработки проведением ее в нетронутым массиве с последующей надработкой** (см. рис. 5.1и). Как и в предыдущем случае, выработку проводят на глубине  $h$  не менее  $h_{н}$  под пластом угля, а затем горные работы ведут в направлении от кромки массива (целика) над выработкой так, что уголь над выработкой вынимается. Параметром (кроме  $h \geq h_{н}$ ) здесь является расстояние от выработки до образовавшейся кромки массива или целика (в первом случае это  $0,25L_0$ , а во втором –  $0,5L_0$ ). В

этом случае после надработки выработка не попадает в зону повышенных напряжений в массиве.

**Охрана полевой выработки проведением её в нетронутым массиве с последующей подработкой** (см. рис. 5.1к). Выработку проводят в кровле угольного пласта на расстоянии от него  $h \geq h_{\Pi}$  ( $h_{\Pi} = 12 \text{ m}$ , где  $m$  – мощность подрабатываемого пласта угля). Затем горные работы ведут в направлении от кромки массива (целика) под выработкой так, что уголь под выработкой вынимается. Расстояние от выработки до кромки массива или целика принимается в первом случае не менее  $0,25L_0$ , а во втором –  $0,5L_0$ .

*Примечание.* Довольно часто в реальной практике для системы параллельных выработок применяют комбинированный способ охраны. Например, на рис. 5.1л представлен случай размещения двух магистральных штреков на одном горизонте (уровне). При этом один из них пластовый, а другой – полевой. Тогда для пластового штрека параметром охраны является размер целика  $B$  между выработкой и выработанным пространством, по величине которого определяют способ охраны (целиком более или менее  $B_p$ ). Для полевой выработки параметрами охраны будут глубина  $h$  и расположение вне зоны повышенных напряжений. Сами выработки располагают на расстоянии более  $L_d$ . Название способа охраны для полевой выработки в данном случае – проведение полевой выработки в нетронутым массиве.

## 6. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ.

Варианты способов охраны подготовительных выработок, непосредственно примыкающих к лаве при столбовой системе разработки, а также область их применения приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Условия применения основных способов охраны подготовительных выработок.

Способ охраны	Рекомендуемая область применения
Охрана выработки расположением её в массиве	Откаточный (конвейерный) штрек (ходок) при столбовой системе разработки.
Охрана выработки целиками угля	Ширина целика менее 10% длины лавы, пласт не пожароопасен, не выбросоопасен. Одиночный пласт. Н до 300 м.
Охрана выработки расположением её в присечку к выработанному пространству	Вентиляционный штрек (ходок) при столбовой системе разработки. Пучащие породы почвы. Охрана целиками невозможна.
Охрана выработок проведением их спаренными и разделёнными породной полосой	Мощность пласта до 1,3 м. Основная кровля – любая. Почва – любая.

Параметры вышеприведенных способов охраны подготовительных выработок следующие (см. рис. 6.1).

**Охрана выработки расположением её в массиве** (выработки типа 1 и 2). Параметром здесь является расстояние от выработки до ближайшего выработанного пространства (ширина целика **b**), которое должно быть не менее **60** м.

**Охрана выработок целиками угля** (выработки 1). Параметрами этого способа является ширина целика **b**, величину которого принимают в соответствии с табл.6.2.

Таблица 6.2.

Рекомендуемые размеры угольных целиков для охраны подготовительных выработок

Глубина расположения выработки, м	До 200	200-300	300-600	600-900	Более 900
Ширина угольного целика, м	10	20	30	40	50

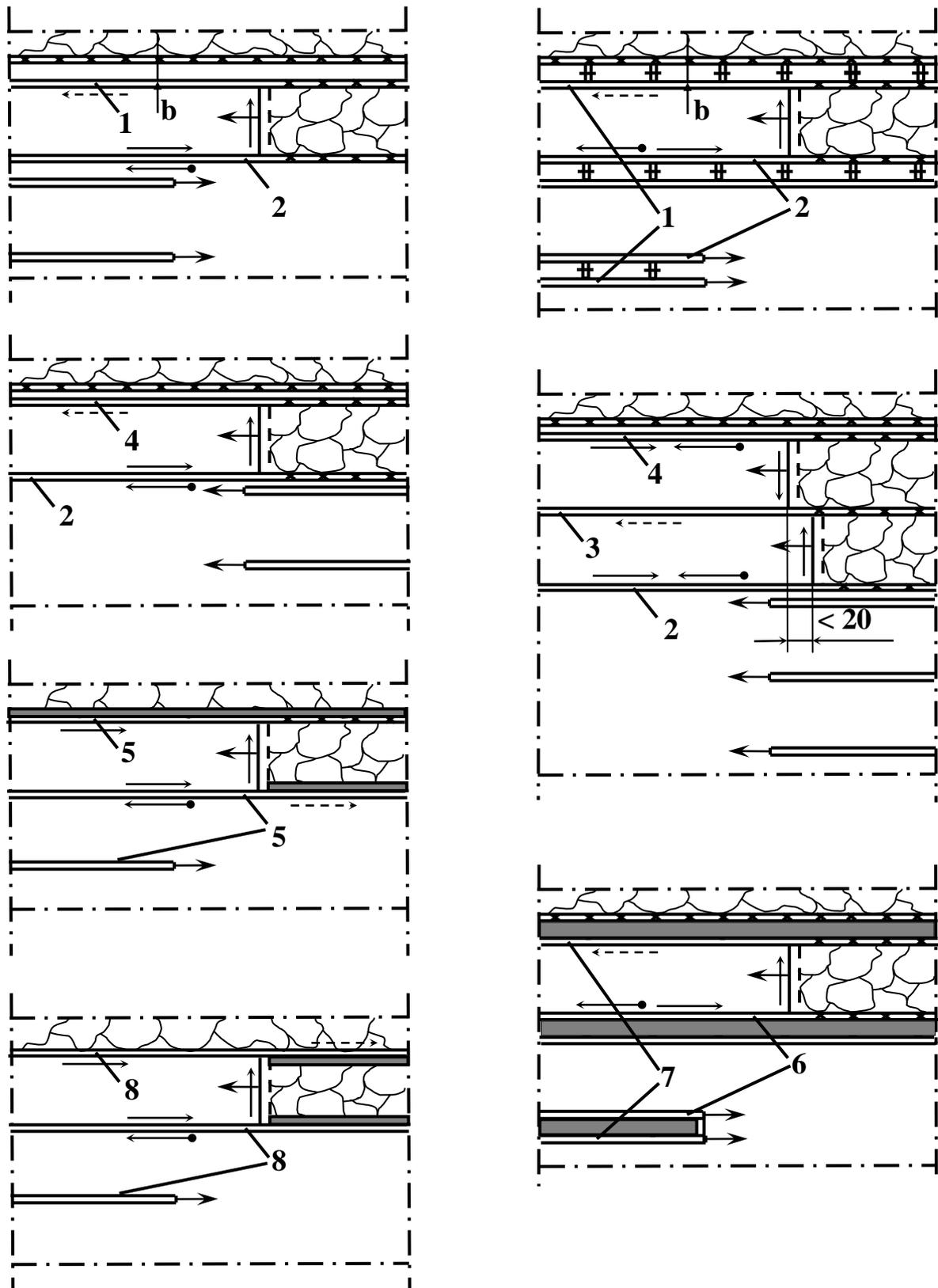


Рис. 6.1. Типы подготовительных выработок при их охране в столбовых и комбинированных на базе столбовой системах разработки

Данные, приведенные в этой таблице ориентировочные. На этом этапе

проектирования допустимо принять несколько подвариантов с различной шириной целика, чтобы затем определить тот размер целика, который обеспечивает минимальные затраты на поддержание выработки.

**Охрана выработки расположением ее вприсечку к выработанному пространству** (выработка 4). Параметрами этого способа являются; схема присечки, отставание во времени и в пространстве забоя присечной выработки от забоя лавы (см. табл. 6.3).

Таблица 6.3.

Величина отставания забоя присечной выработки от очистного забоя

Параметры	Значения параметров при кровле		
	Легкообрушающаяся	Среднеобрушающаяся	Труднообрушающаяся
Требуемое отставание, м, забоя проводимой выработки от движущегося очистного забоя при глубине её заложения, м: менее 300 300-600 более 600	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>180</b>
	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>210</b>
	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>250</b>
Необходимый разрыв во времени, мес., между отработкой лавы и проведением выработки на непожароопасных пластах при глубине её заложения, м: менее 600 более 600	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
То же на пожароопасных пластах	Согласно «Инструкции по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров»		

Под схемой присечки понимают способ примыкания присечной выработки к соседнему выработанному пространству:

**схема А** – полная присечка к погашенной старой выработке без оставления между ними какой-либо полосы угля, в том числе при возможности с частичным сохранением старой выработки. Эта схема применяется при наличии в кровле пласта легкообрушающихся и быстрослэживающихся после обрушения пород на глубинах до 600 м;

**схема Б** – присечка с оставлением между выработкой и погашенной старой выработкой полосы угля шириной 2-4 м. Эта схема применяется при наличии неполных обрушений кровли – преимущественно на непожароопасных пластах. Допускается её использование на пожароопасных пластах при осуществлении мер по предотвращению возгорания угля (обработка угля антипирогенами и т.п.);

**схема В** присечка к изолирующей полосе, создаваемой при отработке предыдущего столба. Эту схему применяют на пожароопасных пластах.

**В условиях Донбасса наиболее часто применяют схему Б.**

## **7. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ СПЛОШНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ.**

### **Опыт применения искусственных сооружений для охраны повторно используемых выемочных выработок**

До настоящего времени, несмотря на развитие механизированных средств крепления горных выработок и расширение ассортимента металлических стоек, тумб и верхняков, наиболее распространенным крепежным материалом на шахтах Донецкого бассейна, как и много лет назад, является древесина. Долговременность и традиционность применения данного материала обусловлены тем, что все деревянные крепи собираются практически из двух универсальных элементов – круглой рудничной стойки и доски. Поэтому они отличаются конструктивной простотой, транспортабельностью и удобствами в установке, характеризуются широким диапазоном условий применения.

В качестве специальной шахтной крепи для охраны горных выработок используются: деревянные кусты, костры и кустокостры, бутокостры, органка, БЖБТ, литые полосы и газобетонные тумбы.

Крепежные конструкции в виде деревянных костров из круглых стоек работают в податливом режиме с незначительным начальным распором (5-20 кН) и медленным ростом сопротивления сжатию. По данным испытаний максимально высокие нагрузки до 400-600 кН деревянные костры из круглых стоек набирают только после их сжатия на 40-50 %, на достаточно большом удалении от очистного забоя. Из-за малой площади контактов между элементами и низкого начального распора такие крепежные конструкции являются очень неустойчивыми к сдвигу и могут разрушаться при небольших смещениях пород по напластованию.

На рис. 7.1 приведены деформационно-нагрузочные характеристики различных видов специальной шахтной крепи. Согласно этих данных максимальная несущая способность деревянного костра составляет 200 кН. Накатной костер из шести элементов в ряду из стоек диаметром 8-11 см имеет постоянно возрастающую рабочую характеристику. При величине продольной деформации 50 % его несущая способность составляет более 800 кН. Костры из шпального бруса имеют более крутую деформационную характеристику. При величине продольной деформации 45% их несущая способность достигает 1100 кН.

В отличие от податливых деревянных костров органка и кусты являются практически жесткой крепью. Сразу после установки такая крепь имеет относительно большой (в сравнении с другими деревянными крепями) начальный распор, но после сжатия на 3-5 % деревянные стойки деформируются, и крепежная конструкция частично теряет свою устойчивость. Поэтому кусты и органка применяются, главным образом, в устойчивых боковых породах при небольших величинах их сближения. На

пологих пластах с неустойчивой почвой применяется органная крепь с «карманами» (нишами), которые забучиваются породой.

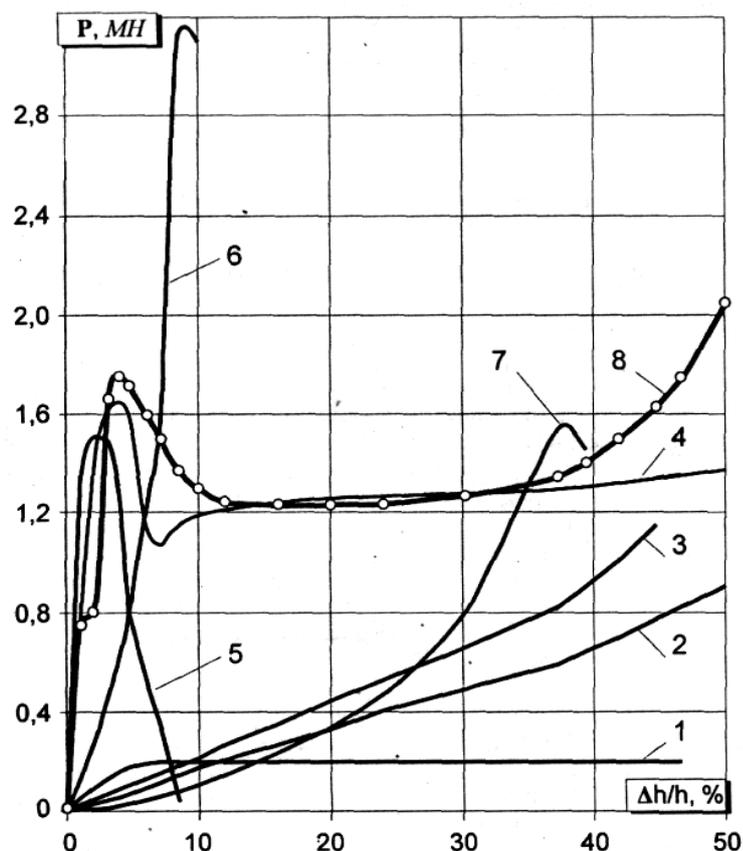


Рис. 7.1. Нагрузочно-деформационные характеристики различных видов охранных сооружений: 1 – деревянный костер (двухэлементный) из круглых стоек диаметром 10-12 см; 2 – накатной костер (шестиэлементный) из стоек  $d=8-11$  см; 3 – костер из шпального бруса; 4 – кустокостер; 5 – куст из девяти стоек  $d=12-14$  см; 6 – БЖБТ с прокладками из ДСП; 7 – БЖБТ с прокладками из шпального бруса; 8 – газобетонная тумба с линейными размерами  $1,0 \times 1,0 \times 1,0$  м

Кустокостер представляет собой комбинированную специальную крепь, состоящую из куста, вокруг которого выкладывается костер из круглого леса. Количество стоек в кустокостре выбирается исходя из требований к несущей способности данной конструкции и полного заполнения внутренней части костра стойками. В начальный период работы кустокостра нагрузку воспринимает только куст. При сжатии стоек на 3-5 % куст деформируется, но вследствие бокового распора, который создается элементами костра, он продолжает работать в режиме уплотнения зажатых стоек, обеспечивая повышение несущей способности всей конструкции. Костер вступает в работу после сжатия конструкции на 10-15 %. При сжатии на 25-30 % кустокостер продолжает работать в податливом режиме, создавая отпор порядка 1200-1400 кН, что в 5 раз больше, чем у обычных, и в 2 раза больше, чем у накатных деревянных костров. По тем же данным величины смещений пород при использовании кустокостров на расстоянии

50 м позади очистного забоя составляют 60-80 % от величины смещения пород при деревянных костах.

Несмотря на целый ряд положительных качеств, деревянные крепи имеют также и существенные недостатки, обусловленные, главным образом, свойствами древесины.

При возведении деревянных крепежных конструкций расходуется большое количество лесоматериалов, особенно в сложных горно-геологических условиях. Эти конструкции, как правило, недолговечные, пожароопасные и характеризуются значительным разбросом прочностных показателей. Прочность древесины даже одной и той же породы изменяется в широких пределах в зависимости от характера и направления приложения нагрузки, от влажности, строения, возраста и других причин. Древесина является материалом с ярко выраженными анизотропными свойствами. Она значительно лучше сопротивляется растяжению, чем сжатию или скалыванию, и лучше противостоит нагрузкам, действующим вдоль волокон, чем поперек. Прочность древесины существенно снижается с увеличением ее влажности, а также от наличия в ней сучков, трещин, червоточин и других пороков. Несмотря на легкость и простоту обработки древесины, при возведении деревянной крепи требуется выполнение большого количества ручных операций по подгонке отдельных стоек к конкретным горно-геологическим условиям.

Кроме охранных сооружений из лесоматериалов на шахтах Донбасса в качестве специальной крепи, альтернативной деревянным конструкциям, распространение получили блочные железобетонные тумбы (БЖБТ).

Сборные железобетонные опоры характеризуются высокой несущей способностью (до 200-600 кН) и по своим техническим и эксплуатационным параметрам существенно отличаются от деревянных конструкций тем, что имеют более совершенные механические характеристики и обеспечивают быстрое нарастание сопротивления при минимальной податливости. По этой причине БЖБТ широко используются при разработке пологих и крутых пластов для охраны выемочных штреков и углеспускных скатов щитовых лав.

Основными элементами крепи БЖБТ являются прямоугольные железобетонные плиты с линейными размерами 0,5×0,4×0,1 м и весом 47,2 кг. Крепежные конструкции из этих плит, как правило, собираются совместно с элементами податливости, в качестве которых используются древесностружечные плиты (ДСП), затяжки или брусья. Без таких элементов крепежные конструкции БЖБТ имеют очень жесткие механические характеристики и, по аналогии с органной крепью, при активизации горного давления они или разрушаются, или обыгрываются кровлей.

По результатам лабораторных и шахтных испытаний, проведенных ДонНИИ, минимальной податливостью обладают железобетонные опоры с прокладками из ДСП толщиной 20 мм. Жесткость таких опор достигает 70-80 кН/мм, а величина приведенной продольной деформации до их разрушения при нагрузке, равной 320 кН, составляет 44мм/м (см. рис. 2.1).

С увеличением толщины прокладок податливость и несущая способность БЖБТ возрастают. Суммарная толщина деревянных прокладок, которая обеспечит смещение пород кровли в диапазоне «заданных деформаций», должна составлять не менее 10-15% от мощности разрабатываемого пласта, а в условиях трудно-обрушающихся кровель толщина этих прокладок дополнительно должна увеличиваться в 1,5 раза.

Наиболее высокой несущей способностью и податливостью обладают железобетонные опоры с прокладками из шпального бруса толщиной 100 мм. Зависимость между нагрузкой и продольными деформациями для таких конструкций имеет нелинейный характер, а их несущая способность зависит от способа размещения брусьев между плитами.

По данным при расположении шпального бруса в прокладочных слоях с одинаковой ориентацией крепежная конструкция БЖБТ сохраняет несущую способность при нагрузке до 600 кН и имеет приведенную продольную деформацию порядка 90 мм/м. При укладке элементов податливости из шпального бруса послойно во взаимно перпендикулярных направлениях несущая способность БЖБТ достигает 900 кН, а приведенная продольная деформация увеличивается до 150 мм/м.

Инструментальные наблюдения за состоянием контура горных выработок при различных способах их поддержания показали, что при охране выемочных штреков крепью БЖБТ сближения вмещающих пород и боков выработок в 2-4 раза меньше, чем при их охране угольными целиками. Неплохие результаты были получены и при испытаниях БЖБТ в условиях щитовой технологии выемки угля. Возможность изменения податливости этих конструкций путем изменения толщины прокладок позволила существенно повысить устойчивость нарезных выработок (скатов) за счет выравнивания нагрузок на железобетонные опоры по их длине и ширине.

Однако, несмотря на целый ряд явных преимуществ, железобетонные тумбы имеют и несколько существенных недостатков, ограничивающих их массовое применение. На сегодняшний день в результате удорожания сырья и энергоносителей стоимость БЖБТ в 2-2,5 раза превысила стоимость лесоматериалов. Не меньшим недостатком этих конструкций является также сравнительно большой вес их элементов. В стесненном выработанном пространстве пологих пластов – тонких и средней мощности все операции по доставке железобетонных плит и их сборке осуществляются, как правило, вручную. Поэтому, несмотря на отмеченные выше преимущества железобетонной крепи, на сегодняшний день она не смогла составить серьезную конкуренцию традиционным деревянным крепям, даже в условиях дефицита лесоматериалов.

В настоящее время в шахтах начинает применяться газобетонная крепь. Элементами газобетонной крепи являются стандартные блоки  $0,6 \times 0,3 \times 0,2$  м из газобетона марки В3,5 Докучаевского завода ЖБИ. Между всеми слоями газобетонных блоков укладываются прокладки из обрезных досок.

На рис. 7.1 приведена и деформационно-нагрузочная характеристика

газобетонной тумбы с линейными размерами  $1,0 \times 1,0 \times 1,0$  м, которая была получена по результатам стендовых испытаний образцов и полноразмерных крепежных конструкций из газобетонных блоков.

Как видно из рис. 7.1, газобетонная тумба в сравнении с другими видами специальной шахтной крепи, обладает несомненными преимуществами. Она имеет высокое пиковое сопротивление нагрузке (до 1700 кН) и по этому показателю уступает только блочной железобетонной тумбе (БЖБТ) с прокладками из древесностружечных плит. Но в отличие от последней конструкции газобетонная тумба является податливой крепью.

По величине остаточного сопротивления (в запредельном режиме деформирования) к газобетонной тумбе в сравнительно узком диапазоне деформаций  $0,15h < \Delta h < 0,3h$  приближается только кустокостер из деревянных стоек. А в эксплуатационных условиях, где требуется податливость с относительными деформациями более 30%, газобетонная крепежная конструкция по механическим характеристикам не имеет себе равных. И еще одно несомненное ее преимущество заключается в том, что крепежные конструкции из газобетонных блоков практически во всем реальном диапазоне податливости (от 10 до 40%) являются крепью постоянного сопротивления.

Помимо того, что газобетон имеет хорошие деформационно-нагрузочные характеристики, газобетонная крепь обладает еще целым рядом технологических и экономических достоинств, которые удовлетворяют практически всем перечисленным выше требованиям к шахтной крепи.

Имея плотность порядка  $600-700 \text{ кг/м}^3$ , газобетонные блоки, так же как и древесина, значительно легче железобетонных плит и при влажности до 20% их вес не превышает 26-27 кг. Поэтому вопрос о транспортабельности элементов охранных крепежных конструкций и трудоемкости погрузочно-разгрузочных работ однозначно решается в пользу газобетона, а унификация размеров газобетонных блоков (элементов крепи) обуславливает простоту и технологичность процесса сборки крепежных конструкций. Унификация газобетонных блоков позволяет также механизировать процессы погрузки и разгрузки элементов крепи с использованием простейших погрузочных средств.

Газобетон относится к огнестойким материалам. Он не токсичен, не подвергается коррозии и гниению, может длительное время храниться без изменения своих свойств, легко обрабатывается любыми ручными инструментами. Газобетонные блоки хорошо пилятся, режутся, рубятся, строгаются, сверлятся, в них легко забиваются гвозди, скобы и различные штыри.

Производство газобетонных блоков базируется исключительно на производственных мощностях и сырьевой базе Украины, и их стоимость, несмотря на резкие колебания уровня цен, всегда была ниже стоимости БЖБТ и лесоматериалов (рудничной стойки).

Все, выше перечисленные способы охраны, имеют ряд недостатков. В

этой связи проблема разработки специальных видов крепи из материалов, альтернативных дереву, становится особенно актуальной.

Для этих видов сооружений характерны высокая трудоемкость возведения, в первую очередь бутовой полосы, и низкая эффективность поддержания выработок. Общим недостатком бутовых полос и костров является то, что они оказывают достаточное сопротивление опусканию пород кровли только после значительной осадки, равной примерно 40-50% мощности пласта. Анализ работ по выкладке бутовых полос комплексом "Титан" показывает, что в силу своих технических характеристик они не обеспечивают требуемые параметры закладки.

Для того, чтобы наиболее механизировать работы по охране выработок с целью повторного использования применяется такой вид охранных сооружений, как возведение жесткой литой полосы.

Сущность возведения литой полосы состоит в следующем: на непосредственном сопряжении лавы с конвейерным штреком в горно-геологических условиях рассматриваемого пласта очень важно, с точки зрения геомеханики, обеспечить минимально возможное оседание пород кровли у штрека со стороны выработанного пространства. Это значит, что возводимая охранный полоса по своей податливости должна приближаться к податливости краевой части массива угля, к которому примыкает штрек со стороны падения пласта. Кроме того, охранный полоса должна возводиться с технологически минимальным отставанием от очистного забоя и практически сразу же оказывать нарастающий отпор интенсивно оседающим породам кровли в районе сопряжения лавы со штреком. Когда со временем полоса будет способна максимально сопротивляться оседающей кровле, она должна выполнять роль «режущей» крепи, способствующей разлому и обрушению зависающих породных консолей вдоль поддерживаемого штрека.

Ширина литых полос зависит от вынимаемой мощности угольного пласта, но в любом случае она не должна быть менее 1,0 м. Расстояние между полосой и контуром выработки определяется устойчивостью пород кровли. Если кровля разрабатываемого пласта представлена устойчивыми породами, это расстояние принимается равным не менее высоты нижней подрывки охраняемой подготовительной выработки, а при неустойчивых породах кровли отливка полосы производится непосредственно за контуром выработки.

Литая полоса обеспечивает обрыв зависающих пород в выработанном пространстве и благодаря высокой грузонесущей способности поддерживает породы на бровке штрека. Очевидно, разгрузка вмещающего массива за счет обрыва зависающих пород благоприятно сказывается на напряженном состоянии пород вокруг выработки впереди лавы.

Характер, величина и интенсивность смещений глубинных реперов на участке с литой полосой показывают, что породы кровли перемещаются единым блоком, ограниченным со стороны выработанного пространства линией обрыва зависших пород. Возведение полосы резко уменьшило

интенсивность смещений кровли выработки и практически исключало развитие смещений в глубине массива. В то же время литая полоса инициирует пучение почвы, причем наиболее интенсивно оно происходило после достижения максимального значения нагрузок на полосу (примерно в 10-15 м за лавой) и стабилизировалось в 40-45 м, достигнув 120 мм.

Несмотря на явные преимущества охраны горных выработок околострековыми полосами с использованием быстротвердеющих строительных смесей, этот способ имеет хотя и широкую, но все-таки ограниченную область применения, которая определяется, прежде всего, экономическими соображениями. Достаточно отметить, что затраты на возведение одного погонного метра охранной полосы шириной 1,5 м и высотой 1,1 м только по статье «Материалы» составляют от 574 до 1654 грн. К затратам на материалы следует добавить еще и затраты на заработную плату.

Кроме того, для реализации данного способа требуется достаточно громоздкое и дорогое оборудование, включая пневматические и гидравлические установки, трубопроводы, бункера и многое другое. Поэтому применение литых полос для охраны пластовых выемочных выработок целесообразно только на высокопроизводительных добычных участках. Качество смесей (по скорости отверждения) рекомендуется выбирать в зависимости от скорости подвигания очистного забоя. Если эта скорость выше 2 м/сут., то для возведения охранной околострековой полосы следует использовать строительные смеси с быстрым нарастанием сопротивления, а при подвигании забоя быстрее 6 м/сут. – строительные смеси должны быть с очень быстрым нарастанием сопротивления, иначе применение такой полосы для охраны выработки будет менее эффективным, чем выкладка деревянных костров.

Наибольшее распространение на шахта получили такие охранные сооружения как костры из круглого леса и шпального бруса, тумбы БЖБТ, органная крепь и бутовые полосы. Применение этих охранных сооружений по отдельности не дает положительных результатов. Костры имеют высокую податливость и поэтому не могут дать предварительный отпор кровле пласта. Тумбы БЖБТ имеют высокую жесткость, что приводит к разрушению самой опоры и выдавливанию пород почвы. Бутовая полоса имеет усадку до 50%, что также негативно сказывается на состоянии штрека.

На шахтах накоплен огромный опыт по охране выемочных выработок на сопряжении лавы со штреком. Применяются на шахтах различные способы охраны. Для сравнения способов охраны между собой по эффективности применения приведем типичные примеры того, как они работают в различных горно-геологических условиях.

Для охраны подготовительных выработок при разработке тонких пологих пластов широкое применение находят тумбы из железобетонных блоков. При выборе рациональных параметров способа охраны выработок с применением железобетонных тумб (ЖБТ) одним из важных вопросов является определение их устойчивости при взаимодействии с боковыми породами.

На основании шахтных наблюдений за работой ЖБТ установлены

шесть случаев потери устойчивости деформируемой системы боковые породы — тумба (рис. 7.2). При неустойчивых породах кровли (см. рис. 7.2а) последние на контакте с тумбой раздавливаются и обрушаются, при слабой почве (рис. 7.2б) тумбы вдавливаются в нее, как правило, с отклонением от нормального первоначального положения. Опыт применения ЖБТ для охраны подготовительных выработок показал, что раздавливание блоков тумбы (рис. 7.2 в) происходит при превышении ожидаемой нагрузки на них со стороны пород кровли. При числе блоков в тумбе более десяти, как правило, происходит искривление ее оси или отклонение от нормали к плоскости пласта (рис. 7.2г), что приводит к полной потере несущей способности. Сдвиг породного уступа почвы или кровли при наличии их подрывки (рис. 7.2д,е) происходит в том случае, когда удаление тумбы от охраняемой выработки незначительно и ее рабочее сопротивление превышает величину реакции уступа.

Следовательно, для определения рациональных конструктивных параметров тумбового ряда необходимо рассчитывать его рабочее сопротивление и минимальное удаление от бровки уступа почвы (кровли).

Так как тумбы имеют жесткую характеристику, то их применяют в сочетании с другими охранными сооружениями. Так на шахте № 17/17-бис комбината Донбассантрацит пласт  $k_5$  отрабатывался длинными столбами по простиранию. По мере извлечения угля выемочные штреки погашались. Попытки поддерживать их для последующего использования не дали положительных результатов. Поддержание штреков в зоне влияния очистных работ при охране их с одной стороны целиками, бутовыми полосами или кострами, забучиваемыми породой, а с другой стороны угольным массивом было крайне трудоемко, дорого и не всегда практически возможно.

Наиболее сложным было поддержание сопряжений лавы со штреками, где часто происходили завалы. Учитывая все это, был предложен эффективный способ охраны подготовительных выработок, позволивший применить систему длинных столбов с отработкой пласта одиночными лавами по восстанию. Этот способ предусматривает охрану выработки с одной стороны деревянными кострами, в центре которых помещены железобетонные тумбы; с другой — угольным массивом (см. рис. 7.3). Использование одних железобетонных тумб в тяжелых горно-геологических условиях не дает желаемого результата. Опыт показал, что при большом давлении тумбы разрушаются, а при неустойчивой кровле «обыгрываются» и перестают выполнять свое назначение. При этом не исключена возможность внезапного разрушения крепи и завала выработки.

Железобетонная тумба, заключенная в четырехугольный деревянный костер, имеет повышенную несущую способность и большую площадь контакта с боковыми породами (за счет нижних и верхних элементов костра). Несущая способность тумбы в костре повышается приблизительно в 2,5 раза. Даже в том случае, когда железобетонные блоки раздавливаются, тумба в

костре продолжает нести нагрузку. Внезапное разрушение крепи выработки или завал ее при этом исключается. В зависимости от горно-геологических условий и срока службы охраняемой выработки устанавливают один или два ряда железобетонных тумб.

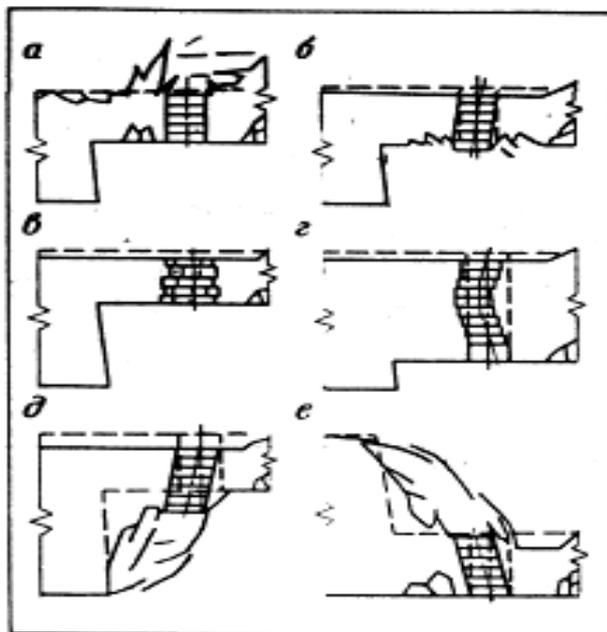


Рис. 7.2. Потеря устойчивости системы боковые породы – тумба при охране подготовительных выработок ж/б тумбами

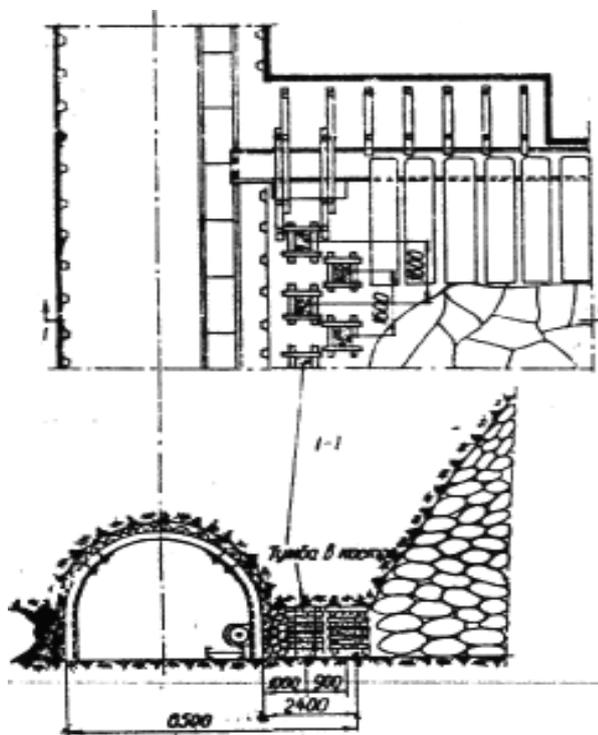


Рис. 7.3. Сопряжение лавы с выемочной выработкой при охране его ж/б блоками

На шахтах ГП «Укрзападуголь» с другими горно-геологическими условиями накоплен опыт по применению податливых охранных сооружений. При повторном использовании участковых выработок довольно широкое распространение (до 30%) вначале получил способ их охраны бутовыми полосами, повсеместно применяющийся на угольных шахтах. Однако этот способ имеет существенные недостатки. Он весьма трудоемок и, кроме того, вследствие большой усадки бутовых полос (до 50-60 % мощности пласта) не обеспечивает удовлетворительное состояние штреков позади лав, особенно на пластах средней мощности, из-за больших величин смещений кровли. Поэтому в настоящее время бутовыми полосами охраняется только 16 % протяженности повторно используемых выработок.

Наибольшее распространение в бассейне получил способ охраны выработок при помощи одного-двух рядов деревянных костров. Трудоемкость этого способа значительно меньше, чем при охране бутовыми полосами, однако высокая податливость костров приводила к большим смещениям кровли. Поэтому на многих шахтах в качестве охранных стали применять сплошные (накатные) костры в сочетании с органной крепью. Жесткость такой крепи достаточно высока, в результате чего уменьшается опускание кровли и не происходит разлома кровли над массивом. Состояние выработок при этом значительно улучшается. Типичный паспорт охраны бортового штрека, поддерживаемого позади лавы с применением сплошных костров, показан на рис. 7.4.

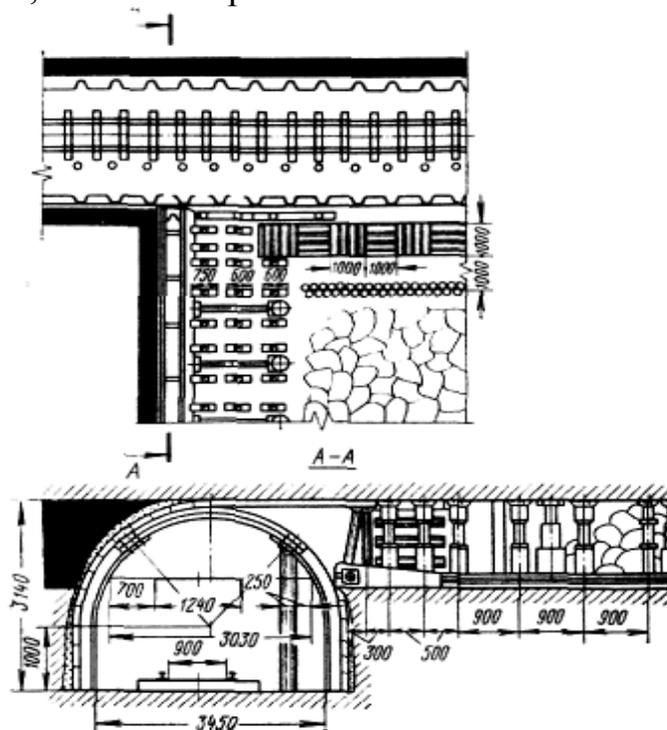


Рис. 7.4. Паспорт охраны бортового штрека

На рис. 7.5 показан паспорт крепления сопряжения лавы с конвейерным штреком, который поддерживается для повторного использования. Для охраны выработок позади лавы используются взаимно

перпендикулярные органические стенки (двухрядная, параллельная штреку и перпендикулярная к ней, ряды которой устанавливаются через 0,625 м). Такая крепь, имея высокую плотность (12-15 стоек на 1 м<sup>2</sup>) и, следовательно, большие жесткость и несущую способность, препятствует опусканию и разрушению кровли в выработках и уменьшает нагрузки на штрековую крепь. Применение взаимно перпендикулярных органических рядов в сочетании с уменьшением расстояния между арками до 0,8 м и установкой органической крепи на лежаны при наличии слабых пород почвы позволяет поддерживать и повторно использовать штреки практически без ремонта. Измерения показали, что при разработке пласта мощностью 1,65-1,75 м потеря высоты выработки при этом способе уменьшается в 2-2,5 раза по сравнению с применением костров.

Еще одним преимуществом описываемого способа охраны является образование вдоль штрека так называемых "карманов", в которых размещаются порода от подрывки почвы и отходы при ремонте затяжки.

Применяемые в Донецком, Кузнецком и Воркутинском бассейнах бесцеликовые способы охраны подготовительных выработок проведением штреков вприсечку к выработанному пространству, установкой железобетонных тумб, применением ограждающих органических и защитных усиливающих крепей дают хорошие результаты лишь в легких и иногда в средних условиях поддержания.

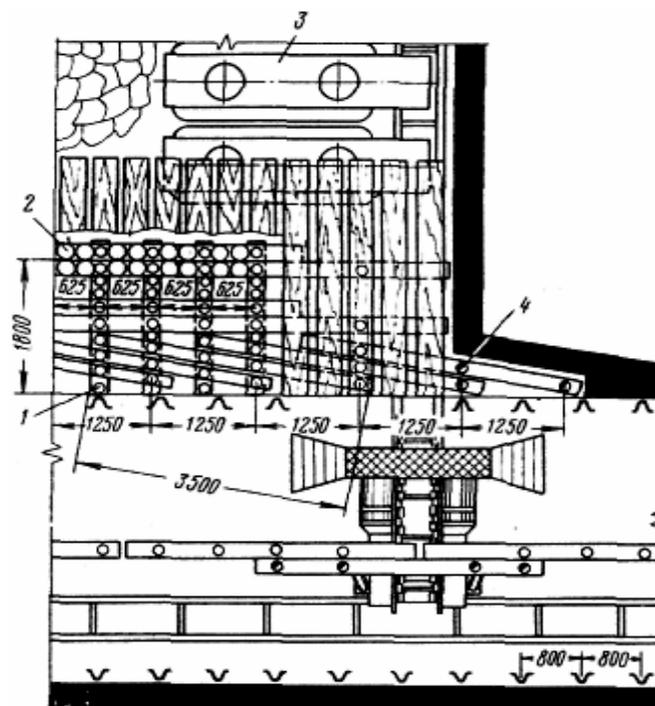


Рис. 7.5. Паспорт крепления сопряжения лавы со штреком

Охрана выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством, путем возведения позади забоя лавы бутовых полос при существующей ручной выкладке последних весьма трудоемка, а большая

податливость бутовых полос при существующей ручной выкладке последних весьма трудоемка, а большая податливость бутовых полос требует существенного увеличения поперечного сечения выработки и применения более сложной и дорогой крепи с повышенной податливостью. Кроме того, после усадки бутовые полосы начинают работать как целики, выдавливая горные породы в выработку.

Лабораторией горной механики КГМИ предложен способ охраны подготовительных выработок, сохраняемых после прохождения лавы бутовыми полосами с предварительным распором и одновременной разгрузкой краевой зоны угольного пласта от напряжений при помощи щелей переменной жесткости (рис. 7.6).

Сущность способа охраны штрека заключается в следующем. Взрывные работы инициируют обрушение зависшей вдоль выработки консоли пород основной кровли, чем достигается разгрузка горного массива от действия опорного давления. Бутовая полоса, состоящая из разрыхленных взрывом пород заполняет всю мощность пласта и имеет предварительный распор и служит опорой высокой прочности для зависающих над выработкой пород. С целью повышения плотности, обеспечения высокой несущей способности и воздухонепроницаемости в бутовую полосу можно нагнетать уплотняющий раствор (цементно-песчаный, известково-песчаный ангидрит, пенополиуретан и др.). Отпор бутовой полосы регулируется соответствующим изменением паспорта буровзрывных работ.

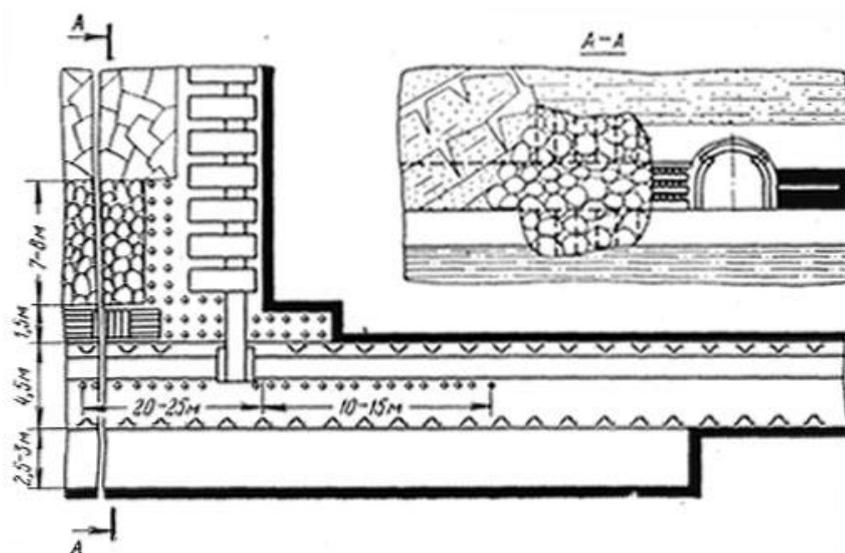


Рис. 7.6. Паспорт охраны конвейерного штрека лавы

Устройство вдоль выработки в краевой части угольного пласта щелей приводит к разгрузке контура от напряжений и перемещению их максимума в глубь массива, что согласуется с одновременным увеличением прочности пород и угля при переходе от плоского (на контуре) к объемному (в массиве) напряженному состоянию.

Для более плавного распределения напряжений вдоль щели она должна обладать переменной жесткостью, которая достигается за счет оставления перемычек, имеющих форму клина с острием, направленным к контуру выработки. Управление распределением напряжений в соответствии с горно-геологической обстановкой достигается выбором параметров щелевой разгрузки (длины и жесткости щели, времени и места ее выбуривания). Степень жесткости щели регулируется изменением размеров и взаимного положения полостей и перемычек.

На шахте «Юбилейная» п/о «Ростовуголь» происходили обрушения породы на значительной площади, что приводило к деформации крепи, уменьшению сечения выработки. Поэтому инженерами шахты предложен метод односторонней разгрузки горного массива с целью охраны подготовительных выработок. Применение охранного комплекса по схеме 1 (см. рис. 7.7а) вызвано необходимостью усиления крепи не только штреков, но и концевых участков лав. Схемой крепления предусматривалось следующее: бутовым штреком с органной крепью расчленил (разрезать) массив осаждающей кровли; используя большую степень усадки бутовой полосы, разрядить на максимально допустимом расстоянии кровлю, создав возможность ее осадки; оказать максимальное сопротивление осаждающейся кровле путем установки в шахматном порядке железобетонных тумб.

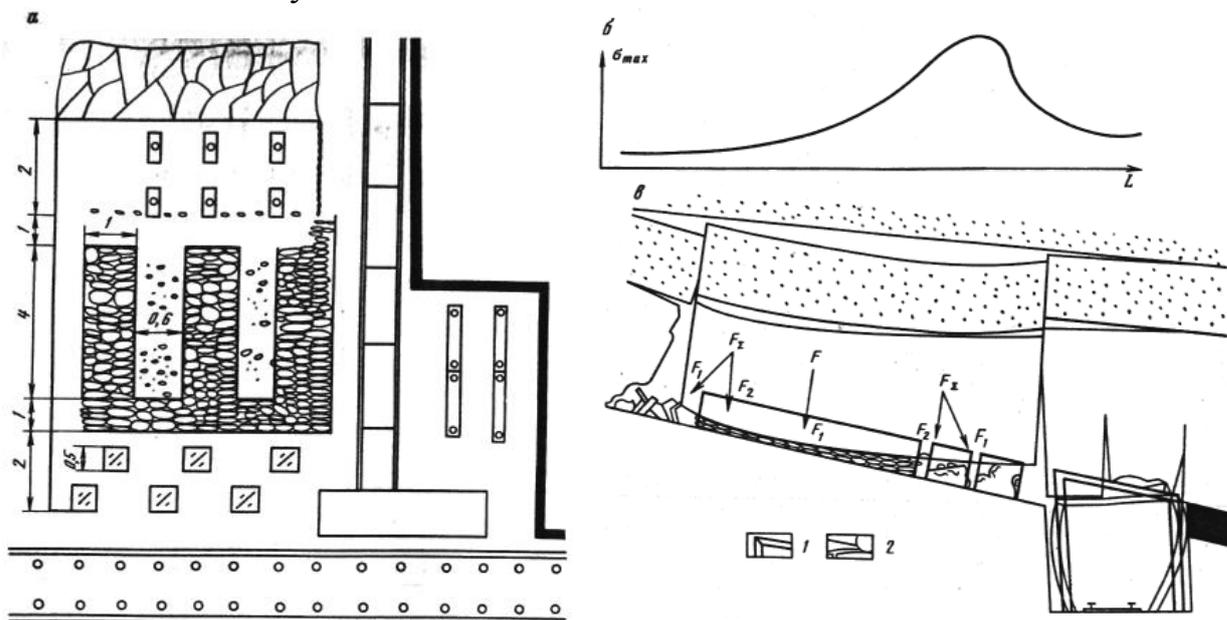


Рис. 7.7. Паспорт управления кровлей по схеме 1 (а), эпюра (б) и схеме (в) напряженного состояния массива горных пород кровли: 1, 2 – положение кровли и охранной крепи соответственно до и после осадки горных пород

На практике происходило следующее: прорывной штрек в комплексе с органной крепью действительно расчленил массив, по бутовой полосе происходила мягкая осадка кровли, но расстояния 5-8 м было недостаточно для желаемой осадки. В комплекс оседаемых пород вовлекались как

непосредственная, так и основная кровли, захватывая значительную площадь распространения опорного давления, намного превосходящую предусмотренную данным комплексом крепления. На железобетонные тумбы приходилась нагрузка, значительно превосходящая их способность к сопротивлению на сжатие. Это явление усугублялось еще и тем, что помимо веса пород, действующих нормально по отношению к тумбам, на них действовала тангенциальная сила опорного давления (см. рис. 7.7б). Тумбы разрушались, вторичные осадки хаотично или по направлению кливажа дробили породы кровли, обыгрывая крепь. В конечном итоге это приводило к разрушению крепи штрека, обрушению пород кровли в штреке на высоту 1,5 м, а иногда и более. Для восстановления штрека приходилось применять комплекс мероприятий, включающий оборку породы, замену крепи, транспортирование породы и др. Средняя скорость восстановления равнялась 85 м/мес.

Кроме того, не следует пренебрегать таким фактором, как трудоемкость установки железобетонных тумб, стоимость которой по расценкам примерно равна стоимости выкладки бутового костра. Это приводило в отдельных случаях к некачественному проведению некоторых трудно контролируемых работ. Отметим, что за основу при изучении поведения кровли при том или ином виде крепления брались только те промежутки, где точность соблюдения паспорта ведения горных работ была подтверждена. Все случаи отклонения от паспорта крепления фиксировались и либо рассматривались как другой тип крепления, либо просто отбраковывались.

Проведенные исследования показали необходимость как можно большего увеличения зоны прогиба кровли, что осуществлялось либо путем увеличения длины бутовой полосы, либо путем ее замены деревянными кострами. В результате поисков пришли к выводу о целесообразности применения охранного комплекса по схеме 2, включающего прорывной штрек, два ряда органной деревянной крепи, бутовую полосу длиной до 10 м и деревянные костры (рис. 7.8а). Эта схема крепления в определенной степени улучшила состояние штреков. Темпы восстановления вентиляционных штреков возросли в среднем на 29 м/мес. Однако восстановление штреков в ряде случаев приводило к необходимости проведения буровзрывных работ для подрывки осевших пород кровли.

Процессы, происходившие на концевых участках лав при охранном комплексе по схеме 2, в большей степени зависели от литологических особенностей кровли. Отделенная от основного массива прорывным штреком и органной крепью кровля образовывала консоль, опирающуюся на нетронутый массив нижнего выемочного столба. При этом опорное давление, по данным ВНИМИ, распространяется на 35-40 м, но ввиду линии обреза, образованной прорывным штреком, максимум напряжений приходился на бутовую полосу. Последняя воспринимала эти нагрузки, осаждаясь на 40-55%; происходил отрыв активной части кровли от

вышележащих слоев (см. рис. 7.8б, в). Характер поведения кровли в данной ситуации полностью зависел от физико-механических, текстурных и структурных свойств, слагающих ее пород. Если кровля представлена одним-двумя, реже тремя слоями пород, обладающими достаточной степенью пластической деформации, обеспечивающей прогиб ее без разрывов сплошности на весь прогибающийся слой, то происходит плавная осадка с уменьшением площади поперечного сечения штрека (см. рис. 7.8б).

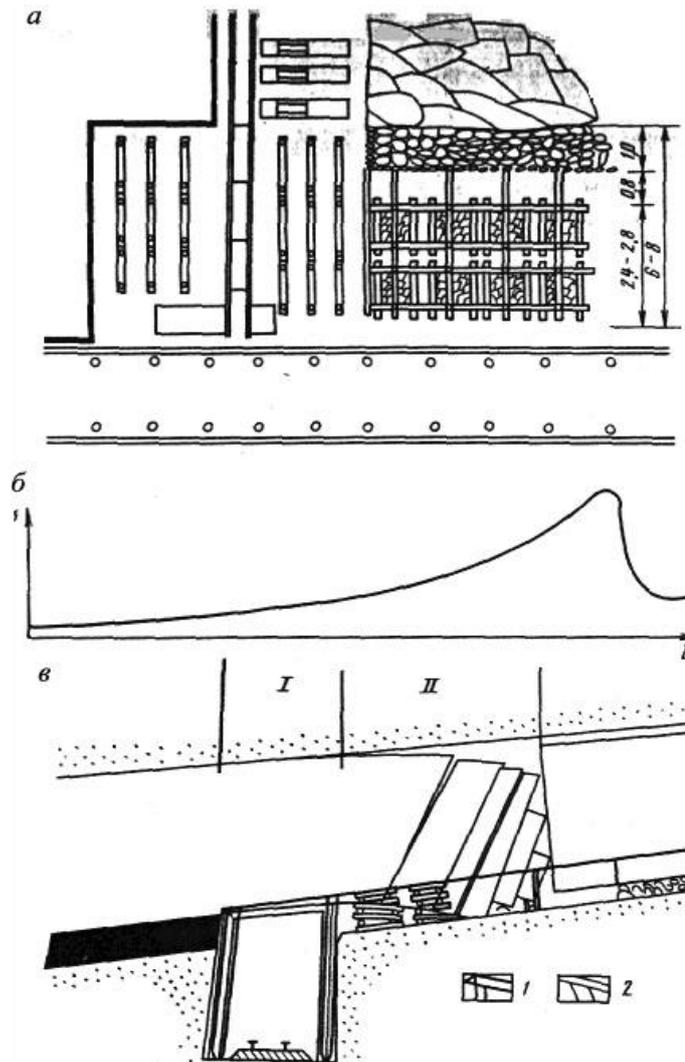


Рис. 7.8. Паспорт управления кровлей по схеме 3 (а), эпюра (б) и схеме (в) напряженного состояния массива горных пород кровли

На шахте «Трудовская» для охраны выработок, проводимых вслед за лавой, применяли дробильно-закладочный пневматический комплекс оборудования «Титан». С помощью этого комплекса порода закладывалась в выработанное пространство лавы, образуя бутовую полосу. Применение комплекса «Титан» позволяет: механизировать процесс закладки и тем самым освободить проходчиков от укладки породы от подрывки в выработанное пространство вручную; увеличить плотность породной полосы с 0,35-0,40 до 0,74-0,77 плотности породы в массиве и снизить

затраты на поддержание штрека; сократить численность проходческой бригады с 65 до 30-35 человек, повысить производительность труда проходчиков, снизить затраты на проведение штрека; ликвидировать отставание породного забоя штрека от лавы и увеличить производительность очистного забоя.

С целью повышения нагрузок на действующие очистные забои, которые ограничены по газовому фактору, на шахте возникла необходимость применения прямоточной схемы проветривания выемочных участков. Это приводит к необходимости поддержания конвейерных выработок позади очистных забоев. В связи с этим на шахте «Красноармейская-Западная № 1» применена технология поддержания подготовительных выработок с применением литых полос.

Возведение литой полосы у конвейерного штрека осуществлялось в следующем порядке. В подготовительный период рабочие добычного участка ежемесячно осуществляют крепление ниши после передвижки нижней приводной станции и устанавливают ряды деревянной органной крепи по простиранию и восстанию пласта (рис. 7.9).

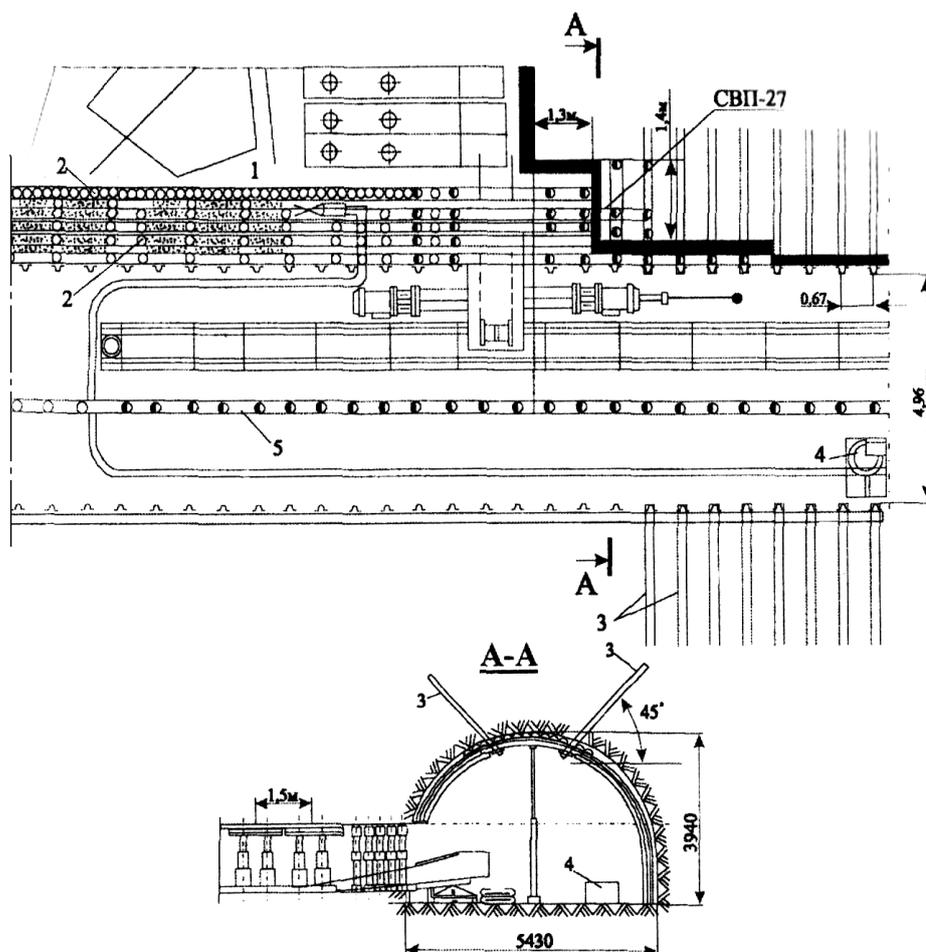


Рис. 7.9 – Схема возведения литой полосы у конвейерного штрека со стороны выработанного пространства: 1 – литая полоса; 2 – органная крепь; 3 – подхватывающие анкера; 4 – насосный агрегат; 5 – крепь усиления штрека на протяжении 60 м.

В пределах этих рядов в последующем размещается гибкая опалубка и виде полиэтиленового мешка. В штреке впереди очистного забоя бурят парные скважины под анкера и верхние сегменты постоянной металлоарочной крепи с помощью хомутов, клеевой композиции и анкеров длиной 2,4 м «подхватывают» к породам кровли. Такой подхват верхнего элемента крепи предотвращает его посадку при демонтаже боковой ножки металлокрепи во время передвижки привода лавного конвейера, благодаря чему удаление стойки перед проходом лавы и ее установка после прохода не вызывают затруднения. Подхватывающие анкера устанавливаются так, чтобы зацементированная часть штанги полностью пересекала блок обрушения. Это обеспечивает передачу нагрузки на анкер, а не на соединительную пластину – самое слабое место системы. Для восприятия этих нагрузок устойчивым массивом за пределом блока обрушения прочность анкера на растяжение должна составлять не менее 250 кН, длина участка штанги, закрепленного в ненарушенных породах кровли – не менее 0,5 м.

Сочетание анкерной крепи с крепью сопряжения состоящей из гидравлических стоек СУГ-17, устанавливаемых под деревянный брус на протяжении 60 м повысило устойчивость сопряжения лавы со штреком и позволило обеспечить достаточную безопасность работ в том случае, если стойки арочной крепи демонтируют заранее на участке, равном сменному подвиганию забоя.

Для возведения литой охранной полосы шириной 1,0 м использовалась порошкообразная цементно-строительная смесь и вода. При смешивании воды со связующей смесью соотношение компонентов составляет 1,1:1. Транспортировка связующего раствора осуществлялась без участия сжатого воздуха. В месте ведения работ практически отсутствовало пылеобразование. Связующий материал литой полосы (аналогичный мелкозернистому бетону) быстро затвердевает, уже через сутки его прочность на одноосное сжатие достигает 7,4 МПа, а спустя 28 суток – 14-15 МПа.

В результате внедрения способа охраны конвейерного штрека литой полосой была доказана возможность применения прямоточной схемы проветривания выемочных столбов на пласте мощностью 1,6-2,0 м. За счет обеспечения прямоточной схемы проветривания достигнуто увеличение среднесуточных нагрузок на очистной забой на 500 тыс. т/сут. при концентрации метана в исходящей струе до 1,3 % на всем протяжении выемочного участка. При такой технологии скорость подвигания очистного забоя достигает 8 м/сут. и не является сдерживающим фактором для высоконагруженных лав.

Обеспечена лучшая сохранность и работоспособность дегазационных скважин. Устранены утечки воздуха через выработанное пространство. Улучшились условия труда за счет исключения из схемы проветривания газоотсоса, упразднились расходы на его организацию и содержание. За счет изменения схемы проветривания повышен уровень безопасных условий труда горнорабочих.

Однако промышленные испытания импортных материалов для изготовления литых полос выявили следующие недостатки: высокая стоимость материалов; недостаточная несущая способность бетона, изготовленного на их основе. Из-за низкой прочности литой полосы безремонтная эксплуатация конвейерной выработки в качестве вентиляционной оказалась невозможной. После отхода лавы от разрезной печи на 500 м потеря проектной площади поперечного сечения штрека составила 35-50 %. Из 1150 м штрека 120 м было перекреплено, а на остальных 1030 м произведена поддирка пород почвы на глубину 0,5-1,0 м. Следует отметить, что на всем протяжении выемочного поля в процессе ведения очистных работ на сопряжении лавы с конвейерным штреком осуществлялась подрывка пород почвы на величину 0,3-0,8 м отбойными молотками или БВР. Это техническое решение, возможно, было ошибочным. Если сравнить породный блок в почве выработки с балкой, на которую снизу действует усилие, то, подрезав подрывкой этот монолитный породный слой в зоне интенсивного опорного давления, происходит более активное сдвижение пород на контуре выработки. Ослабленные слои пород почвы, деформируются давлением снизу и происходит более интенсивное заполнение сечения выработки расслаивающейся породой. Поэтому работы, связанные с подрывкой в охраняемом протяжении выработки желательно проводить в зоне установившегося опорного давления, т.е. 80-100 м от лавы.

С целью установления возможности повторного использования конвейерных штреков в качестве вентиляционных была разработана новая технология охраны выработок путем сооружения жестких полос в сочетании с установкой усиливающей анкерной крепи.

В настоящее время в шахтах ограничено применяется газобетонная крепь. Элементами газобетонной крепи являются стандартные блоки  $0,6 \times 0,3 \times 0,2$  м из газобетона марки В3,5 Докучаевского завода ЖБИ. Между всеми слоями газобетонных блоков укладываются прокладки из обрезных досок.

Основными элементами крепежных конструкций являются стандартные газобетонные блоки размерами  $0,6 \times 0,3 \times 0,2$  м. Вес одного блока при влажности до 20 % не превышает 26-27 кг в зависимости от исходной плотности газобетона.

Возведение охранной околоштрековой полосы начинается с укладки нижнего ряда блоков на расчищенную почву широкой гранью ( $0,6 \times 0,3$  м). Второй и последующий ряды укладываются в порядке, обеспечивающем перевязку вертикальных и продольных швов в крепежной конструкции (рис. 7.10). Для качественной перевязки швов при заданных размерах газобетонных блоков протяженность участка полосы, возводимого в течение одной смены, должна быть не менее 0,9 м. Порядок укладки блоков должен обеспечивать также сплошность конструкции, исключая оставление в границах полосы стоек индивидуальной крепи. Для того, чтобы крепежная конструкция быстрее начала воспринимать горное давление, сразу после ее возведения в зазор между верхним рядом блоков и кровлей пласта

укладывают обаполы или любые обрезки лесоматериалов.

Подгонка крепежных конструкций по мощности пласта осуществляется за счет подсыпки в ее основание песка или породной мелочи, как это показано на рис. 7.11. Размеры площадки из насыпной породы (песка) должны превышать размеры газобетонной тумбы или полосы в плане на величину не менее 0,3 м во все стороны. Высота подсыпки не должна превышать 0,1 м.

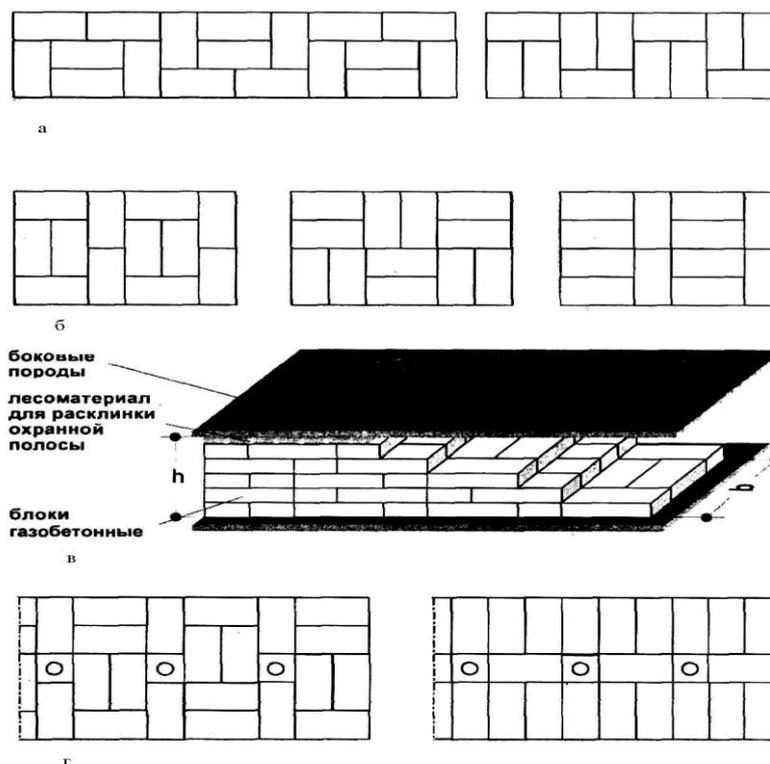


Рис. 7.10 – Способы укладки и перевязки газобетонных блоков при возведении охранных околотрековых полос: а – варианты укладки газобетонных блоков при ширине охранной полосы 0,9 м; б – варианты укладки блоков при ширине охранной полосы 1,2 м; в – концевой участок охранной полосы шириной 1,2 м; г – варианты укладки газобетонных блоков при оставлении в границах охранной полосы деревянных и металлических стоек

Для повторного использования выработки в качестве способа охраны применяют сплошную полосу из газобетонных блоков. Работы по возведению газобетонных крепежных конструкций выполняются в ремонтную смену звеном ГРОЗ из 4-х человек.

Газобетонная тумба имеет высокое пиковое сопротивление нагрузке (до 1700 кН) и по этому показателю уступает только блочной железобетонной тумбе (БЖБТ) с прокладками из древесностружечных плит. Но в отличие от последней конструкции газобетонная тумба является податливой крепью.

По величине остаточного сопротивления и механическим характеристикам газобетонная опора не имеет себе равных. И еще одно несомненное ее преимущество заключается в том, что крепежные конструкции из газобетонных блоков во всем диапазоне податливости

являются крепью постоянного сопротивления.

Помимо того, что газобетон имеет хорошие деформационно-нагрузочные характеристики, газобетонная крепь обладает еще целым рядом технологических и экономических достоинств, которые удовлетворяют практически всем перечисленным выше требованиям к шахтной крепи.

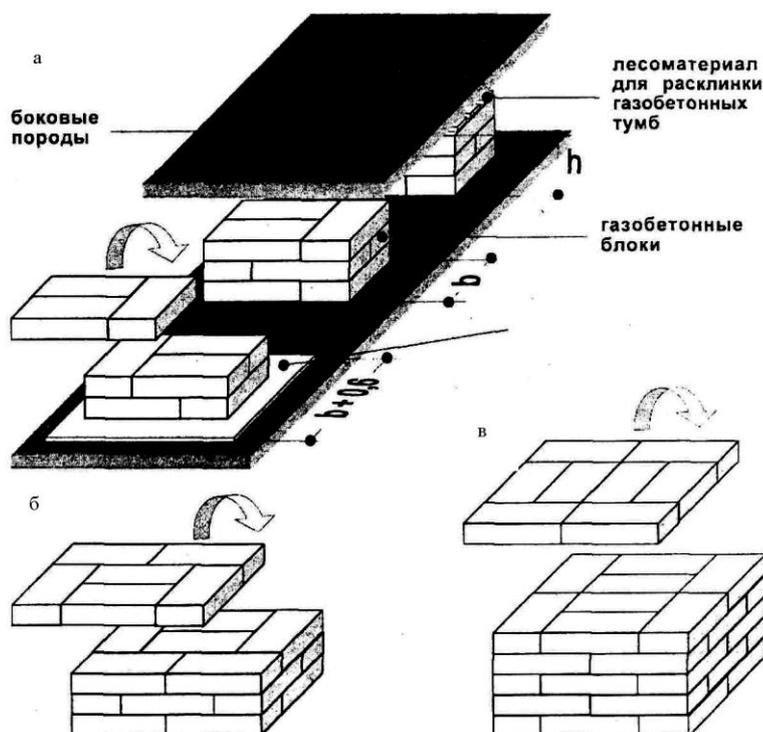


Рис. 7.11 – Способы укладки и перевязки газобетонных блоков при возведении охранных крепежных конструкций в виде сборных тумб: а – варианты укладки газобетонных блоков и расположение тумб вдоль охраняемой выработки при размерах крепежных конструкций в плане  $0,6 \times 0,9$  м; б – варианты укладки блоков при размерах газобетонной тумбы в плане  $0,9 \times 1,2$  м; в – варианты укладки блоков при размерах газобетонной тумбы в плане  $1,2 \times 1,2$  м

Имея плотность порядка  $600-700 \text{ кг/м}^3$ , газобетонные блоки, так же как и древесина, значительно легче железобетонных плит и при влажности до 20 % их вес не превышает 26-27 кг. Поэтому вопрос о транспортабельности элементов охранных крепежных конструкций и трудоемкости погрузочно-разгрузочных работ однозначно решается в пользу газобетона, а унификация размеров газобетонных блоков (элементов крепи) обуславливает простоту и технологичность процесса сборки крепежных конструкций. Унификация газобетонных блоков позволяет также механизировать процессы погрузки и разгрузки элементов крепи с использованием простейших погрузочных средств.

Газобетон относится к огнестойким материалам. Он не токсичен, не подвергается коррозии и гниению, может длительное время храниться без изменения своих свойств, легко обрабатывается любыми ручными

инструментами. Газобетонные блоки хорошо пилятся, режутся, рубятся, строгаются, сверлятся, в них легко забиваются гвозди, скобы и различные штыри.

Производство газобетонных блоков базируется исключительно на производственных мощностях и сырьевой базе Украины, и их стоимость, несмотря на резкие колебания уровня цен, всегда была ниже стоимости БЖБТ и лесоматериалов (рудничной стойки).

Для поддержания повторно-используемых подготовительных выработок, в последние 5 лет, в шахтоуправлении «Донбасс» (г. Донецк), широко применяются жесткие полосы из породы-цементных полублоков.

Породо-цементные полублоки изготавливаются непосредственно на территории шахты и имеют размеры  $0,4 \times 0,1 \times 0,2$  м. Стоимость изготовления полублока составляет 1,5 грн. Опыт применения данной конструкции в условиях ш/у «Донбасс» показал его высокую экономическую и техническую эффективность, не уступающую охране тумбами БЖБТ. Так, в условиях пласта  $k_8$  мощностью 1,1 м технология применения охранного сооружения следующая. С верхней стороны конвейерного штрека поддерживается косовичник шириной 4-4,5 м. По нижней стороне косовичника, за ножками металло-арочной крепи штрека выкладывается из породы вручную на всю мощность пласта плотная породная стенка от ножек металло-арочной крепи штрека до жесткой полосы. Выше плотной породной стенки выкладывается жесткая полоса шириной 2 м, вручную, из полублоков размером  $0,4 \times 0,1 \times 0,2$  м каждый, на глине, на всю мощность пласта по схеме перевязки кирпича при кладке стен, с отставанием от забутней стойки секции механизированной крепи ниши на 0,8-2,4 м.

Фрагмент паспорта выемочного участка при отработке лавы по пласту  $k_8$  приведен на рис. 7.12.

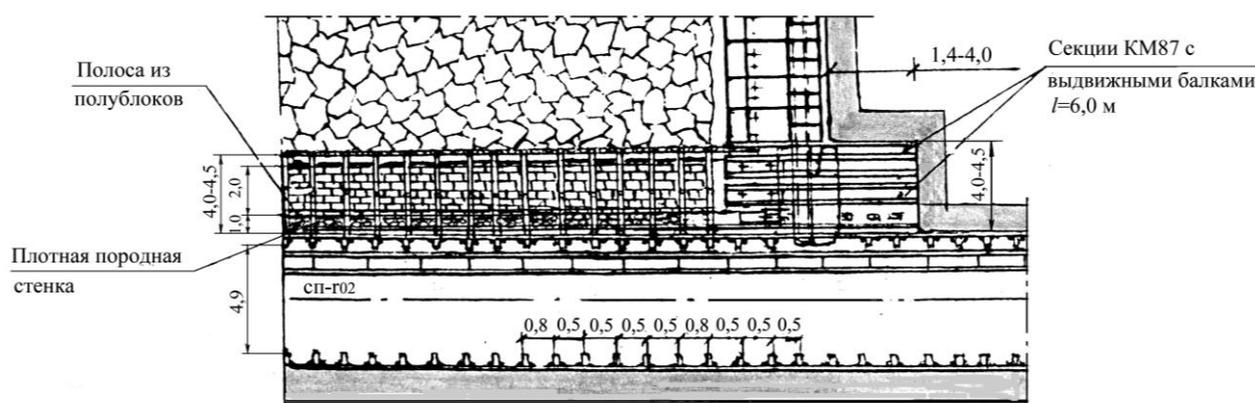


Рис. 7.12 – Фрагмент паспорта выемочного участка при отработке лавы по пласту  $k_8$

В условиях ограниченности материальных ресурсов перспективным становится применение жестких охранных сооружений, возводимых из не дорогих (подручных) материалов, таких как породные опоры с

ограничивающими поверхностями и породные стойки. Эти конструкции, разработанные в ДонНТУ, показали себя с положительной стороны на ряде шахт Донбасса и имеют хорошие перспективы дальнейшего использования.

На шахте "Ореховская" лабораторией горной механики КГМИ предложен способ охраны подготовительных выработок, сохраняемых после прохождения лавы, бутовыми полосами с предварительным распором и одновременной разгрузкой краевой зоны угольного пласта от напряжений при помощи щелей переменной жесткости (рис. 7.13).

Сущность способа охраны штрека заключается в том, что взрывные работы инициируют обрушение зависающей вдоль выработки консоли пород основной кровли. Этим достигается разгрузка горного массива от действия опорного давления. Бутовая полоса, состоящая из разрыхленных пород, заполняет всю мощность пласта, имеет предварительный распор и служит опорой высокой прочности для зависающих над выработкой пород. Устройство щелей вдоль выработки у краевой части угольного пласта приводит к разгрузке контура от напряжений и перемещению их максимума вглубь массива.

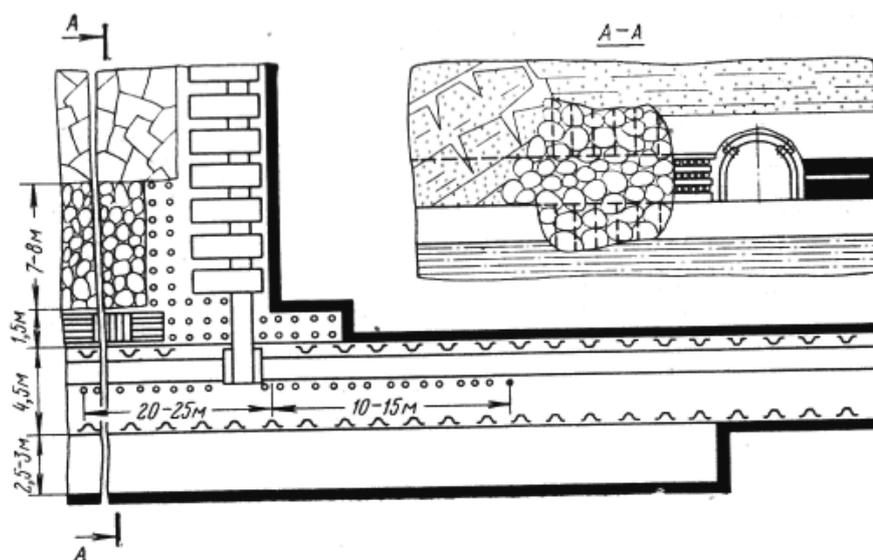


Рис. 7.13. Паспорт охраны штрека лавы бутовыми полосами с предварительным распором и одновременной разгрузкой краевой зоны угольного пласта

Таким образом, способ охраны подготовительных выработок, сохраняемых после прохода лавы, бутовыми полосами позволяет осуществлять безремонтное поддержание выработки.

Взрывную бутовую полосу применяют на шахтах Карагандинского бассейна. Авторами разработан способ сохранения выемочной выработки позади очистного забоя, позволяющий механизировать работы, связанные с созданием твердеющей полосы (рис. 7.14).

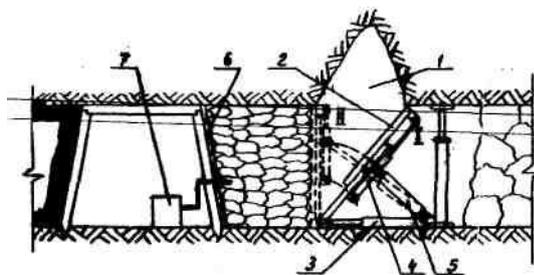


Рис. 7.14. Охрана выработки с помощью твердеющей полосы

Часть кровли 1 над наклонным полком 2, установленным в положение 1, обрушивают и взрывают. Отбитая порода скатывается по наклонному перекрытию 2 в место укладки. После включения гидродомкратов 3-5 породу уплотняют, формируя бутовую полосу, ограниченную с одной стороны крепью выработки и опалубкой 6, а с другой – перекрытием 2, установленным в вертикальное положение. Затем в уплотненную породу закачивают цементный раствор насосной установкой 7.

Проведенный выше обзор применения бутовой полосы и деревянных сооружений показал, что эти способы охраны имеют как свои преимущества, так и ряд недостатков. Древесина легко обрабатывается. Деревянные сооружения отличаются простотой возведения. Вместе с тем, выкладываемые из круглого леса деревянные клетевые костры обладают значительной усадкой. При применении органной крепи в слабых породах происходит "обыгрывание" ее породами кровли или вдавливание в почву. При этом конструкция теряет устойчивость. Накатные костры обладают незначительной усадкой, но при их сооружении используется большое количество древесины.

Бутовые полосы выкладываются из рядовой породы, но, также как и четырехгранные костры, имеют высокую усадку (50-60%). Тем не менее, из проведенного обзора способов охраны с использованием бутовых полос видно, что при применении взрывной бутовой полосы в сочетании с другими видами крепи обеспечивается удовлетворительное состояние выработок.

Как возведение деревянных сооружений, так и бутовых полос, связано с большой долей ручного труда, поэтому на шахтах Донбасса широкое распространение получили блочные железобетонные тумбы (БЖБТ).

Исследования, проведенные на шахте "Суховская" показали, что применение БЖБТ в чистом виде при динамическом воздействии основной кровли приводит к ухудшению состояния штрека. Применение прокладок позволило достичь равномерного нагружения тумб, что сглаживало динамическое воздействие кровли.

На шахте "Рассвет" применение в слабых породах БЖБТ по сравнению с бутовой полосой благоприятно сказывалось на устойчивости выработок. Тумбы предохраняли крепь выработки в активной зоне сдвижения породного массива.

На шахте 17-17 бис комбината Донбассантрацит возникли сложности при поддержании выемочного штрека в зоне влияния очистных работ

способом охраны бутовыми полосами, а также кострами, которые подбучиваются породой. Особенно большие трудности были связаны с поддержанием сопряжений лавы со штреком. В этом месте часто происходили завалы. Инженерами этой шахты было принято решение разместить жесткие тумбы БЖБ внутри деревянных костров (рис. 7.15), т.к. применение БЖБТ в тяжелых горно-геологических условиях в "чистом" виде не дает желаемого результата.

Железобетонная тумба, заключенная в деревянный костер, имеет повышенную несущую способность и большую площадь контакта с боковыми породами. При этом даже разрушенная тумба несет нагрузку, т.к. деревянный костер создает подпор и препятствует рассыпанию отслоившихся кусков. Применение способа охраны с расположением тумб в кострах позволило сохранить выработку и использовать ее повторно.

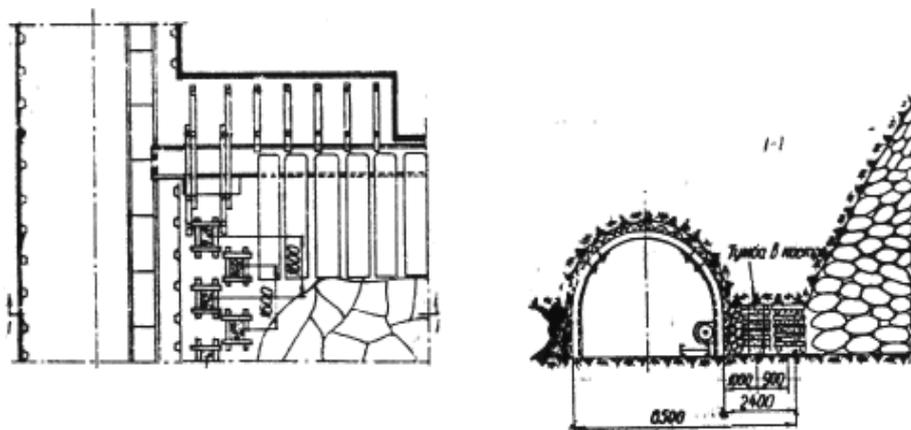


Рис. 7.15. Сопряжение лавы с выемочной выработкой при охране его ж/б блоками внутри деревянных костров

Для охраны выработок на шахте им. Бажанова применялся способ возведения полос и разреженных железобетонных блоков. При этом со стороны выработанного пространства выкладывалось два сплошных ряда деревянных костров, а со стороны транспортного штрека – стенка из блоков БЖБТ. Пустоты закладывались породой, получаемой от подрывки штрека (рис. 7.16). Этот способ показал хорошие результаты по поддержанию выработки.

При применении БЖБТ одной из главных задач является выбор рациональных параметров их заложения и определение их устойчивости при взаимодействии с боковыми породами.

Опыт применения БЖБТ позволил установить шесть случаев неудовлетворительной работы системы боковые породы – тумба. Применение тумб в неустойчивых породах кровли приводит к раздавливанию и обрушению последних (рис. 7.17а).

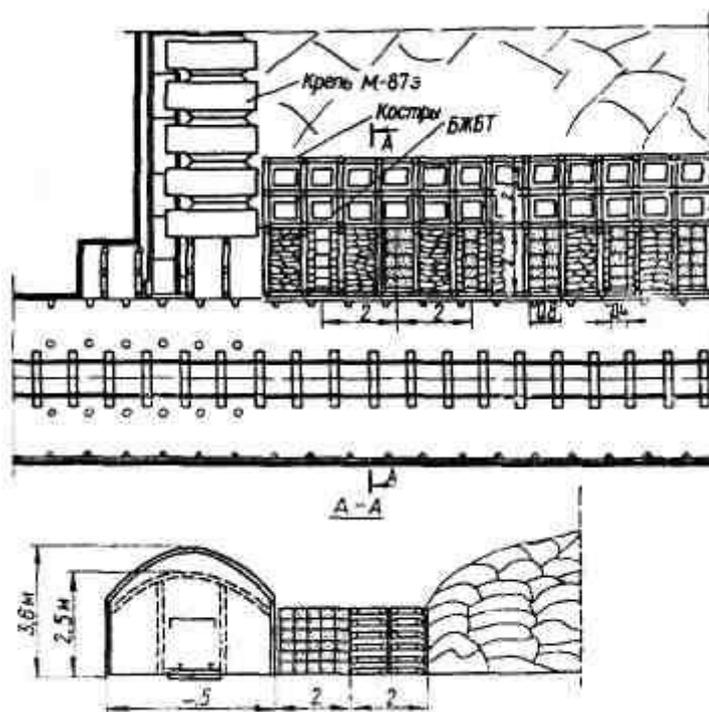


Рис. 7.16. Схема охраны подготовительной выработки разрезными стенками из БЖБТ

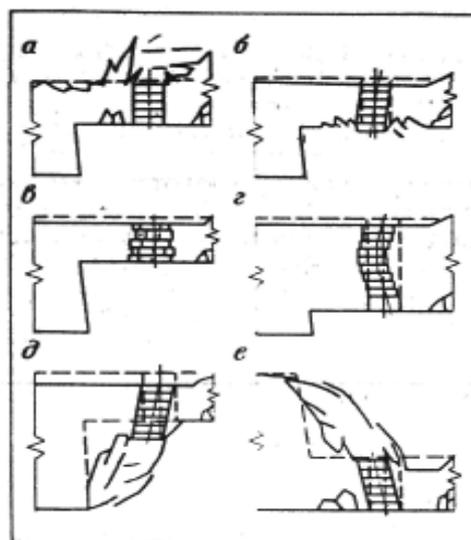


Рис. 7.17. Потеря устойчивости системы «боковые породы-тумба» при охране подготовительных выработок ж/б тумбами

При слабой почве (рис. 7.17б) тумбы вдавливаются в нее, как правило, с отклонением от нормального первоначального положения. При превышении ожидаемой нагрузки на тумбы со стороны пород кровли происходит их раздавливание (рис. 7.17 в). Укладка более десяти блоков в тумбе приводит к искривлению ее оси или отклонению от нормали к плоскости пласта (рис. 7.17г).

Искривление оси тумбы приводит к полной потере ее устойчивости. При недостаточном удалении оси тумбы от контура выработки и наличии слабых пород приводит к скалыванию кровли или почвы (рис. 7.17 д, е).

Проведенный анализ применения БЖБТ показал, что охрана выработок опорами высокой прочности является эффективным способом поддержания. Однако при низких прочностных характеристиках пород непосредственной кровли и почвы применение тумб приводит к "обыгрыванию" последних породами кровли и выдавливанию почвы в сторону выработки. Наиболее благоприятные условия применения тумб БЖБ создаются при среднеобрушающихся породах кровли и устойчивых породах почвы.

Вместе с тем, применение БЖБТ позволяет сократить трудоемкость работ по сравнению с возведением бутовой полосы. Но, несмотря на отмеченные преимущества, БЖБТ имеют и ряд недостатков, которые ограничили повсеместное применение данного способа охраны. Одним из главных недостатков является стоимость БЖБТ. По данным стоимость БЖБТ в 2-2,5 раза превысила стоимость лесоматериалов. Немаловажным и негативным фактором является большой вес одного блока. Поэтому в условиях тонких пластов возведение тумб представляет значительную сложность, т.к. все работы осуществляются вручную.

Стремление механизировать процесс возведения жестких опор привело к созданию наиболее перспективного способа охраны литыми полосами. Этот способ впервые применен на шахтах Германии и Великобритании. Литая полоса играет роль режущей крепи для зависающих пород кровли пласта в выработанном пространстве. Обрушение пород кровли за счет возведения литой полосы приводит к уменьшению нагрузки на крепь и, соответственно, улучшению состояния выемочного штрека.

Наиболее рациональной областью применения литых полос, является легкообрушающиеся породы кровли и устойчивые породы почвы.

Не рекомендуется осуществлять охрану выработки литыми полосами при весьма неустойчивых породах кровли, т.к. это приводит к ее обыгрыванию. На пластах с малопрочными породами почвы применение литых полос также нерационально, т.к. полоса вдавливается в виде штампа, провоцируя пучение почвы.

Ширина литой полосы зависит от вынимаемой мощности угольного пласта. Согласно ВНИМИ, ширина полосы должна быть не менее 1 м. Расстояние между полосой и контуром выработки определяется устойчивостью пород кровли. Если кровля пласта представлена устойчивыми породами, это расстояние принимается равным не менее высоты нижней подрывки. При неустойчивых породах литая полоса возводится непосредственно за контуром выработки.

Максимальное отставание полосы от крепи лавы не должно превышать суточного подвигания очистного забоя, т.к. чем больше это расстояние, тем больше опускание и степень расслоения кровли пласта и, соответственно, вероятность обрушения непосредственной кровли.

В качестве закладочного материала литой полосы следует использовать смеси из цементной, ангидритовой и фосфогипсовой основы с

различными инертными наполнителями. Материал должен иметь достаточную начальную прочность для поддержания кровли на сопряжении лавы со штреком, прочность должна быть близкой к прочности целика с противоположной стороны штрека с целью исключения концентрации напряжений со стороны лавы.

Оборудование для возведения околострековых полос устанавливается в подготовительных выработках. Одна из технологических схем приведена на рис. 7.18.

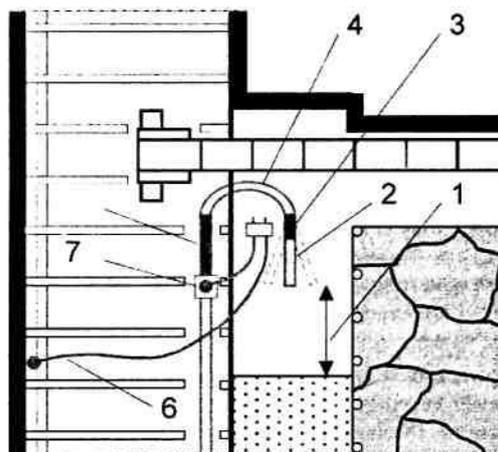


Рис. 7.18 Схема укладки охранной околострековой полосы: 1 – расстояние от места разгрузки до откоса материала 1-4 м; 2 – шланг длиной минимум 2,0 м; 3 – прямолинейный успокоительный отрезок трубы длиной 0,5 м; 4 – криволинейный участок; 5 – прямолинейный успокоительный участок длиной 1,0 м; 6 – трубопровод воды; 7 – смесительное сопло

Для отливки литой полосы к смесительному соплу подводят два трубопровода: по одному трубопроводу подается вода; по другому – порошкообразная смесь. Полученная при перемешивании гидросмесь подается из сопла в околострековую полосу.

На сегодняшний день существует технология возведения литых полос из плоских подушек Буллфлекс и телескопических стоек BTS.

Тумба Буллфлекс диаметром 950 мм состоит из отрезка тканевого рукава, торцовых деревянных пластин толщиной 19 мм и внешнего каркаса. Соединение всех деталей тумбы производится в шахте непосредственно в месте установки. Сначала производится сборка каркаса. Во внутрь каркаса помещается отрезок рукава Буллфлекс. После этого в рукав производится под давлением нагнетание смеси. Плоская подушка из ткани Буллфлекс в начальном состоянии имеет размеры 1,0×1,5 м. В центральной части подушки вставляется тонкая деревянная стойка, препятствующая сползанию подушек при их заполнении строительной смесью. Охранная полоса выкладывается из рядов положенных друг на друга подушек. Нижняя подушка заполняется строительной смесью без избыточного давления, а верхняя подушка заполняется под давлением. Это необходимо

для того, чтобы обеспечить начальный распор охранной полосы.

Телескопическая стойка BTS, заполняемая быстротвердеющей смесью BTS-2, состоит из двух перемещающихся одна в другую стальных труб. Заполнение внутренней трубы строительной смесью приводит к распиранию стойки.

Несмотря на все отмеченные преимущества, этот способ является наиболее дорогостоящим. Стоимость сооружения одного метра литой полосы составляет до 3000 руб. Также большим недостатком является громоздкое оборудование, которое включает пневматические и гидравлические установки, трубопроводы, бункеры и др. Поэтому применение литых полос целесообразно при скорости подвигания очистного забоя выше 2 м/сут. При скорости подвигания лавы свыше 6 м/сут скорость отверждения строительной смеси должна быть очень высокой, иначе применение такой полосы будет неэффективным.

Вместе с тем, следует отметить, что при жестких конструкциях (железобетон, литая полоса) увеличение скорости подвигания забоя может привести к негативным последствиям: жесткая крепь препятствует опусканию вышележащей толщи. Это может привести к разрушению крепи и нарушению сплошности пород на контакте с крепью. Для сохранения штрека в этом случае нужно применять бутовую полосу. Крепь, в этом случае должна иметь податливость не менее 0,6т.

Кроме наиболее известных способов охраны, анализ которых был проведен выше, на шахтах Донбасса применяют полосы, выкладываемые механизированным способом; пневмобаллонную крепь; газобетонные блоки. Но применение этих способов встречается редко.

Породные полосы возводятся комплексами "Титан". Этот способ охраны применяется при сплошной системе разработки. Порода, получаемая от проведения, при помощи пневматического дробильно-закладочного комплекса "Титан", сразу закладывается в выработанное пространство. Опыт внедрения и эксплуатации комплекса "Титан" показал, что он обеспечивает высокий уровень механизации закладочных работ, достаточную производительность, дальность транспортирования и плотность закладки, повышает производительность труда.

При всех положительных качествах комплекса Титан-1, необходимо отметить, что это достаточно громоздкое и дорогостоящее оборудование. Средняя скорость проходки с комплексами Титан-1 составляет 100 м/мес, при этом она ограничивается скоростью подвигания лавы. При сплошной системе разработке такую скорость подвигания можно достигнуть в хороших горно-геологических условиях. Учитывая, что отработка пластов на шахтах Донбасса ведется в сложных условиях, применение этого оборудования может оказаться нецелесообразным.

Выработки которые используются повторно, испытывают неоднократное воздействие опорного горного давления, возникающего при ведении очистных работ. Широко применяемые на глубоких шахтах

способы охраны не в состоянии противостоять разрушающему воздействию горного давления при ведении очистных работ. Опыт работы глубоких шахт показал, что самым надежным средством охраны горных выработок является способ, в основу которого положен принцип разгрузки пород от горного давления, что позволяет максимально снизить вредное влияние последнего на выработки при ведении горных работ. Этот способ основан на применении пневмобаллонной креп. Технологическая схема применения пневмобаллонов показана на рис. 7.19.

После прохода лавы кровля, закрепленная анкерами, плавно опускается на пневматические костры без нарушения сплошности. Данная схема позволяет обеспечить устойчивое состояние выработки и ее безремонтную эксплуатацию при повторном использовании.

Однако, несмотря на отмеченные преимущества, широкого распространения в шахте эти конструкции не получили главным образом из-за малой жесткости пневмобаллонов при их заполнении шахтным сжатым воздухом. Кроме того, пневмобаллоны имеют высокую стоимость, а их повторное использование затруднено в связи с большой сложностью создания безопасных условий при их демонтаже.

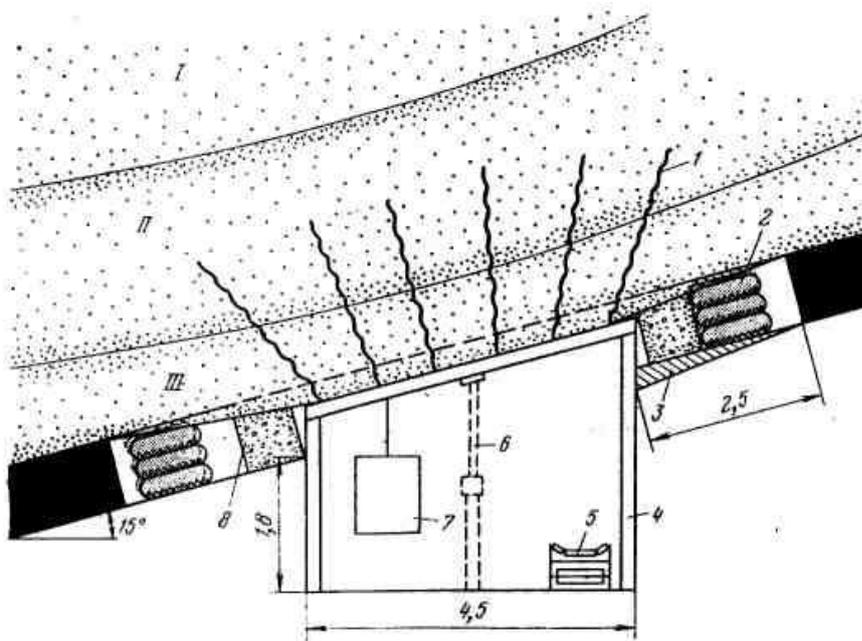


Рис. 7.19. Схема расположения оборудования и крепления выработки пневмобаллонной крепью: 1 – винтовые анкеры; 2 – пневмобаллонная крепь; 3 – присекаемая часть породы пласта; 4 – металлическая крепь МИК-4; 5 – конвейер; 6 – крепь усиления; 7 – монорельсовая дорога; 8 – защитная полоса; I – песчаник; II – песчанистый сланец; III – глинистый сланец

В ДГИ (проф. Кузьменко А.М.) разработан способ охраны выработок, имеющий сходство с газобетонными блоками, полосами из облегченных блоков. Эти блоки изготавливаются из твердеющей смеси на базе цемента, в состав которой входят: фосфогипс, песок, золошлаковые отходы, древесная стружка.

Опыт применения облегченных блоков показал хорошие результаты. Данный способ охраны является технически и экономически целесообразным к применению в повторно используемых выработках.

Идея использования отходов отражена в работе ПечорНИИпроекта. С целью экономии древесины и снижения затрат на возведение способов охраны выработок ими предложено использовать отработанные автомобильные покрышки (рис. 7.20).

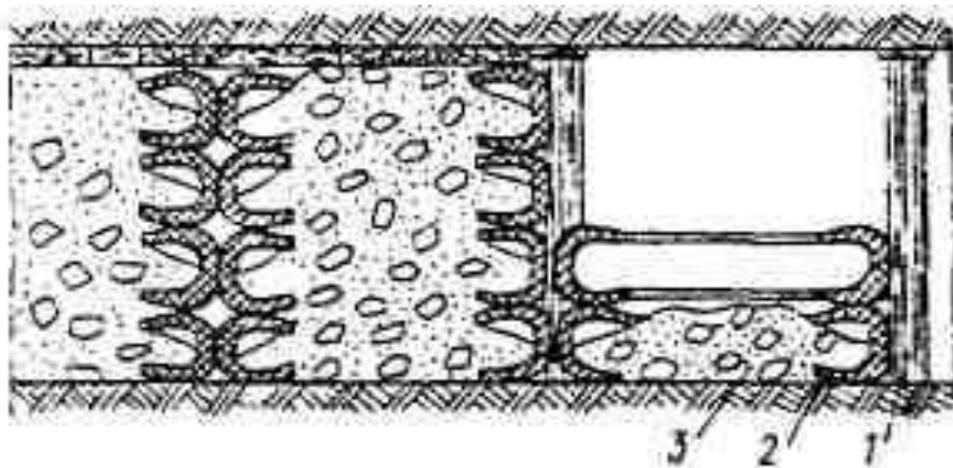


Рис. 7.20. Охрана выработок резино-породными тумбами: 1 – стойка предохранительная; 2 – автомобильная шина; 3 – закладочный материал из кусков породы и угольного штыба с опилками

Технология реализации этого способа охраны заключалась в том, что в выработанном пространстве вдоль выработки укладывались старые шины. Образовавшиеся пустоты засыпали кусками породы и угольно-породным штыбом. Натурные наблюдения, проведенные на ш. "Центральная", показали, что применение предлагаемого способа возможно для охраны выработок. С точки зрения технологичности данное охранное сооружение обладает одним недостатком. При небольшом расстоянии между кровлей и крайней шиной возникает сложность засыпки. В случае, когда засыпка возможна, первоначальный подпор не обеспечивается.

При этом авторами породной стойки не обоснованы ее размеры, а также технология возведения. Открытым остается вопрос о весе породной стойки. Не обоснована технология создания предварительного подпора.

В табл. 7.1. приведены фактические усредненные данные о затратах на возведение различных охранных сооружений.

Анализ состояния проблемы охраны повторно используемых выработок, решаемой в настоящей работе показывает, что на настоящее время разработано множество конструкций искусственных охранных сооружений.

Таблица 7.1.  
Затраты на реализацию различных способов охраны

Наименование способа охраны	Затраты на применение способа охраны, грн/м <sup>3</sup>
Возведение бутовой полосы	321,82
Выкладка четырехгранных костров	75,07
Выкладка накатных костров	196,67
Установка БЖБТ	676,61
Возведение литой полосы	938,40
Возведение жесткой полосы из полублоков	476,86
Возведение полосы из газобетонных блоков	599,65

Они отличаются материалом и технологией, которая используется при их возведении, нагрузочно-деформационными характеристиками, стоимостью. В качестве материала искусственных охранных сооружений используется древесина (костры, органка, кусты и их комбинации), железобетон (БЖБТ), быстротвердеющие смеси (литая полоса), рядовая порода (бутовая полоса; охранные полосы, возводимые из опорных элементов, представляющих собой породу, заключенную в оболочку и с разделением по высоте жесткими прокладками). С точки зрения технологии возведения все охранные сооружения, кроме литой полосы, связаны с применением ручного труда. По нагрузочно-деформационной характеристике искусственные охранные сооружения разделяются на жесткие (органка, кусты, БЖБТ, литая полоса) и податливые (костры, бутовая полоса). По стоимости на 1 м поддерживаемой выработки (статья затрат "Трудоемкость" и "Материалы") охранные сооружения располагаются в следующем порядке: литая полоса, БЖБТ, бутовая полоса, накатные костры, сооружения из породных стоек, костры из круглого леса. Из перечисленных охранных сооружений, кроме сооружения из породных стоек, основная часть затрат по их возведению связана со стоимостью материалов.

На наш взгляд, наиболее перспективным способом охраны повторно используемых выемочных выработок в лавах с нагрузкой 1000-1500 т/сут является породная полоса, возводимая из опорных элементов, представляющих собой породу, заключенную в оболочку, а также разделенная по высоте жесткими прокладками. Для широкого применения данного охрannого сооружения необходима разработка новых технических решений в направлении модернизации конструктивных параметров и технологии его возведения.

Другим перспективным направлением разработки и совершенствования способов повышения устойчивости повторно используемых выработок в неустойчивых вмещающих породах является использование компенсационных пространств, позволяющих перенаправить смещения из сечения выработок в специально оставленные полости.

В качестве примера рассмотрим следующий способ, который применялся для охраны выработок на шахте им. В.М. Бажанова. Сущность метода заключалась в возведении полос и разреженных железобетонных блоков. При этом со стороны выработанного пространства выкладывалось два сплошных ряда деревянных костров, а со стороны транспортного штрека – стенка из блоков БЖБТ. Пустоты закладывались породой, получаемой от подрывки штрека (рис. 7.21). Компенсационные полости это пространство для реализации смещений пород подстилающих жесткое охранное сооружение, а в этом способе они закладывались породой от подрывки почвы, по этому данное техническое решение не дало положительных результатов.

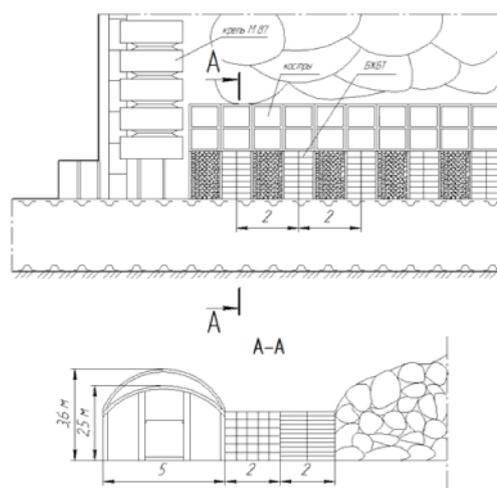


Рис. 7.21. Схема охраны подготовительной выработки разреженными стенками из БЖБТ.

Достоинством способов охраны выработок, использующих компенсационное пространство, является отвод смещений от выработок в специально–оставленные полости, что позволяет произвести разгрузку массива вмещающего выработку от напряжений.

В результате проведенного обзора состояния вопроса охраны выработок на примере Донецко–Макеевского региона, установлено, что применение охранных сооружений ленточного типа не позволяет задействовать 64% случаев (из них 55% –сплошной системы разработки и 9% столбовой) для повторного использования из–за больших деформаций контура выработок. Способы охраны позволяющие задействовать этот резерв, должны основываться на применении жестких сооружений, так как они наиболее эффективные с точки зрения устойчивости кровли потому, что имеют минимальное время включения в работу, и следовательно, на более ранних стадиях, по сравнению с другими способами охраны, препятствуют расслоению массива, что приводит к снижению нагрузки на крепь и обеспечению более длительного срока безремонтной эксплуатации. Однако, при включении в работу жестких охранных сооружений, нагрузка от веса пород кровли передается основанию охранного сооружения раньше, чем при других способах охраны. Это приводит к повышенным напряжениям в почве выработок, а при

достижении предельных значений – к ее разрушению и выдавливанию из–под охранного сооружения в полость выработок при применении жестких охранных сооружений ленточного типа.

Таким образом, при охране выработок жесткими сооружениями необходимо снизить напряжения, действующие в почве выработок и обеспечить управление выдавливанием из–под охранного сооружения в случае ее разрушения.

Одной общепризнанной гипотезы объясняющей смещения почвы выработок нет, однако, анализ источников показывает, что в качестве рабочей гипотезы, объясняющей это явление можно принять гипотезу Лыткина В.А. Следуя этой гипотезе, необходимо отказаться от применения охранных сооружений ленточного типа, что сходится с мировым опытом по применению многотрековой технологии.

При разработке новых способов охраны необходимо варьировать принципами воздействия на массив. Одним из вариантов может быть объединение принципов действия жестких охранных сооружений на массив и принципов разгрузки массива от повышенных напряжений, путем оставления в полосе охранных сооружений компенсационных полостей, которые помимо функции перераспределения напряжений в почве выработок под охранным сооружением, обеспечат, в случае ее разрушения, необходимое пространство для реализации смещений последней. При этом остается не изученным вопрос механизма работы, жестких охранных сооружений возводимых в сочетании с компенсационными полостями, что не позволяет четко определить область применения данного способа, а также вопрос определения параметров охранных сооружений и компенсационных полостей с целью отвода смещений пород почвы от выработки, с учетом принятого механизма пучения пород почвы выработки.

### **РАЗРАБОТАННЫЕ В ДОННТУ НОВЫЕ, ИННОВАЦИОННЫЕ, НИЗКО-ЗАТРАТНЫЕ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ ОХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПОРОДЫ, ЗАКЛЮЧЕННОЙ В ОБОЛОЧКУ**

Результаты лабораторных испытаний охранного сооружения, представляющего собой накатной костер, сооружаемого из так называемых породных стоек, показали, что при податливости 25-30% его несущая способность составляет 1000-1200 кН. Следует отметить, что расстояние между породными стойками в накатном ряду составляет 50-200 мм. На наш взгляд, породные стойки в накатном ряду необходимо выкладывать вплотную друг к другу. Это будет способствовать повышению жесткости породной конструкции. В то же время, анализ технологии возведения данных породных конструкций свидетельствует о том, что они возводятся как отдельные сооружения (типа костров в шахтном порядке). Поэтому для использования опорных элементов (породных стоек) при сооружении

охранной стенки необходима разработка новой технологии ее возведения. При этом необходимо учитывать, что породные сооружения для охраны повторно используемых выработок должны обеспечивать изоляцию выработанного пространства лав и предотвращать утечки воздуха через него.

Авторами породных стоек рекомендуется производить выкладку накатных костров со следующими конструктивными характеристиками: диаметр породной стойки 200-300 мм; ее длина 1,2 м

Однако, проведенные расчеты показывают, что масса стойки при длине 1,2 м диаметре 0,2-0,3 м составит 58 и 134 кг, что не соответствует требованиям санитарных норм, согласно которым максимальная масса перемещаемого в подземных условиях груза не должна превышать 40 кг. Поэтому необходимы изменения параметров опорных элементов породных конструкций в направлении уменьшения их массы.

Одним из технических решений, способствующих уменьшению массы опорного элемента, является уменьшение его длины и диаметра. Так, уменьшение диаметра с 0,3 до 0,2 м снижает массу опорного элемента в 2,3 раза. Уменьшение длины опорного элемента приводит к однозначному уменьшению массы. Для обеспечения изоляции выработки от выработанного пространства, сооружаемой породной стенкой, ряд опорных элементов, выкладываемый вдоль оси выработки, рекомендуется располагать в шахматном порядке (рис. 7.22).

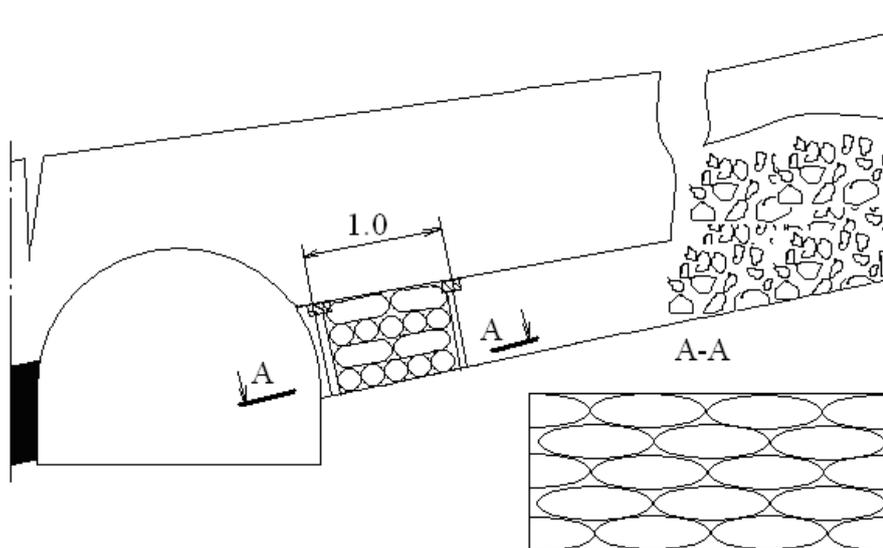


Рис. 7.22. Вид охранного сооружения с использованием опорных элементов

С точки зрения технологичности возведения охранного сооружения, опорный элемент породной конструкции обладает одним существенным недостатком, а именно высокой гибкостью. Для устранения этого недостатка было разработано несколько модификаций конструктивного исполнения опорного элемента, в которых отражались два основных принципа:

для снижения массы опорного элемента часть его объема необходимо заменить более легким конструктивным материалом;

в физическом смысле этот материал должен быть достаточно жестким, чтобы обеспечить технологичность процесса выкладки из породных стоек накатных костров или накатной стенки.

На рис. 7.23а приведены конструкции трех вариантов исполнения опорного элемента. В первом варианте для снижения веса опорного элемента и устранения ее гибкости внутри ее размещается труба из легкого материала (прессованная бумага, пластмасса). Концы ограничивающей оболочки 1 породного элемента закрепляются на трубе 3 с помощью зажимов 4. Один конец закрепляется до начала заполнения оболочки породой 2, второй – после заполнения оболочки породой. Полая труба в опорном элементе при достижении определенной нагрузки будет схлопываться и способствовать увеличению податливости возводимой опорной конструкции.

Для увеличения жесткости опорного элемента полая труба может быть заполнена легким материалом, например пенобетоном (рис. 7.23б). В третьем варианте (рис. 7.23в) вместо трубы предлагается использовать деревянный кругляк.

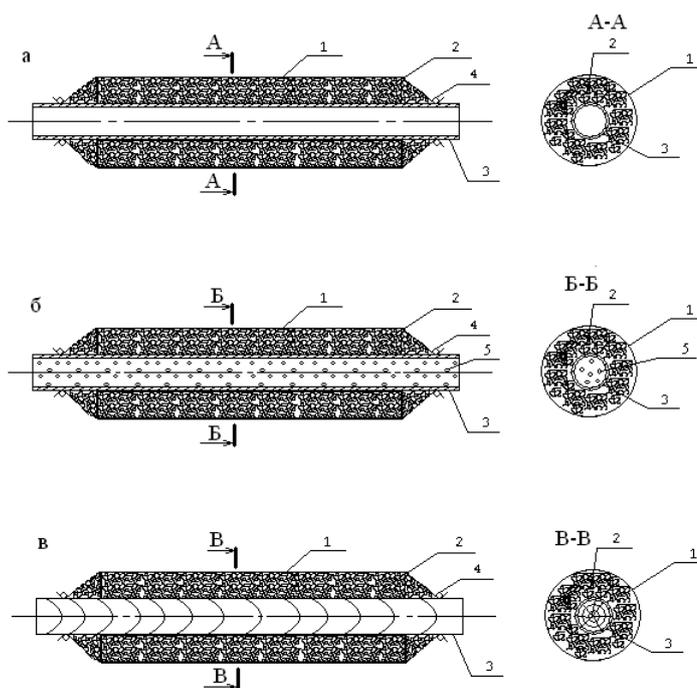


Рис. 7.23. Предлагаемые конструкции опорного элемента: 1 – ограничивающая оболочка; 2 – порода; 3 – толстостенная бумажная труба или деревянный кругляк; 4 – зажим оболочки; 5 – легкий материал (пенобетон)

Предлагаемые варианты конструктивного исполнения опорного элемента обеспечивают устранение недостатков известной конструкции породной стойки.

Еще одним недостатком породного охранного сооружения, возводимого из опорных элементов, представляющих собой породу, заключенную в оболочку, является отсутствие первоначального отпора

смещающимся породам кровли. Устранить этот недостаток возможно, на наш взгляд, за счет соблюдения следующих условий:

1. Диаметр опорных элементов должен быть выбран таким, чтобы выкладывалось целое число их рядов по мощности пласта.

2. Верхний ряд опорных элементов необходимо выкладывать с созданием в них бокового распора за счет силового воздействия (например с помощью отбойного молотка со специальной насадкой) (рис. 7.24).

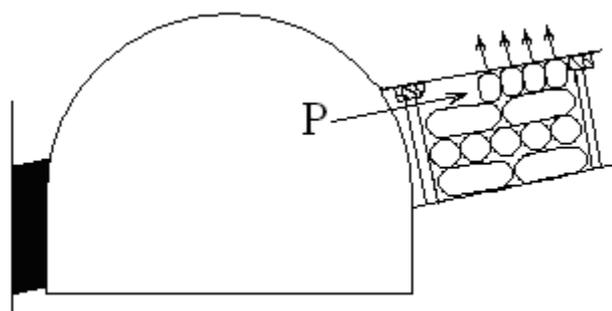


Рис. 7.24. Схема создания предварительного распора при сооружении породной охранной полосы

### Разработка конструкций охранных сооружений с разделением их по высоте гибкими прокладками

Одним из известных породных охранных сооружений, возводимых при малом объеме используемой породы, является конструкция, в которой породная стенка разделяется по высоте жесткими прокладками.

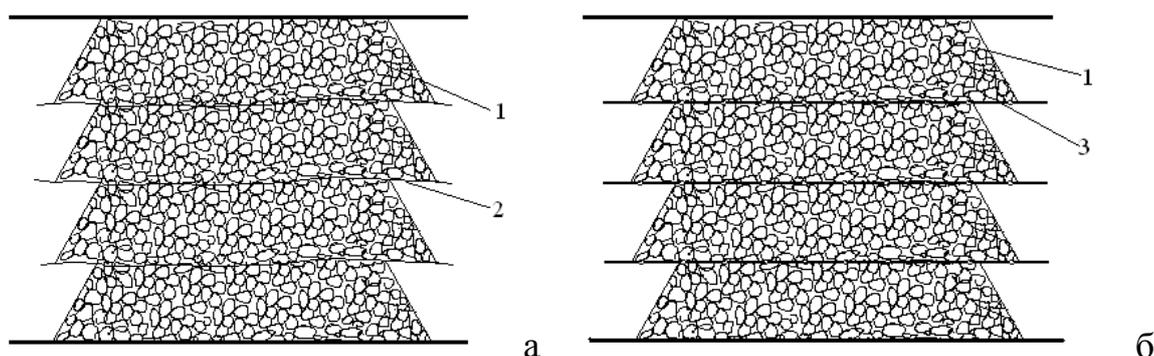


Рис. 7.25. Опорное сооружение с использованием гибких разделительных прокладок: а – на тканевой основе; б – с применением сетки: 1 – порода; 2 – тканевая прокладка; 3 – сетка

Существенным недостатком этого охрannого сооружения является необходимость выравнивания породного слоя перед укладкой жестких прокладок. Для устранения этого технологического недостатка в работе предлагается в качестве ограничивающей поверхности породных слоев использовать гибкие прокладки, например, на тканевой основе и с

применением металлической сетки (рис. 7.25).

Это позволяет возводить породное охранного сооружение без выравнивания каждого породного слоя.

Жесткость породной стенки, разделенной по высоте прокладками, определяется компрессионными свойствами породного материала и величиной бокового подпора, который формируется силами трения по контакту породного материала с прокладками. При использовании в качестве гибкой разделительной прокладки металлической сетки величина бокового подпора определяется силами трения, возникающими между породными фрагментами в слое (которые способны перемещаться) и кусками породы, которые находятся в ячейках сетки (неподвижные). Следует отметить, что при этом к силам трения, препятствующим расползанию породы в слое, добавляются силы, характеризующие зацепление между породными фрагментами, находящимися в слое и ячейках сетки.

Также было предложено для повышения жесткости опорной породной конструкции использовать ткань, которая в процессе сооружения породной конструкции укладывалась в зигзагообразном виде (рис. 7.26).

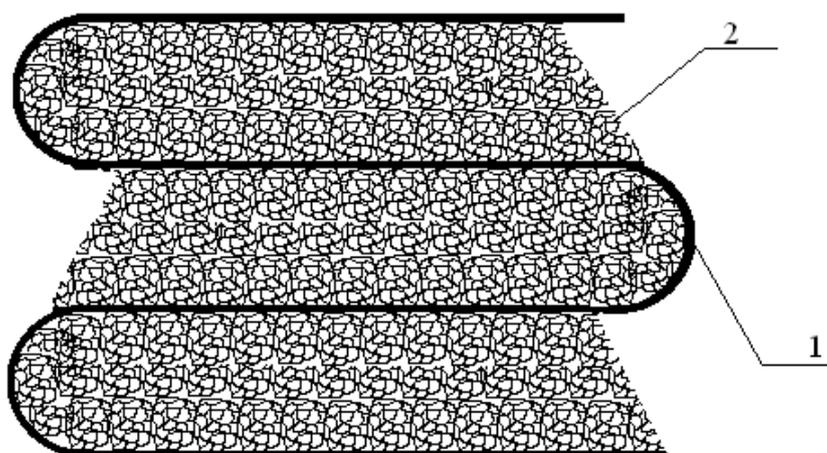


Рис. 7.26. Схема породной конструкции с зигзагообразной укладкой ткани: 1 – ткань; 2 – порода

### **Способ охраны выработки жесткими сооружениями, возводимыми в сочетании с компенсационными полостями смещения кровли**

По данным лабораторных испытаний применение этого способа позволяет смещения кровли выработки уменьшить в 1,2 раза, а величину пучения почвы – в 1,8 раза.

Схема способа представлена на рис. 7.27.

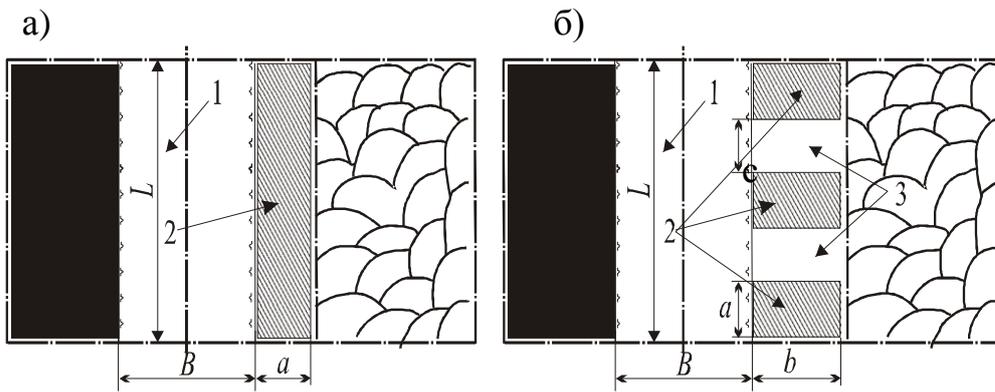


Рис. 7.27. Схема участков выработок, охраняемых сооружениями ленточного типа (а) и охранными сооружениями с компенсационными полостями (б), где 1 – горная выработка, 2 – охранные сооружения, 3 – компенсационные полости, где  $B$  – ширина выработки  $L$  – длина охраняемого участка выработки;  $a$  – размер охрannого сооружения по оси выработки,  $b$  – размер охрannого сооружения по перпендикуляру к оси выработки,  $c$  – размер компенсационной полости вдоль оси выработки.

### Способ обеспечения устойчивости горной выработки, основанный на искусственном изменении компонент напряжений в ее окрестности

Исследования, проведенные в ДонНТУ, показали, что увеличение бокового давления оказывает также существенное влияние на несущую способность нарушенных горных пород. При испытаниях пород типа аргиллит было установлено, что увеличение бокового давления на 4% прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}^0$  приводит к сохранению несущей способности материала на уровне 33 %  $\sigma_{сж}^0$ , а боковое давление 11 %  $\sigma_{сж}^0$  обеспечивает несущую способность, равную 81 %  $\sigma_{сж}^0$ .

Указанные выше соображения позволили разработать концепцию управления напряженно деформированным состоянием (НДС) массива горных пород, основанную на искусственном изменении компонент напряжений в окрестности проводимой горной выработки, и приближении поля напряжений приконтурных пород к исходному природному полю напряжений, что позволит повысить устойчивость выработки.

Техническая реализация предложенной идеи осуществляется следующим образом (рис. 7.28): На этапе проведения выработки после установки рам основного крепления 1 в приконтурные породы 2 бурят шпуров 3, в которые помещают твердеющий саморасширяющийся в процессе гидратации состав 4.

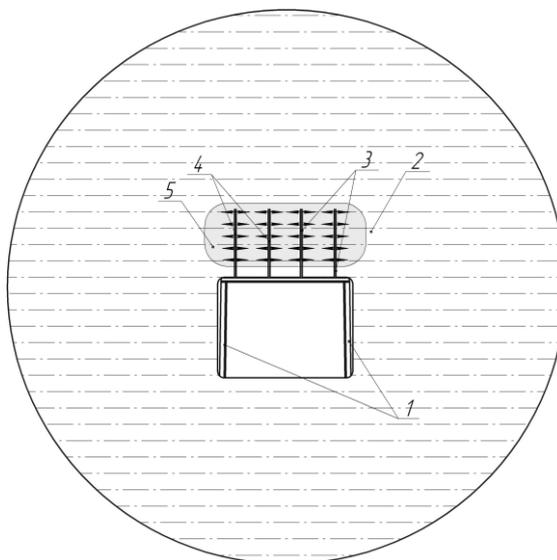


Рис. 7.28. Способ обеспечения устойчивости горной выработки, основанный на искусственном изменении компонент напряжений в ее окрестности: 1 – рама основного крепления; 2 – приконтурные породы; 3 – шпур; 4 – НРС; 5 – зона сжатия НРС

Саморасширение материала приводит к повышению давления на стенки шпура, и на породный массив соответственно. Это приводит к искусственному изменению поля напряжений, в частности добавлению горизонтальной промежуточной компоненты  $\sigma_3$ , в пределах зоны влияния 5 НРС, что приближает напряженное состояние пород к исходному природному полю напряжений, повышает несущую способность пород и приводит к сдерживанию образования и развития вокруг выработки зоны разрушенных пород. При этом НРС целесообразно помещать в шпур не по всей длине шпура, а только в его донную часть, с оставлением приконтурной части шпура не заполненной на величину не менее зоны условно-мгновенного разрушения пород. Таким образом, рамы основной крепи воспринимают нагрузку от разуплотнения пород в несжатой зоне и создают отпор смещениям пород в полость выработки.

### **Способ обеспечения эксплуатационного состояния выработки поддерживаемой в условиях сильно разрушенных пород**

Способ реализуется следующим образом: по фактическому контуру выработки в массив горных пород бурятся шпур, в шпур помещают саморасширяющийся состав, после чего шпур герметизируют. В результате увеличения в объеме саморасширяющегося состава он оказывает давление на стенки шпура и сжимает породы вокруг выработки. Таким образом, при арочной форме сечения выработки, и веерной схеме бурения шпуров вокруг нее создается сжатая сводообразная зона. Предлагаемая схема реализации способа обеспечения устойчивости выработки, основанного на распоре вмещающих пород, представлена на рисунке 7.29.

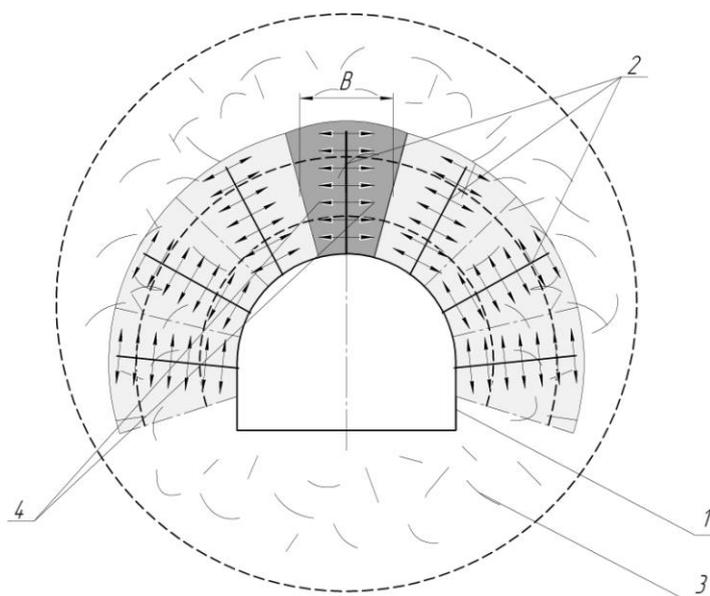


Рис. 7.29. Схема создания несущей конструкции из разрушенных пород: 1 – контур выработки; 2 – шпур с саморасширяющимся составом; 3 – разрушенные породы; 4 – предполагаемая область влияния одного шпура.

Основным параметром предлагаемого способа является необходимый, с точки зрения обеспечения устойчивости разрушенных пород, размер ширины области влияния шпура с распорным элементом (В). Указанный размер зоны влияния шпура позволяет определить необходимое расстояние между шпурами для реализации способа.

### Рекомендации нормативных документов по охране подготовительных выработок при сплошной и комбинированной системах разработки.

Варианты охраны подготовительных выработок и область их применения приведены в табл.7.2.

Таблица 7.2.

Условия применения способов охраны подготовительных выработок.

Способ охраны	Рекомендуемая область применения
Охрана выработки целиками угля	Ширина целика менее 10% длины лавы, пласт не пожароопасен, не выбросоопасен. Одиночный пласт. Н до 300 м.
Охрана выработки искусственными сооружениями при их повторном использовании	Комбинированная с преимущественными признаками столбовой система разработки. Мощность пласта до 3,5 м. Основная кровля – любая, но при труднообрушающейся планировать отсечное торпедирование. Почва – любая, кроме сильнопучащей.
Охрана выработок проведением их спаренными и разделёнными породной полосой	Мощность пласта до 1,3 м. Основная кровля – любая. Почва – любая.
Охрана выработок искусственными сооружениями после их проведения (оформления) позади очистного забоя или с некоторым его опережением	Мощность пласта до 1,5 м. Штреки (ходки) при прямом ходе движения очистного забоя. Основная кровля и почва – любые.

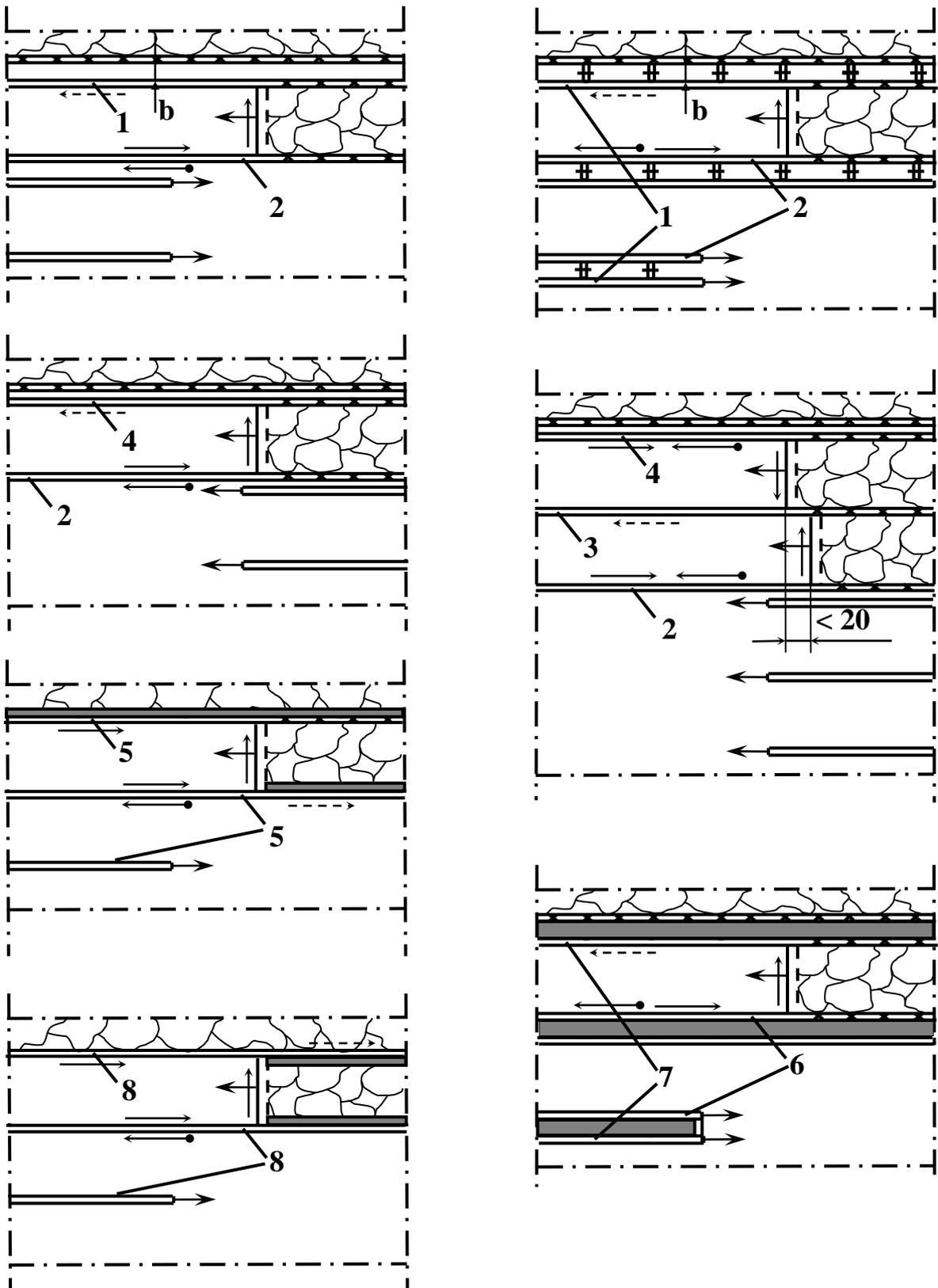
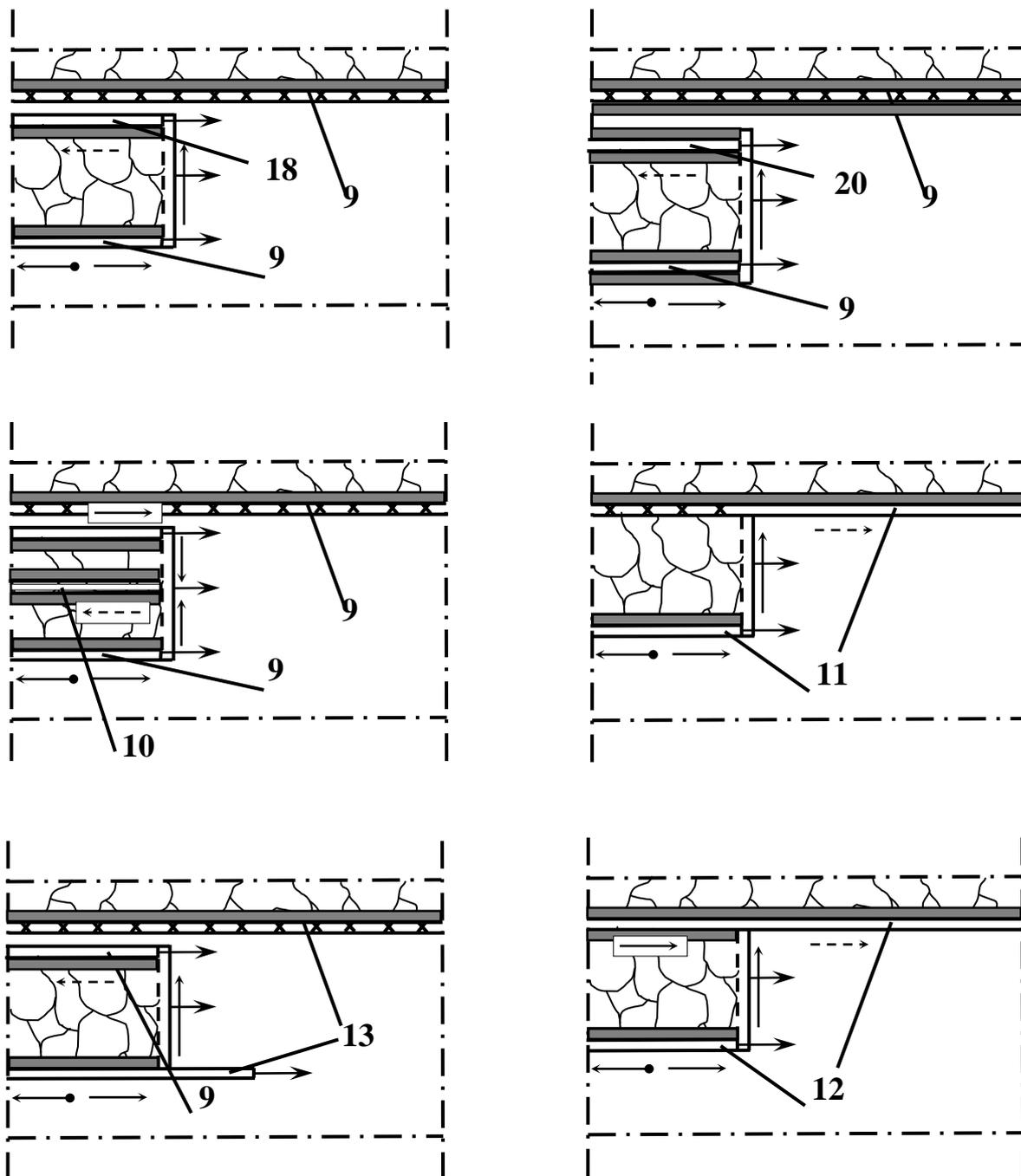
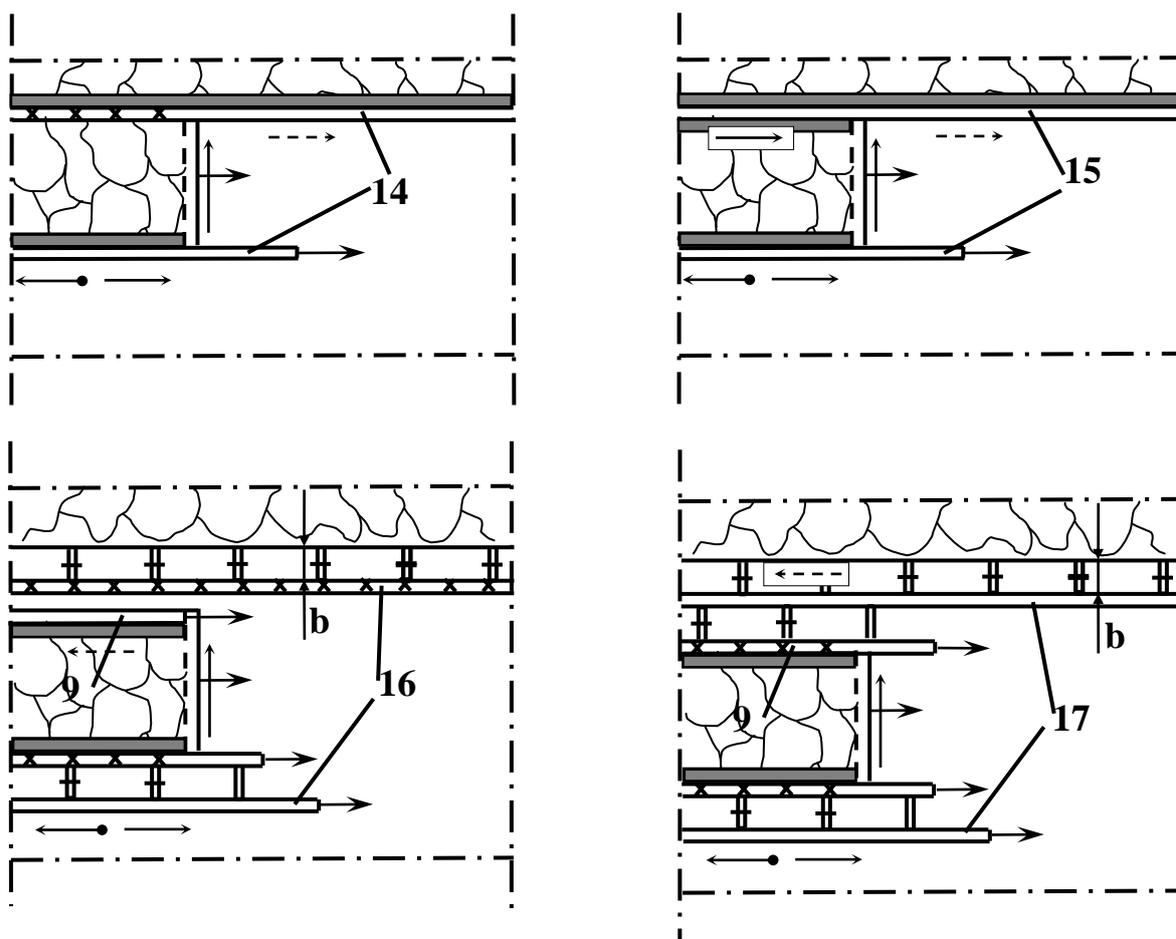


Рис. 7.30. Типы подготовительных выработок при их охране в столбовых и комбинированных на базе столбовой системах разработки



Продолжение рис. 7.30. Типы подготовительных выработок при их охране в сплошных и комбинированных на базе сплошной системах разработки



Продолжение рис. 7.30. Типы подготовительных выработок при их охране в сплошных и комбинированных на базе сплошной системах разработки

**Охрана выработки искусственными сооружениями при их повторном использовании** (выработки 5, 8, 14, 15). Параметры способа: вид искусственного сооружения, конструктивные параметры искусственного сооружения, технология возведения искусственного сооружения (с учетом безопасности работ).

**Вид искусственного сооружения** выбирается из табл. 7.3.

**Примечания к табл. 7.3:**

жесткие искусственные сооружения (органная крепь, тумбы БЖБТ, литые полосы ) могут применяться в условиях труднообрушающейся кровли, но с обязательным её разупрочнением;

в качестве искусственного сооружения в Донбассе применяют также угольные целики шириной 1-2м, оставляемые около примыкающей к лаве выработки со стороны выработанного пространства . Область применения такого "искусственного сооружения" ориентировочно соответствует области применения костров;

со стороны выработанного пространства лавы полоса искусственного сооружения, как правило, ограничена рядом органной крепи;

– искусственное сооружение возводится позади призабойного пространства лавы в месте, закрепленном индивидуальной крепью, как

правило, деревянной и не извлекаемой.

Таблица 7.3.

Область применения искусственных сооружений (по данным нормативной литературы) для охраны повторно используемых выработок

Искусственное сооружение	Мощность пласта, м	Угол падения пласта, град.	Тип кровли	Сопротивление сжатию пород почвы, $R_{\text{п}}$ , МПа
Тумбы из железобетонных блоков с деревянными прокладками	До 1,5	До 18	Легко- и среднеобрушающаяся	Более 30
Костры из круглого леса или шпального бруса	До 3,5	До 35	То же	Любая
Бутокостры	То же	То же	Труднообрушающаяся	То же
Бутовые полосы (в сочетании с кострами)	До 1,5	То же	Средне- и труднообрушающаяся	То же
Литые полосы из быстротвердеющих материалов	До 2,5	То же	То же	Более 30

**Конструктивные параметры искусственных сооружений** принимаются или рассчитываются по нижеприведенным методикам.

**Тумбы из железобетонных блоков (БЖБТ) с деревянными прокладками.** Число тумб БЖБТ на 1 м выработки определяется из выражения:

$$n_{\text{T}} = \frac{P}{P_{\text{T}} \cdot F}, \quad (7.1)$$

где  $P$  – расчетная нагрузка на 1 м ряда тумб, кН/м (см. табл. 7.4);

$P_{\text{T}}$  – нормативная прочность материала тумбы, кН/м<sup>2</sup> – для бетона марок М–200, М–300, М–400  $P_{\text{T}}$  соответственно равно 4000, 6000, и 8000 кН/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь поперечного сечения тумбы, м<sup>2</sup> – для тумб, сооруженных из блоков 40 х 50 х 10 и 40 х 50 х 15 см -  $F=0.2$  м<sup>2</sup> и 0,3. м<sup>2</sup>.

Тумбы БЖБТ устанавливают на расстоянии 1,2–1,5 м от охраняемой выработки.

Количество рядов тумб БЖБТ на 1 м выработки 1, 1,5 или 2. При этом всегда ближайший к выработке ряд сооружается сплошным.

Со стороны выработанного пространства сооружают 1 ряд органки.

Пространство между тумбами БЖБТ и крепью выработки заполняют кострами, чураковой стенкой или устанавливают индивидуальную деревянную крепь.

Тумбы сооружают с деревянными прокладками, объем которых в объеме тумбы составляет 10–15 %, а при труднообрушаемой кровле этот объем увеличивают в 1,5 раза.

Таблица 7.4.  
Расчетная нагрузка на тумбы БЖБТ

Мощность разрабатываемого пласта, м	Нагрузка на 1 м ряда тумб БЖБТ, кН при кровле	
	легкообрушающейся	среднеобрушающейся или труднообрушающейся при наличии разупрочнения
До 1	4000	7000
1-1,5	7000	10000

### **Костры.**

Различают деревянные четырехгранные костры, четырехгранные костры из шпального бруса (накатные костры) и бутокостры.

В любом случае размер костра в плоскости пласта принимают не менее 2 м, а расстояние между кострами от 0 до 3 м. При мощности пласта до 2,5 м принимают 1 ряд костров, а при мощности пласта более 2,5 м – 2 ряда.

Конструкция данного искусственного сооружения следующая: вплотную к крепи выработки – чураковая стенка из стоек длиной равной мощности пласта, далее вплотную или на расстоянии 0,2 м – ряд костров, а со стороны выработанного пространства – один ряд органной крепи.

### **Бутовая полоса.**

Породу для бутовой полосы при столбовых системах разработки добывают в бутовом штреке путем подрывки кровли пласта; при этом принимают коэффициент разрыхления породы –  $K_p=1,5$ . Ширина бутового штрека ( $h_{ш}$ ), мощность угольного пласта ( $m$ ) и ширина бутовой полосы ( $b_B$ ) связаны между собой следующей формулой:

$$b_{ш} = \frac{b_B \cdot m}{h_{ш} \cdot K_p} \quad (7.2)$$

Минимальную ширину бутовой полосы принимают равной 8-кратной мощности угольного пласта, но не менее 5м.

Породу, добытую в бутовом штреке, укладывают в бутовую полосу вручную или с помощью скреперной установки, лебедка которой установлена в охраняемой выработке.

Конструкция данного искусственного сооружения: вплотную к крепи выработки – чураковая стенка из стоек длиной равной мощности пласта, далее бутовая полоса, которая заканчивается одним рядом органной крепи.

**Примечание.** Иногда с целью уменьшения объема работ по добыче бутового материала применяют бутовую полосу в сочетании с четырехгранными кострами. Тогда ряд костров укладывают между чураковой стенкой и бутовой полосой.

### Литые полосы из быстротвердеющих материалов.

В качестве материала для литой полосы применяют смеси на цементной, гипсовой, ангидритовой и фосфогипсовой основе с различными инертными наполнителями. Смесь готовится в охраняемой выработке и по гибкому шлангу подается в опалубку, сооруженную на месте укладки литой полосы. Ширина литой полосы рассчитывается по нижеприведенной формуле, и принимается не менее 1м

$$b_{лп} = \frac{P}{R_{лп}}, \quad (7.3)$$

где  $P$  – расчетная нагрузка на 1 м литой полосы, кН/м (см. табл. 7.5);

$R_{лп}$  – нормативная прочность быстротвердеющих материалов через сутки после возведения литой полосы, кН/м<sup>2</sup>, ориентировочно  $R_{лп}=14000$  кН/м<sup>2</sup>.

Таблица 7.5.  
Расчетная нагрузка на литую полосу

Мощность разрабатываемого пласта, м	Нагрузка на 1 м литой полосы, кН/м при кровле	
	средне- и труднообрушающаяся при наличии разупрочнения	труднообрушающаяся
До 1	10000	15000
1-2	12000	17000
2-2,5	14000	20000

Конструкция данного искусственного сооружения: при неустойчивой кровле литая полоса сооружается вплотную к крепи охраняемой выработки и со стороны выработанного пространства – один ряд органной крепи; при других кровлях литую полосу сооружают на расстоянии от выработки не меньшем высоты нижней подрывки в выработке и со стороны выработанного пространства – один ряд органной крепи. Пространство между крепью выработки и литой полосой заполняют кострами, если оно более 0,6 м, или устанавливают индивидуальную деревянную крепь, если оно менее 0,6 м.

### Охрана выработок проведением их спаренными и разделенными породной полосой (выработки 6, 7).

Возможны две технологические схемы проведения таких выработок:

– проведение спаренных выработок сплошным забоем по пласту угля ( $m > 1$  м) с закладкой породы, полученной от проведения выработок, с помощью комплексов типа "Титан - 1", расположенных в обеих выработках, или скреперными установками;

– проведение спаренных выработок опережающими одиночными забоями ( $m < 1$  м) с бурошнековой выемкой угля из разделяющего выработки целика в 30-

40 м позади забоев выработок и шнековой закладкой породы.

Расстояние между спаренными выработками в любом случае принимают не менее 20 м при глубине до 300 м, 20 – 30 м при глубине 300 – 600 м и 30 – 40 м при глубине более 600 м.

Для первой технологической схемы параметром является еще и сечения выработок 6 и 7, порода от проведения которых закладывается в бутовую полосу между ними. Данный вопрос можно решить, используя формулу 7.2.

**Охрана выработок искусственными сооружениями после их проведения (оформления) позади очистного забоя (выработки 9-12).**

Особенностью охраны этих выработок является то, что места проведения выработки и возведения искусственного сооружения совпадают. По этой причине в качестве искусственного сооружения применяют бутовые полосы. Известны три схемы охраны таких выработок бутовыми полосами (см. рис. 7.30):

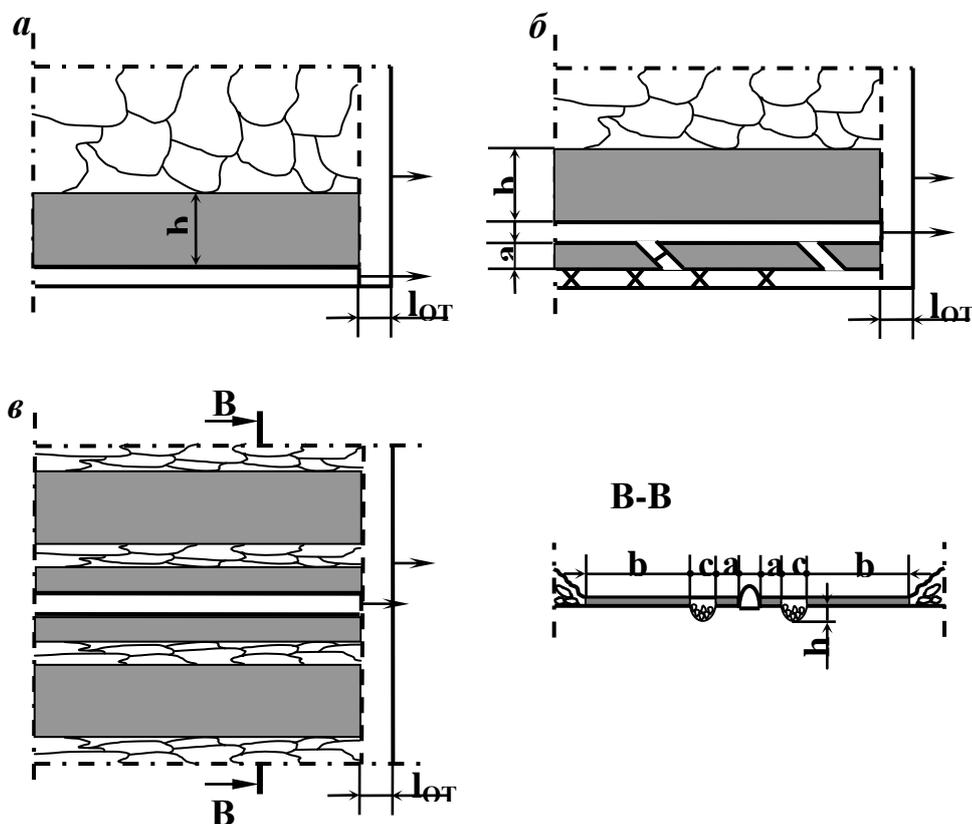


Рис. 7.31. Параметры охраны выработок, оформляемых позади очистного забоя, бутовыми полосами на границе с массивом угля (а, б) и в выработанном пространстве (в)

- одинарной односторонней бутовой полосой (см. рис. 7.31а) при устойчивой и средней устойчивости кровле;
- одинарными двухсторонними бутовыми полосами ( см. рис. 7.31б) при неустойчивой и средней устойчивости кровли;
- двойными двухсторонними бутовыми полосами (см. рис. 7.31в) при неустойчивой и средней устойчивости кровле.

В первой схеме ширина бутовой полосы **b** принимается равной 8-кратной мощности угольного пласта, но не менее 5 м.

Во второй схеме ширина надштрековой бутовой полосы **b** принимается равной 6-7 – кратной мощности угольного пласта, но не менее 5 м, а ширина подштрековой бутовой полосы **a** – равной 4-5 м. В третьей схеме параметры зависят от свойств кровли и принимаются по табл. 7.6.

Отставание забоя выработки от забоя лавы  $I_{от}$  принимается не менее 5 м при легкообрушающейся кровле, 6 м – при среднеобрушающейся, и 8 м при труднообрушающейся.

Сооружаются бутовые полосы, как правило, механизировано - с помощью комплекса "Титан-1", скреперной установкой и, редко - вручную.

Таблица 7.6.

Параметры охраны выработок, оформляемых в выработанном пространстве

Параметр	Значение параметра для кровли		
	Легкообрушающейся	Среднеобрушающейся	Труднообрушающейся
Ширина околоштрековой бутовой полосы <b>a</b> , м	Более 2m	Более 2,5m	Более 3m
Ширина опорной бутовой полосы <b>b</b> , м	6m	7m, но не менее 10 м	8m, но не менее 10 м
Ширина пространства между околоштрековой и опорной полосой, <b>c</b> , м	3	4	5
Глубина подрывки, <b>h</b> , м	-	0,5	1,0

### **Примечания**

1. На газовых шахтах при возвратноточной схеме проветривания участка для исключения утечек воздуха через выработанные пространства вплотную к крепи выработки укладывают на глине чураковую стенку из стоек длиной примерно равной мощности пласта.

2. Для уменьшения смещений кровли выработки могут применяться более жесткие, чем бутовая полоса искусственные сооружения (тумбы БЖБТ, литая полоса, костры из шпального бруса и др.) в сочетании с бутовой полосой. В этом случае параметры искусственных сооружений принимают в соответствии с рекомендациями, описанными выше. Ряд этих искусственных сооружений располагают около выработки.

3. Со стороны выработанного пространства бутовая полоса ограничивается одним рядом органной крепи.

4. Бутовые полосы и другие искусственные сооружения возводятся под защитой индивидуальной крепи, которая, как правило затем не извлекается.

## **8. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНЫХ ПОРОДО-АРМИРУЮЩИХ СИСТЕМ.**

Выбор конструкции и параметров крепления на основе использования анкерных систем, в зависимости от геомеханических и горнотехнических условий эксплуатации выработки предлагается производить на основе следующего представления о взаимодействии крепи и горного массива: сколько и по какой схеме нужно установить анкеров, чтобы армированный приконтурный массив либо не разрушался, либо разрушался в заданных пределах.

В первом случае необходимо максимально быстрое введение в работу жесткой конструкции крепи на основе породно-анкерных конструкций, которая не допустила бы развитие деформаций пород вокруг выработки. Однако область применения таких способов крепления ограничена величинами предельных деформаций материала породно-анкерной конструкции и соответствующих значений ее предельного прогиба, что не позволяет сохранить устойчивое равновесное состояние в массиве при его нарушении горными работами.

Во втором случае, за пределами породно-анкерной конструкции, в массиве, образуется зона разрушенных пород, формирующая внешнюю нагрузку на нее. Под ее воздействием, породно-анкерная конструкция, перешедшая через предельное состояние в запредельную область квазипластичного деформирования, способна сохранять высокую остаточную прочность до достижения величины относительных деформаций 0,23 в направлении максимальных смещений.

В обоих случаях вмещающий выработки породный массив, сразу после его обнажения и армирования включается в работу. При этом, предлагаемые способы повышения устойчивости выработок, закрепляемых с применением породно-анкерных конструкций, должны быть технологичны, обладать малыми материальными и трудовыми затратами на реализацию. Высокая техническая эффективность при их применении обеспечивается за счет максимального использования несущей способности вмещающего выработки массива, путем учета при разработке способов установленных закономерностей запредельного деформирования породно-анкерных конструкций с различными схемами армирования.

### **Усовершенствованный способ опорно-анкерного крепления**

В известном способе опорно-анкерного крепления, в анкерных штангах, устанавливаемых в боках и кровлю выработки, создают одинаковое начальное натяжение, не учитывая коэффициент бокового распора  $\lambda$ . В случае, если  $\lambda < 1$ , в боках выработки образуются области, в которых действующие напряжения превышают прочность пород. В пределах этих областей происходят локальные разрушения, что ведет к потере устойчивости пород в боках и снижению устойчивости выработки в целом.

Усовершенствованный способ опорно-анкерного крепления (декларационный патент № 45341) позволяет обеспечить устойчивость пород на контуре выработки при величине коэффициента бокового распора меньше единицы. Суть способа состоит в создании начального натяжения в анкерах, устанавливаемых в боках выработки, в 2-6 раз выше (в зависимости от величины коэффициента бокового давления), чем в анкерах, устанавливаемых в кровлю (рис. 8.1а). За счет изменения начального натяжения в анкерных штангах, устанавливаемых в бока выработки, по сравнению с натяжением анкеров в кровле, даже при значениях  $\lambda < 0,3$  полностью устраняется возможность образования в боках выработки областей, где действующие напряжения превышают прочность пород. Напряжения, действующие в кровле выработки, резко снижаются, и предупреждается образование зон разрушения пород на ее контуре (рис. 8.1б).

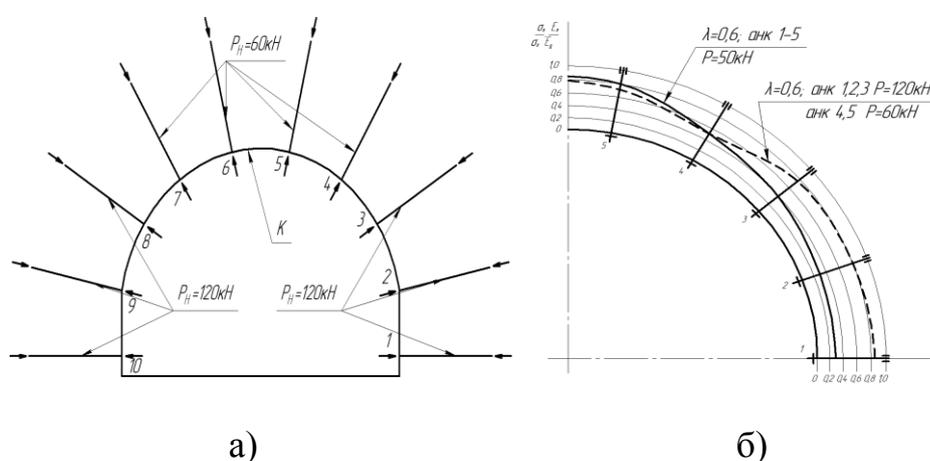


Рис. 8.1. Усовершенствованный способ опорно-анкерного крепления: а – схема реализации способа; б – эпюры распределения усилий в анкерах

### Способ установки анкера

Известно, что прочность пород, находящихся в объемном напряженном состоянии (обобщенное растяжение и сжатие), механизм их деформирования и разрушения существенно зависят от значения минимального напряжения  $\sigma_3$ . При испытаниях на обобщенное растяжение песчаников и песчаных сланцев, уже при  $\sigma_3 < 10$  МПа, их практически не возможно разрушить. При проведении выработки породы, находившиеся в не нарушенном массиве в гидростатическом поле напряжений ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ), переходят по мере удаления забоя в плоское напряженное состояние (происходит разгрузка от радиальных напряжений  $\sigma_3$ ), при этом прочность их снижается. С целью повышения устойчивости горных выработок, поддерживаемых в условиях глубоких шахт анкерными системами, предложен новый способ установки анкера (декларационный патент № 55763), позволяющий за счет изменения вида и параметров напряженного состояния укрепляемых пород увеличить коэффициент бокового распора. Это достигается тем, что анкерная штанга впрессовывается в заранее пробуренный шпур с меньшим, чем у нее

диаметром. Впрессовку анкера в шпур осуществляют в импульсном режиме, при котором давление на торец анкера при его запрессовке  $P_{вд}$  находится в пределах

$$10\sigma_{пор}^{сж} \leq P_{вд} \leq \sigma_{анк}^{изг}, \quad (8.1)$$

где  $\sigma_{пор}^{сж}$  – предел прочности породы на сжатие, Па;

$\sigma_{анк}^{изг}$  – предел прочности анкера на изгиб, Па;

Соотношение площадей поперечного сечения шпура  $S_{шпур}$  и анкера  $S_{анк}$  находится в пределах  $0,74 \leq S_{шпур}/S_{анк} \leq 0,93$ , а соотношение модулей деформации анкера  $E_{анк}^{деф}$  и породы  $E_{пор}^{деф}$  находится в пределах  $100 \leq E_{анк}^{деф}/E_{пор}^{деф} \leq 1000$ .

Впрессовка анкера в импульсном режиме существенно уменьшает необходимое для вдавливания давление на торец анкера  $P_{вд}$  по сравнению со статическим режимом и сокращается необходимое для этого время. При вдавливании анкера происходит упруго-пластичное деформирование пород по контакту его тела со стенками шпура. При этом создаваемое давление на торец анкера  $P_{вд}$  передается как в радиальном направлении, так и перпендикулярно оси шпура. Породы в окрестности шпура упруго сжимаются. В плоскости, перпендикулярной оси шпура, за счет сил упругого восстановления сжатых при впрессовке пород, создается давление на стенки шпура и прилегающий массив около 200 МПа. Это позволяет увеличить радиальные напряжения в приконтурном массиве  $\sigma_r$  ( $\sigma_3$ ), за счет чего изменяются вид и параметры напряженного состояния укрепляемых пород, повышается коэффициент бокового распора и угол внутреннего трения. Многократно возрастает прочность укрепляемых пород, повышается устойчивость поддерживаемой выработки.

### **Способ крепления горной выработки анкерной крепью**

Способ позволяет за счет выбора рациональных параметров анкерования устранить возможность возникновения концентраций напряжений вокруг мест установки анкерных штанг, расширить область использования анкерного крепления, повысить устойчивость горной выработки, проводимой в породах любой категории устойчивости. Для этого, выбирают такой материал анкерной штанги и ее диаметр, расстояние между соседней анкерной штангой, угол наклона анкерной штанги к поверхности породного обнажения, чтобы отношение приведенного модуля упругости породно-анкерной конструкции  $E_{пр}$  к модулю упругости анкеруемой породы  $E_{п}$ , находилось в пределах от 1 до 1,25, при этом приведенный модуль упругости породно-анкерной конструкции  $E_{пр}$  рассчитывают по формуле:

$$E_{пр} = \frac{2 \cdot E_a \cdot d_a \cdot \sin \alpha + (t - d_a) \cdot E_{п}}{t} \quad (8.2)$$

где  $E_a$  – модуль упругости материала, из которого изготовлена анкерная штанга, МПа;

$d_a$  – диаметр анкерной штанги, м;

$\alpha$  – угол наклона анкерной штанги к поверхности породного обнажения, град;

$t$  – расстояние между соседними анкерными штангами, м;

$E_{п}$  – модуль упругости скрепляемых анкерами пород, МПа.

### Способ поддержания выработок «крепь-охрана»

Проведенные лабораторные и шахтные исследования деформирования и разрушения создаваемых в выработках породно-анкерных конструкций позволили установить следующее. В результате перераспределения напряжений во вмещающем массиве, вызванном проведением выработки и последующей разгрузки пород кровли, породно-анкерные конструкции быстро достигают предельного состояния, сохраняя высокую остаточную прочность. Интенсивные же разрушения во вмещающем массиве происходят за пределами породно-анкерных конструкций, которые в запредельной области квазипластично деформируются, выполняя роль крепи.

С целью скорейшего создания благоприятных условий для работы породно-анкерных конструкций, выполняющих роль крепи, и сохранения природной прочности приконтурных пород, был разработан способ поддержания «крепь-охрана» (рис.. 8.2а).

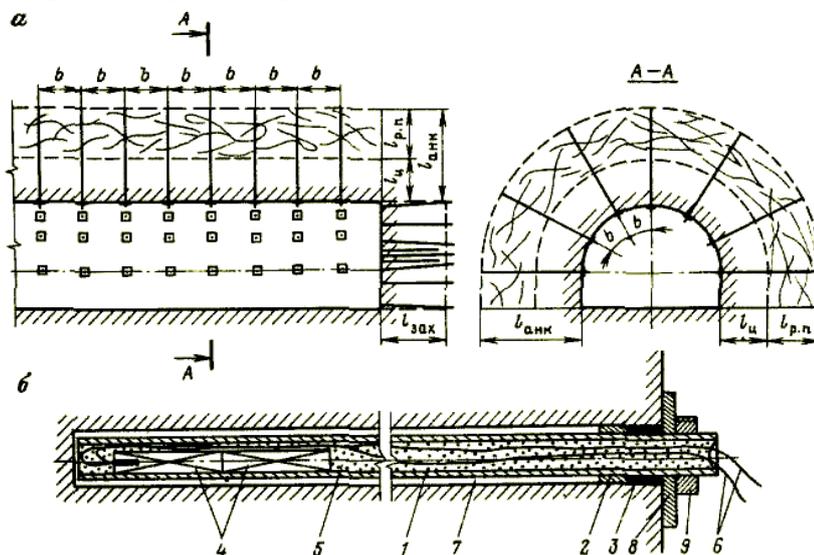


Рис. 8.2. Схема проведения выработки с использованием способа «крепь-охрана» (а) и конструкция заряда ВВ (б): 1 – трубчатый анкер; 2 – гайка стопора пакера; 3 – пакер; 4 – патроны ВВ; 5 – песчано-глинистая забойка; 6 – провода электродетонаторов; 7 – шпур; 8 – опорная плита; 9 – натяжная гайка.

Идея способа состоит в переносе повышенных напряжений, действующих на контуре выработки при ее проведении, вглубь массива, за пределы создаваемой породно-анкерной конструкции, что позволяет в полной мере использовать несущую способность вмещающих пород за счет сохранения ими природной прочности. Это обеспечивается использованием

взрыво-распорных трубчатых анкеров специальной конструкции (рис. 8.23б) при раскреплении которых, часть энергии расходуется на образование зоны разгрузки, а остальная – на развальцовывание анкеров в шпурах. При этом, вокруг выработки искусственно образуется демпфирующая область из нарушенных пород, а разгруженная от напряжений породно-анкерная оболочка выполняет роль крепи.

Основными параметрами способа являются длина анкера ( $l_{\text{анк}}$ ), масса заряда ВВ в нем ( $Q$ ) и расстояние между анкерами ( $b$ ). Для их определения были проведены лабораторные и аналитические исследования .

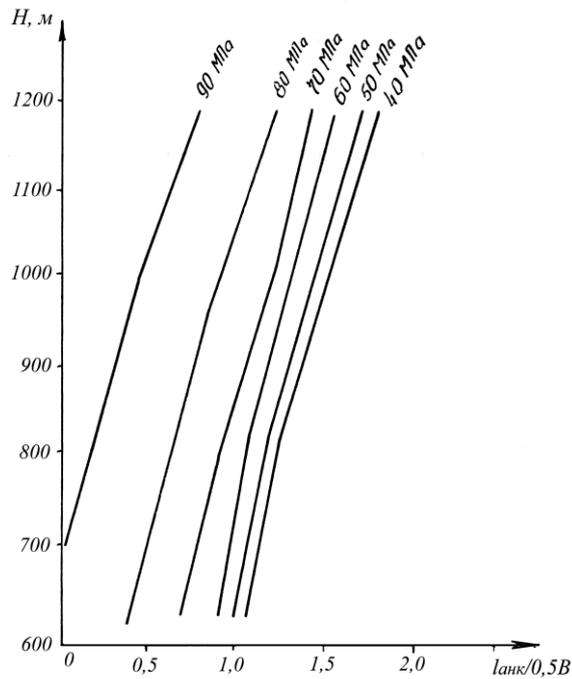


Рис. 8.3. Номограмма для определения длины трубчатого анкера

Для удобства определения длины анкера в различных горно-геологических условиях, в зависимости от глубины заложения выработки ( $H$ ), прочности вмещающих пород и ширины выработки ( $B$ ), по результатам выполненных расчетов была построена номограмма (рис. 8.3).

Способ поддержания выработок «крепь-охрана» может применяться в выработках самостоятельно (технологическая схема 1 рис. 8.4), в сочетании с металлической арочной податливой крепью (технологическая схема 2 рис. 8.5) и в сочетании с набрызг-бетонной крепью (технологическая схема 3 рис.8.6). Расчетные параметры поддержания выработок при использовании технологических схем 1-3 приведены в табл. 8.1-8.3.

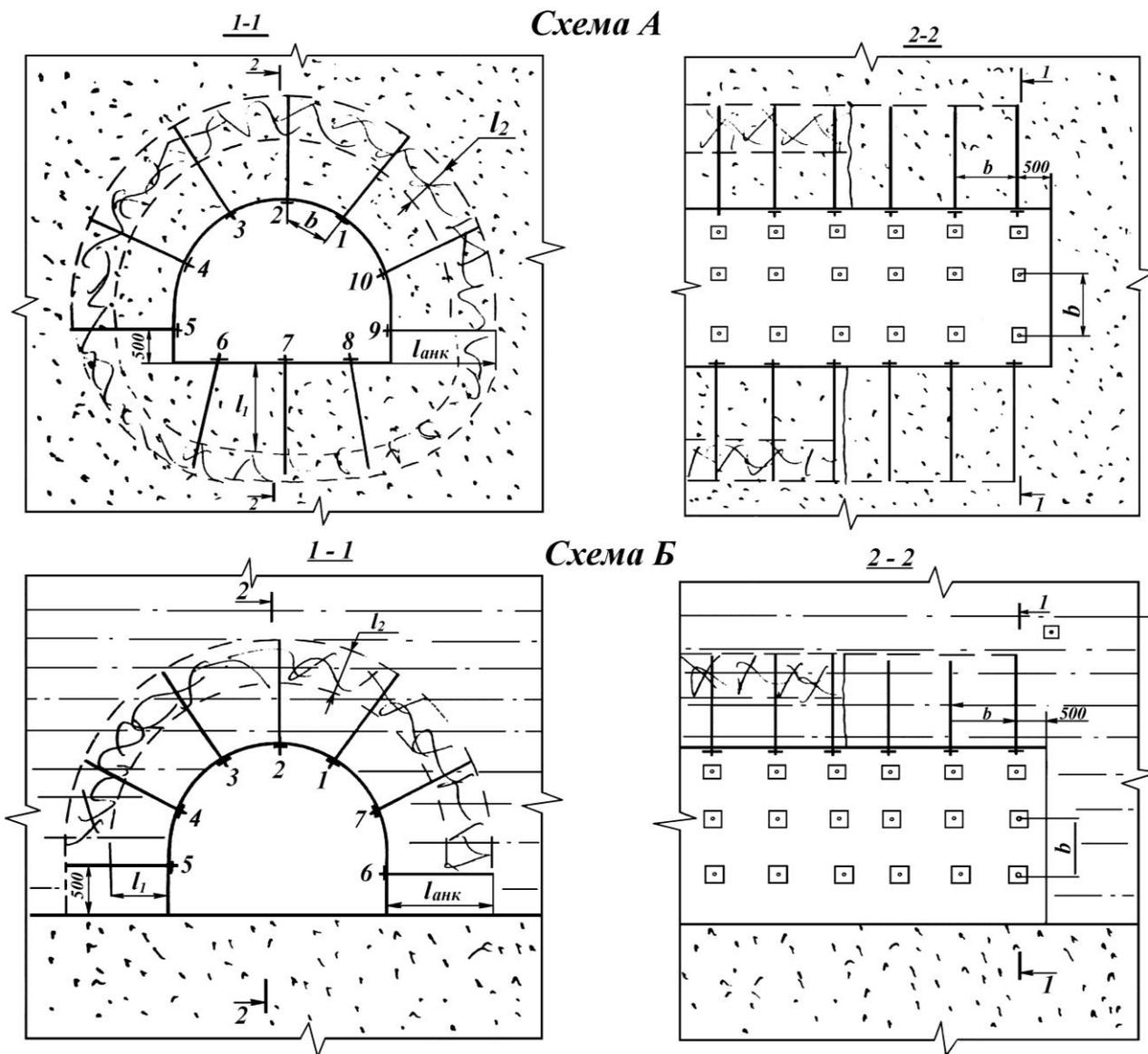


Рис. 8.4. Технологическая схема 1 при самостоятельном использовании способа поддержания «крепь-охрана»

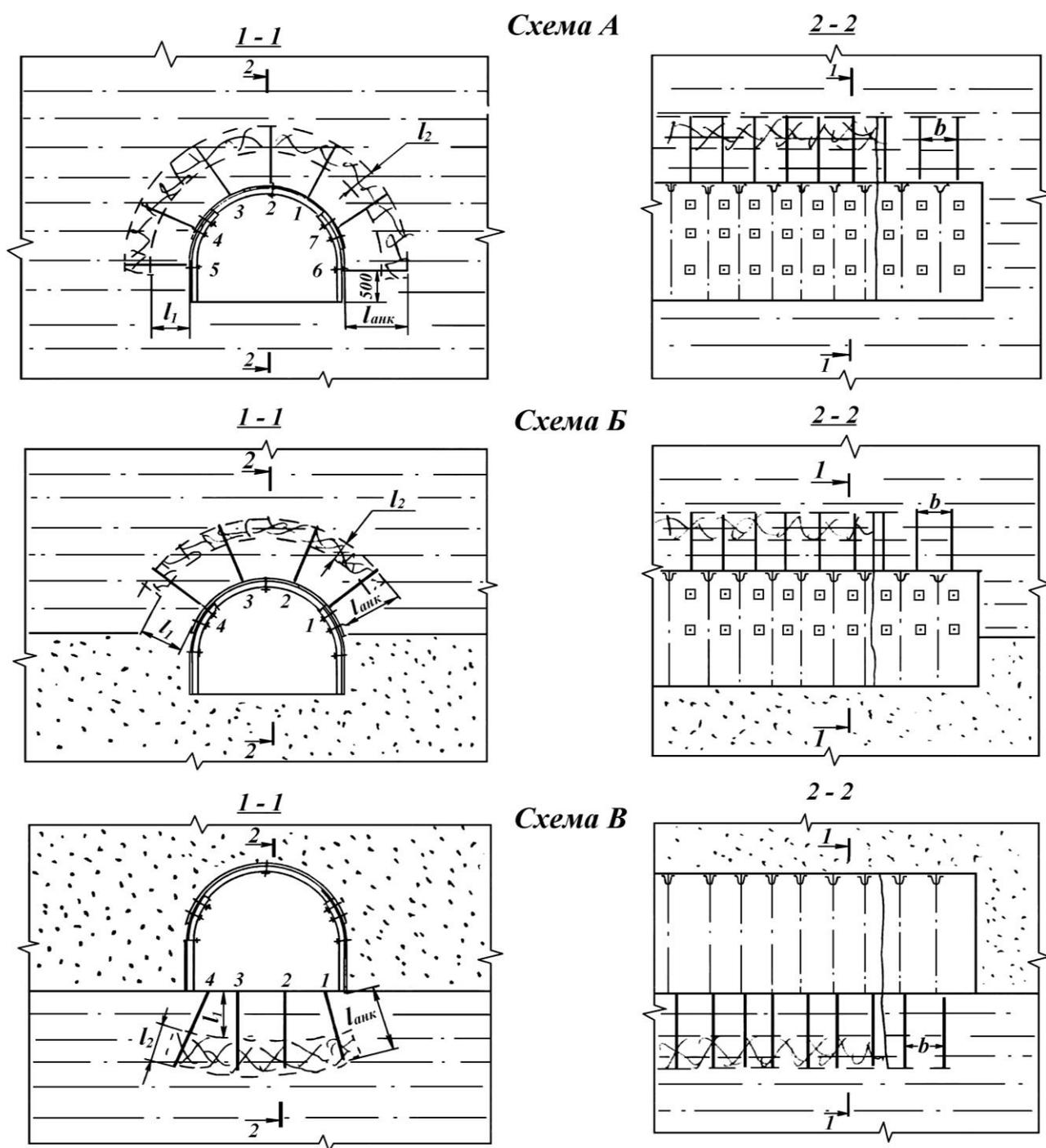


Рис. 8.5. Технологическая схема 2 при использовании способа поддержания «крепь-охрана» в сочетании с металлической арочной податливой крепью

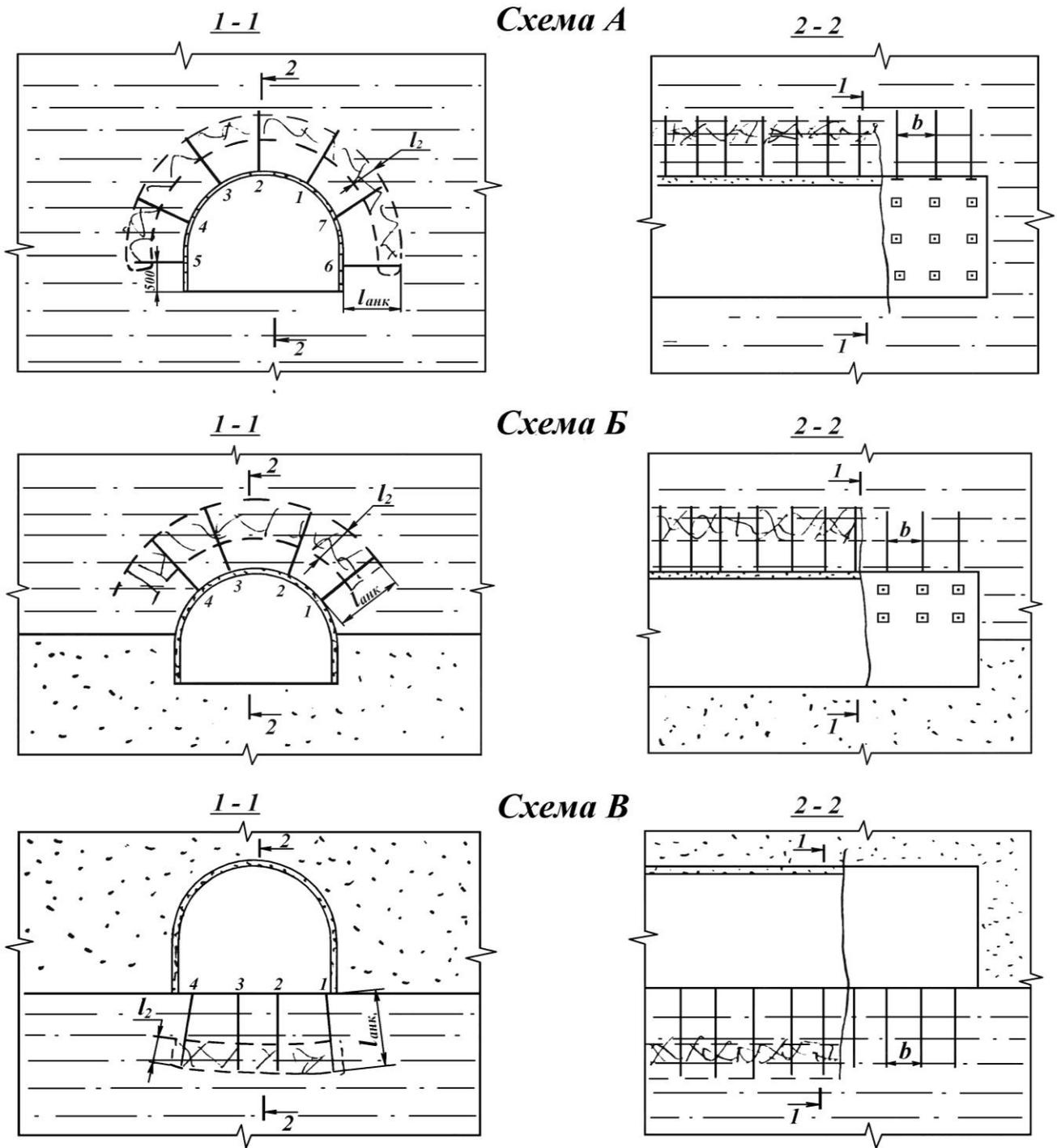


Рис. 8.6. Технологическая схема 3 при использовании способа поддержания «крепь-охрана» в сочетании с набрызг-бетонной крепью

Таблица 8.1.  
 Параметры способа поддержания «крепь – охрана» к схемам 1А и 1Б

Глубина, м	Параметры способа поддержания «крепь – охрана» при прочности пород, МПА								
	60			70			80		
	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м
600	0,44 b	0,3	0,7	0,33 b	0,6	1,0	0,19 b	0,9	1,5
800	0,52 b	0,3	0,7	0,46 b	0,6	1,0	0,32 b	0,9	1,5
1000	0,66 b	0,3	0,7	0,59 b	0,6	1,0	0,45 b	0,9	1,5
1200	0,81 b	0,3	0,7	0,73 b	0,6	1,0	0,63 b	0,9	1,5

Таблица 8.2  
 Параметры способа поддержания «крепь – охрана» к схемам 2А, 2Б, 2В

Глубина, м	Параметры способа поддержания «крепь – охрана» при прочности пород, МПА											
	40				50				60			
	АП-3, рама/м	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	АП-3, рама/м	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	АП-3, рама/м	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м
600	1,0	0,66 b	0,4	1	1,0	0,37 b	0,6	1	1,0	0,4 b	0,8	1
800	1,25	0,75 b	0,4	0,8	1,0	0,61 b	0,6	1	1,0	0,5 b	0,8	1
1000	1,25	0,88 b	0,4	0,8	1,25	0,75 b	0,6	0,8	1,0	0,5 b	0,8	1
1200	1,25	0,95 b	0,4	0,8	1,25	0,85 b	0,6	0,8	1,0	0,73 b	0,8	1

Таблица 8.3  
 Параметры способа поддержания «крепь – охрана» к схемам 3А, 3Б, 3В

Глубина, м	Параметры способа поддержания «крепь – охрана» при прочности пород, МПА															
	60				70				80				90			
	НБК, $\delta$	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	НБК, $\delta$	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	НБК, $\delta$	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м	НБК, $\delta$	$l_{\text{анк}}, \text{м}$	Q, кг	b, м
600	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,07 b	0,3	0,6	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,4 b	0,3	0,7	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,29 b	0,6	1,0	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,17 b	0,8	1,5
800	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,61 b	0,3	0,6	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,5 b	0,3	0,7	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,41 b	0,6	1,0	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,29 b	0,9	1,5
1000	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,75 b	0,3	0,6	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,95 b	0,3	0,7	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,5 b	0,6	1,0	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,41 b	0,9	1,5
1200	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,85 b	0,3	0,6	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,73 b	0,3	0,7	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,66 b	0,5	1,0	0,03 $\sqrt{l_{\text{анк}}}$	0,56 b	0,9	1,5

## Способ пространственного анкерного крепления

Для создания вокруг выработки породно-анкерной оболочки с высокой остаточной несущей способностью, позволяющей породам на контуре деформироваться в значительных пределах, на основе испытанных в лабораторных условиях схем армирования были разработаны схемы крепления кровли и боков породно-анкерными конструкциями (рис. 8.7-8.8).

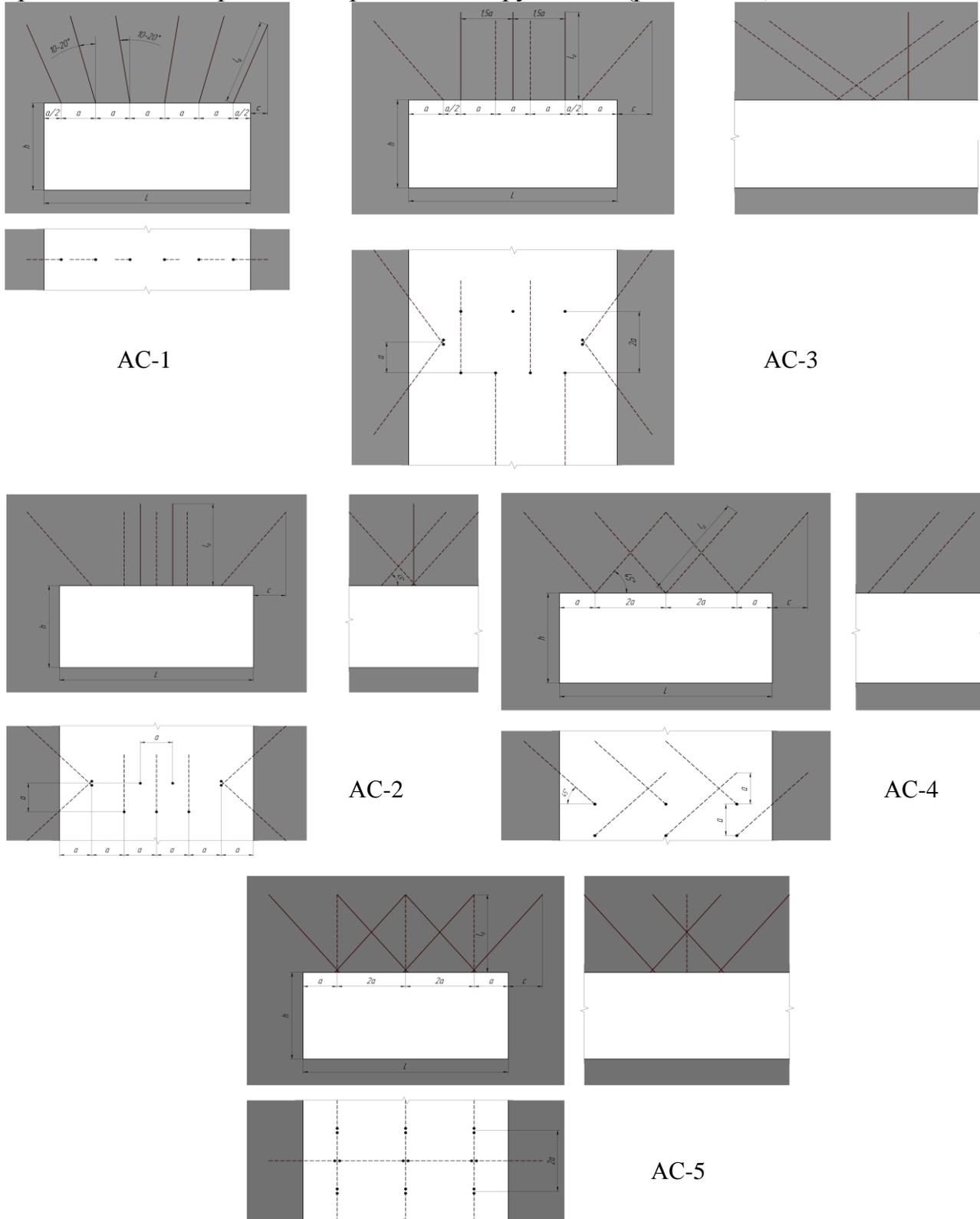


Рис. 8.7. Схемы анкерования кровли выработок

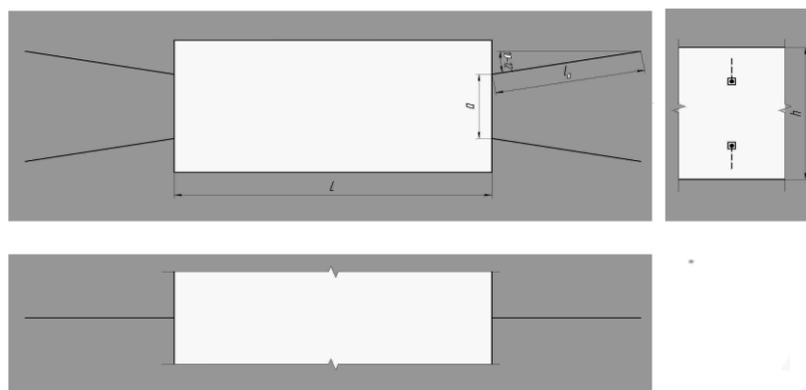


Схема 1

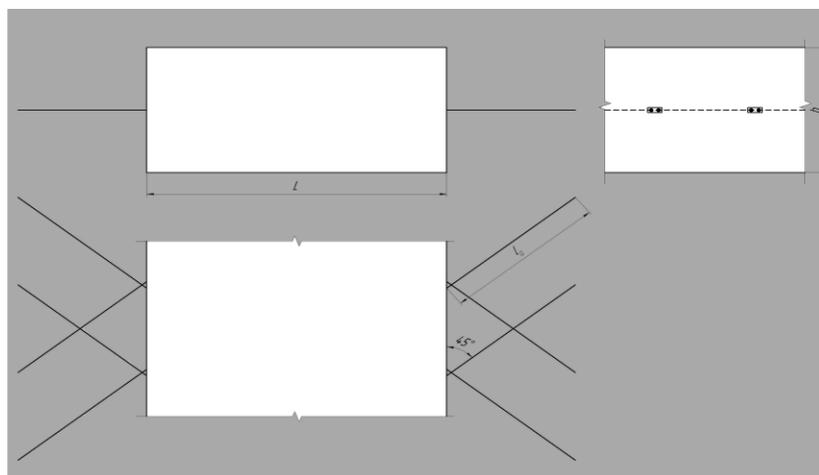


Схема 2

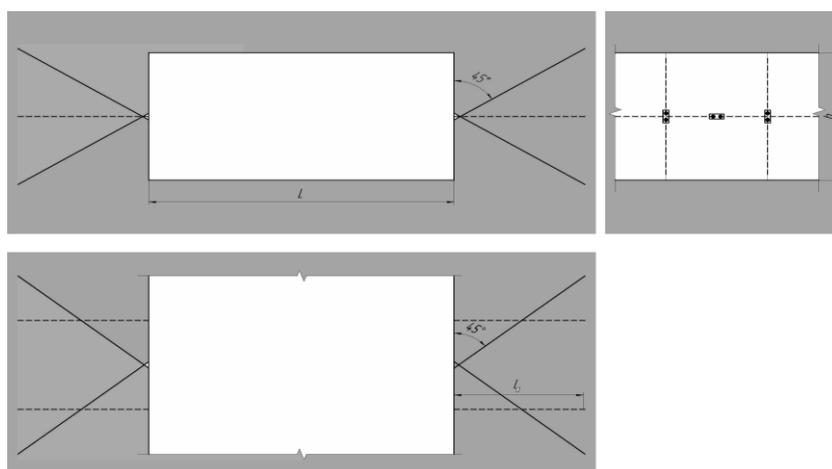


Схема 3

Рис. 8.8. Схемы анкерования боков выработки

Разработанные схемы крепления позволяют создать за счет использования пространственного армирования непрерывные по длине выработки несущие породно-анкерные конструкции с заданными свойствами. Одна из схем крепления кровли была запатентована (способ пространственного армирования, декларационный патент № 42320 – рис. 8.9).

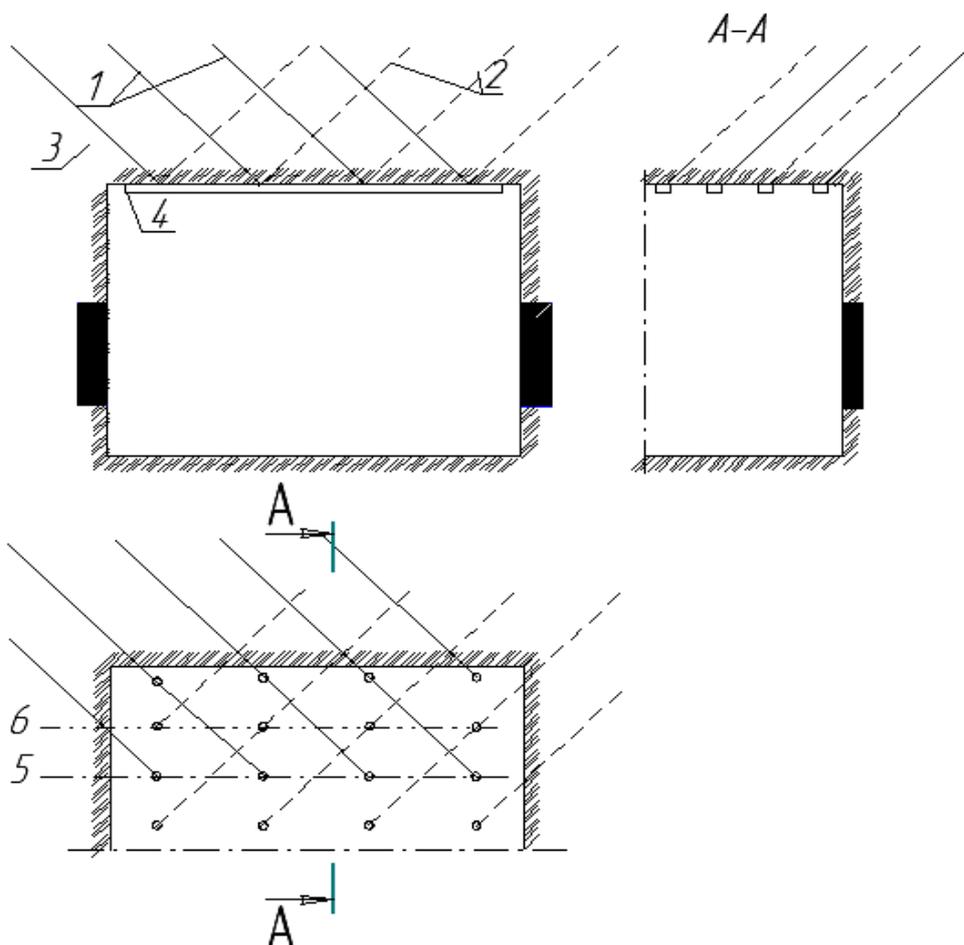


Рис. 8.9. Пространственная схема расположения анкеров с их ориентацией по смещенным диагоналям куба: 1 – анкера четного ряда; 2 – анкера нечетного ряда; 3 – кровля выработки; 4 – анкерный подхват, 5 – четные полосы; 6 – нечетные полосы.

Сущность способа заключается в том, что закрепляемая поверхность породного обнажения по длине выработки или ее участка условно разбивается на четные и нечетные полосы. В пределах каждой полосы размечаются квадраты. Квадраты в четных полосах смещены вдоль оси выработки относительно квадратов нечетных полос на половину стороны своего основания. Анкеры устанавливают в вершинах квадратов, при этом направление анкеров совпадает с большими диагоналями кубов, боковыми гранями которых являются указанные квадраты. Анкеры устанавливают с наклоном к забою выработки. При этом в четных и нечетных рядах анкеры направлены в противоположные стороны относительно поперечного сечения выработки (см. рис. 8.9).

### Рамно-анкерная крепь

С целью обеспечения длительной устойчивости выработок, снижения затрат на их поддержание и упрощения технологии крепления была разработана рамно-анкерная крепь, общий вид которой показан на рис.8.10.

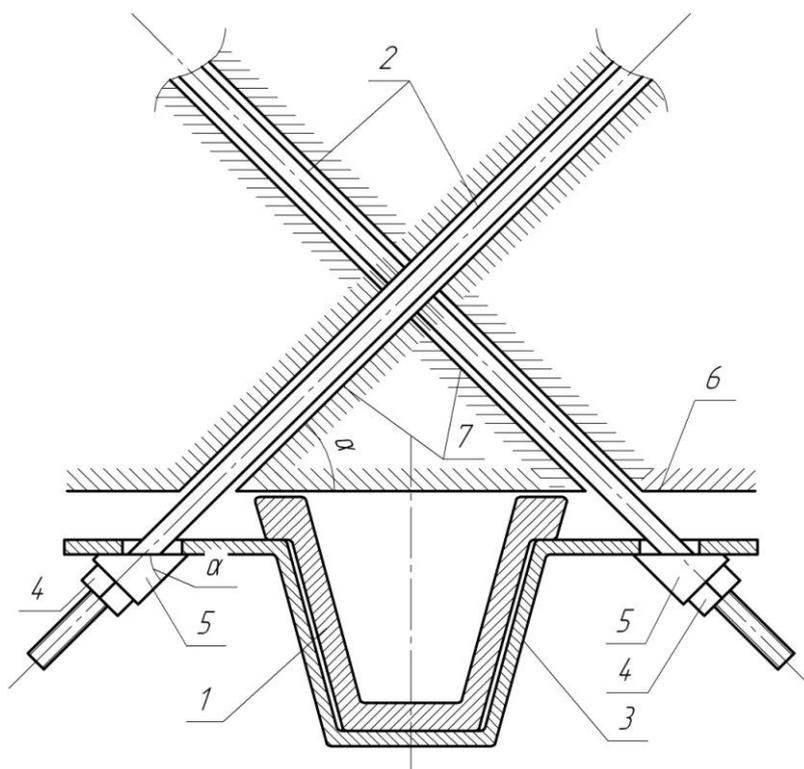


Рис. 8.10. Общий вид рамно-анкерной крепи: 1 – рама податливой крепи; 2 – жесткие анкеры; 3 – планка; 4 - гайки 4; 5 - фигурные шайбы; 6- закрепляемая поверхность; 7 - шурупы для установки анкерных штанг;  $\alpha$  - угол установки анкерных штанг.

Она состоит из податливой рамы 1, жестких анкеров 2, связанных с рамой посредством планки 3, гаек 4 и фигурной шайбы 5. Для установки анкеров в закрепляемую поверхность 6 бурятся шурупы 7 под углом  $\alpha=40-70^{\circ}$ . Устанавливаемая в забое проводимой выработки рамная крепь, обеспечивает необходимый подпор породам на контуре выработки и препятствует развитию разрушений вглубь массива до момента установки анкерной крепи. После установки анкерной крепи в приконтурном ненарушенном массиве создается жесткая породно-анкерная конструкция, в которой за счет скрещивающегося расположения анкеров, обеспечивается дополнительный подпор породам на контуре выработки и достигается положительный технический эффект. Благодаря своему пространственному расположению анкеры вовлекаются в совместную работу с рамной крепью. При этом, происходит не только объединение усилий рамной и анкерной крепи по восприятию горного давления, но и обеспечивается их жесткий и согласованный режим работы за счет соединения их в единую конструкцию планкой, фигурными шайбами и гайками.

### Способ комбинированного крепления выработок анкерной крепью

Для сложных горно-геологических условий поддержания был разработан способ крепления выработок комбинированной анкерной крепью.

Способ обеспечивает максимальное использование несущей способности приконтурного породного массива, для чего он армируется жесткими анкерами и выполняет роль грузонесущей породно-анкерной конструкции. С целью повышения работоспособности и надежности в работе, созданной в забое выработки жесткой породно-анкерной конструкции, она, с помощью податливых анкеров глубокого заложения прикрепляется к не нарушенному массиву, что обеспечивает ей возможность работы в податливом режиме.

Способ крепления выработок комбинированной анкерной крепью реализуется следующим образом (рис. 8.11). После определения ожидаемого размера зоны разрушенных пород вокруг выработки 1, на эту глубину, по ее контуру бурят шпуров и устанавливают сталеполимерные анкера 2. Затем, с отставанием от забоя не более 5-8 м, на участках обнажений между ранее установленными жесткими анкерами бурят шпуров на глубину в 2,5 раза больше, чем размер зоны разрушенных пород (но не больше 10 м), в которые устанавливают податливые анкера 3.

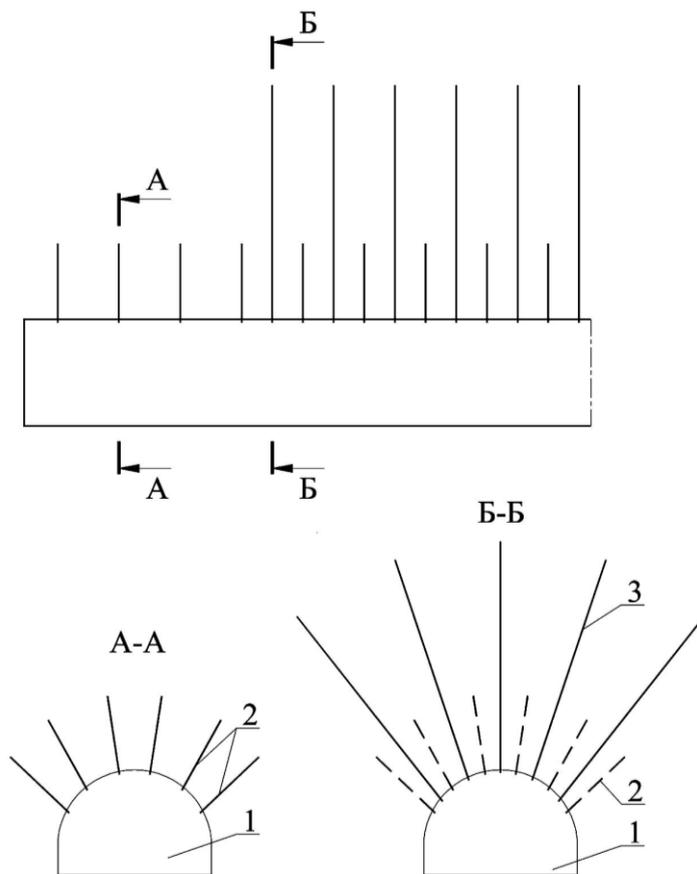


Рис. 8.11. Схема реализации способа крепления выработок комбинированной анкерной крепью

Механизм повышения устойчивости выработки заключается в следующем. При удалении забоя разрушение пород, в пределах созданной породно-анкерной оболочки не происходит. Процессы деформирования и разрушения начинаются в глубине массива, за ее пределами. Возводимая же с отставанием от забоя податливая анкерная крепь позволяет перемещаться жесткой породно-анкерной конструкции в полость выработки, не разрушаясь, максимально используя несущую способность приконтурного слоя пород и пород, в пределах формирующейся зоны разрушения вокруг выработки, чем способствует скорейшему установлению в массиве равновесного состояния и стабилизации смещений пород. Использование способа позволяет снизить материальные и трудовые затраты в 2-3 раза по отношению к известным способам и обеспечить устойчивое состояние выработок.

### **Разработка метода расчета параметров анкерных систем для обеспечения устойчивости горных выработок**

На основании выполненных лабораторных, шахтных и теоретических исследований предельного и запредельного напряженно-деформированного состояния и механизма разрушения породно-анкерных конструкций, армированных по различным схемам, были сформулированы основные принципы их расчета. Они базируются на том, что деформирование и последующее разрушение анкерных систем происходит в два этапа. На первом этапе, под действием разгрузки в забое проводимой выработки от радиальных напряжений, конструкция быстро достигает предельного состояния, при этом происходит ее плавный прогиб, вызывающий возникновение в ней изгибающих и растягивающих напряжений. На втором этапе – под действием продолжающихся снижаться радиальных напряжений, и сжимающих напряжений, направленных со стороны боков и вдоль продольной оси выработки, конструкция переходит в область квази-пластического деформирования, сохраняя высокую остаточную прочность. Дальнейшее ее деформирование в запредельном состоянии от совместного действия растягивающих и сдвигающих напряжений, приводит к постепенному (при остаточных относительных деформациях в направлении разгрузки более 0,2) ее расслоению и разрушению (остаточная прочность снижается до значений, характерных для не армированных пород).

Таким образом, предельное состояние породно-анкерных конструкции, армированных по различным схемам наступает после реализации ее максимальных перемещений от прогиба и последующих запредельных относительных остаточных деформаций материала конструкции (более 0,23) в направлении разгрузки.

С учетом описанного выше механизма деформирования и разрушения породно-анкерных конструкций, армированных с использованием различных схем, были определены предельные деформации (прогибы) анкерных систем, которые составляют от 0,08 до 0,23, что в 1,4-3,3 раза превышает соответствующий показатель для традиционной радиальной

схемы расположения анкеров. Остаточная прочность материала конструкции составляет от 31 до 85 % прочности пород в образце. Это позволило ограничить область применения анкерных систем как самостоятельной конструкции для крепления горных выработок предельным прогибом конструкции до 550 мм. В случае если прогиб конструкции превышает предельный, необходимо применять усиливающие конструкции крепи.

Ниже приводятся разработанные на основе выполненных исследований классификации породно-анкерных конструкций для крепления выработок, основные требования, предъявляемые к ним и области их применения.

Конструкции крепления на основе анкерных систем могут использоваться:

- а) в выработках, которые проводятся и эксплуатируются за пределами зон непосредственного влияния очистных работ;
- б) в выработках, которые оконтуривают выемочный столб и погашаются вслед за лавой;
- в) в выработках, которые оконтуривают выемочный столб и сохраняются позади лавы для повторного использования .

### **Классификации конструкций крепления на основе анкерных систем (АС)**

По способности АС обеспечивать устойчивость выработки в течение всего периода ее существования, они делятся на три вида:

- а) анкерная система, которая представляет собой самостоятельную конструкцию, имеет высокую несущую способность, способна выдержать смещения пород в заданных пределах без повреждений. Обозначение **АС**;
- б) комбинация анкерной системы с рамным креплением, в которой анкерное является основным. Обозначение **АС+РК**;
- в) конструкции крепления выработки с высокой несущей способностью, в которых основное анкерное крепление (АС) по мере развития смещений пород (при развитии горных работ, или при попадании выработки в зону опорного давления впереди очистного забоя) поэтапно усиливается с использованием рамного и стоек усиливающего крепления с высокой несущей способностью. Обозначение **АС+РК+УК**.

Пространственные схемы установки анкеров и области их использования, в соответствии с величинами прогнозируемых смещений пород в незакрепленной выработке:

#### **для крепления кровли**

а) **АС**, которые представляют собой самостоятельную конструкцию, предназначенные для восприятия смещений пород кровли в выработке в пределах не более (рис.8.7):

- 1) АС-1 – 200 мм ;
- 2) АС-2 – 300 мм ;
- 2) АС-3 – 400 мм ;

3) АС-4 – 450 мм ;

4) АС-5 – 550 мм;

б) **АС+РК**, предназначенные для восприятия смещений пород кровли в выработку в пределах не более:

1) АС-1 + РК – 300 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 80 % от естественной в нетронutom массиве (А);

2) АС-2 + РК – 400 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 60 % от естественной в нетронutom массиве (В);

3) АС-3 + РК – 500 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 50 % от естественной в нетронutom массиве (С);

4) АС-4 + РК – 700 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 40 % от естественной в нетронutom массиве (D);

5) АС-5 + РК – 800 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 30 % от естественной в нетронutom массиве (Е);

в) **АС+РК+УК** с назначением воспринимать смещения пород кровли в выработку в пределах не более 1500 мм с сохранением остаточной прочности армированных пород в пределах не менее 20 %.

### **Схемы установки анкеров в боках выработки**

Конструкции крепления боков выработок на основе АС должны противостоять расслоению этих пород и их выдавливанию в выработку, максимально сохраняя при этом их естественную прочность и монолитность. В зависимости от ожидаемых смещений боковых пород в выработку, применяют следующие породно-анкерные конструкции для крепления боков (рис. 8.8):

– схема 1 для удержания смещений пород со стороны боков в выработку в пределах не более 30 мм и сохранением естественной монолитности и прочности горных пород при сроке службы выработки до 7 лет;

– схема 2 для удержания смещений пород со стороны боков в выработку в пределах не более 50 мм и сохранением остаточной прочности армированных боковых пород в пределах не менее 80 % от естественной в нетронutom массиве при сроке службы выработки до 5 лет;

– схема 3 для удержания смещений пород со стороны боков в выработку в пределах не более 100 мм и сохранением остаточной прочности армированных боковых пород в пределах не менее 60 % от естественной в нетронutom массиве при сроке службы выработки до 2 лет.

### **Срок службы анкерных систем (АС)**

Ниже приведены минимальные значения сроков службы конструкций крепи на основе использования анкерных систем, установленные по данным

выполненных в разделе 4 исследований.

1) Для **АС**, которые сохраняют монолитность горных пород вокруг выработки, самостоятельно обеспечивают вне зон влияния выработанных пространств высокий уровень безопасности и надежности в благоприятных горно-геологических и горно-технических условиях ее проведения и эксплуатации – до 10 лет;

2) Для **АС+РК** с достаточно высокой несущей способностью, которые обеспечивают сохранение остаточной прочности армированных пород в установленных пределах и необходимый уровень безопасности без дополнительных способов их охраны в сложных горно-геологических, поддерживаемых вне зон влияния выработанных пространств:

- (А) – до 7 лет;
- (В) – до 5 лет;
- (С) – до 3 лет;
- (D,E) – до 2 лет.

3) **АС+РК+УК** – которые ограничивают уровень потери несущей способности нарушенных горных пород вокруг выработки и обеспечивают достаточный уровень ее безопасности и надежности, погашаемые вслед за лавой – до 2 лет.

### **Требования к обеспечению надежности в работе конструкций крепления на основе АС**

Для обеспечения надежности и безопасности работы конструкций крепления на основе АС, в выработке любой формы поперечного сечения необходимо соблюдать следующие требования:

1) рабочее расстояние между анкерами, установленными в плоскости поперечного сечения выработки, должно быть не менее 500 мм и не более 1500 мм;

2) рабочее расстояние между рядами анкеров, установленными вдоль выработки должно быть 500-1000 мм;

3) крайние анкера в ряду, в выработках с прямоугольной формой поперечного сечения или трапециевидным с наклонной кровлей должны быть наклонены от вертикальной оси в бок. Размер проекции анкера на горизонтальную плоскость должен составлять:

а) в выработках, которые погашаются вслед за лавой и капитальных –  $450 \pm 50$  мм;

б) в выработках, используемых повторно –  $700 \pm 50$  мм.

Конструкции крепления на основе АС для кровли и боков принимаются в зависимости от назначения выработки, необходимой несущей способности и устойчивости для противодействия смещениям пород в выработку.

В породах кровли выработок, расположенных на удалении не менее, чем на их высоту, не должно содержаться угольных пропластков, пластов и других плоскостей «скольжения». Во вмещающем выработку массиве, в пределах зоны

ее влияния, породы не должны быть склонны к пластичности, а мощность породных слоев с пределом прочности на одноосное сжатие в образце меньше 30 МПа составлять до 0,2 м.

Выработки или их участки, которые крепятся с использованием анкерных систем, должны быть удалены от краевых зон пластов и целиков угля на пластах, которые подрабатываются и надрабатываются не менее, чем на 200 м.

При использовании АС в составе комбинированного крепления в сочетании с крепью усиления в подготовительных выработках, используемых повторно и сохраняемых позади первой лавы, их охрана должна осуществляться жесткими охранными конструкциями.

Величина предельных относительных смещений пород кровли выработки для сохранения работоспособности АС в системах комбинированного (анкерно-рамного) крепления, при повторном использовании выработки не должна превышать предельного относительного удлинения анкерных штанг, т.е не более 20 %.

С учетом изложенных выше требований был разработан метод расчета параметров породно-анкерных конструкций, армированных по разработанным схемам 1-5 (рис. 8.7-8.8). Алгоритм расчета показан на рис. 8.12. Метод расчета основан на новых принципах расчета, согласно которым параметры и схема установки анкеров выбираются из условия, чтобы создаваемая породно-анкерная конструкция либо не разрушалась, либо разрушалась в заданных пределах с сохранением необходимой грузонесущей способности. Такой подход позволяет дифференцированно рассчитать параметры как анкерной, так и усиливающей крепи (рамы и усиливающие стойки) с учетом остаточной грузонесущей способности породно-анкерной конструкции. Эмпирические формулы, используемые в разработанном методе, получены на основании статистической обработки результатов проведенных лабораторных и аналитических исследований.

Определение параметров анкерных систем (АС) осуществляют на основании горно-геологических и горно-технологических условий проведения выработки, с учетом требований действующих нормативных документов, в соответствии с алгоритмом расчета (рис. 8.12). Порядок расчета следующий.

1. Рассчитывают средневзвешенную прочность пород, вмещающих выработку согласно методике ВНИМИ.

2. Рассчитывают ожидаемые смещения пород в не закрепленной выработке согласно методике ВНИМИ.

3. На основании горно-геологических и горно-технологических условий проведения выработки предварительно выбирают АС (рис. 8.7).

4. На основании горно-геологических условий проведения выработки, предварительно выполняют выбор глубины анкерования, которая должна быть не менее половины ширины выработки.

5. Рассчитывают предельные смещения контура выработки при

использовании избранной схемы АС с учетом предварительно принятой глубины анкерования:

$$U_{\text{пр}} = -0,00047 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ell_a + 0,0001 \cdot H \cdot \ell_a, \text{ АС-1}$$

$$U_{\text{пр}} = 0,0013 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ell_a + 0,000052 \cdot H \cdot \ell_a, \text{ АС-2}$$

$$U_{\text{пр}} = 0,0021 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ell_a + 0,000072 \cdot H \cdot \ell_a, \text{ АС-3}$$

$$U_{\text{пр}} = 0,0035 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ell_a + 0,000032 \cdot H \cdot \ell_a, \text{ АС-4}$$

$$U_{\text{пр}} = 0,0011 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot \ell_a + 0,00011 \cdot H \cdot \ell_a, \text{ АС-5}$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – прочность на сжатие анкеруемой породы в образце, МПа;

$\ell_a$  – глубина анкерования, м;

$H$  – глубина заложения выработки, м.

6. На основании определенных смещений со стороны кровли в незакрепленной выработке  $U_k$  и  $U_{\text{пр}}$  принимают нормативную нагрузку на АС ( $p^H$ ), после чего определяют ожидаемую нагрузку на АС ( $P$ ).

7. Предварительно задавшись количеством анкеров для закрепления выработки ( $n_{\text{анк}}$ ), определяют нагрузку на анкер ( $q_a$ ) таким образом, чтобы  $q_a \leq 150$  кПа:

$$q_a = P/n_{\text{анк}}, \quad (8.3)$$

где  $n_{\text{анк}}$  – ориентировочное количество анкеров на 1 п.м. выработки;

$P$  – ожидаемая нагрузка на АС, кПа.

8. Выполняют расчет ожидаемых смещений контура выработки при применении АС ( $U_{\phi}$ ) при расчетном нагружении ( $q_a$ ) на анкер по формулам:

$$\text{для АС-1: } U_{\phi} = -0,053 \cdot L + 0,0052 \cdot q_a - 0,009 \cdot \ell_a, \text{ м}$$

$$\text{для АС-2: } U_{\phi} = -0,044 \cdot L + 0,0043 \cdot q_a - 0,0075 \cdot \ell_a, \text{ м}$$

$$\text{для АС-3: } U_{\phi} = -0,033 \cdot L + 0,0029 \cdot q_a - 0,0055 \cdot \ell_a, \text{ м}$$

$$\text{для АС-4: } U_{\phi} = -0,029 \cdot L + 0,0028 \cdot q_a - 0,005 \cdot \ell_a, \text{ м}$$

$$\text{для АС-5: } U_{\phi} = -0,027 \cdot L + 0,0026 \cdot q_a - 0,0045 \cdot \ell_a, \text{ м,}$$

где  $L$  – ширина выработки по кровле, м.

9. Выполняют сравнение ожидаемых смещений контура выработки при применении АС ( $U_{\phi}$ ) и ожидаемых смещений пород в кровле раскрепленной выработки ( $U_k$ ), корректируют или окончательно принимают количество анкеров.

10. Определяют возможность поддержания выработки только с использованием АС. В случае если  $U_{\phi} < U_{\text{пр}}$  то окончательно определяют параметры анкерной системы.

Схема установки анкеров в боку выработки, их количество и длина

определяются с учетом принятых параметров крепления кровли выработки и технологии ведения горных работ.

11. В случае не возможности поддержания выработки только с использованием АС ( $U_{\phi} \geq U_{пр}$ ), рассчитывают остаточные смещения, которые должна выдержать усиливающая крепь в составе комбинированной крепи (АС+рамная крепь (РК), или АС+РК+крепь усиления):

$$U_{ост} = U_{к} - U_{\phi}. \quad (8.4)$$

В этом случае возможна замена схемы АС на более простую и более технологичную.

12. Рассчитывают относительную деформацию АС в направлении смещений контура выработки ( $U_{\phi}/\ell_a$ ).

В случае когда  $U_{\phi}/\ell_a > 0,2$  – АС исчерпала свою несущую способность.

В случае когда  $U_{\phi}/\ell_a \leq 0,2$  – определяют остаточную прочность АС ( $\sigma_{ост}$ ) по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Для АС-1: } \sigma_{ост} &= 0,225 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[ +0,3 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} - 1 \right) \right] \\ \text{Для АС-2: } \sigma_{ост} &= 0,290 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[ +0,26 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} - 1 \right) \right] \\ \text{Для АС-3: } \sigma_{ост} &= 0,300 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[ +0,27 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} - 1 \right) \right] \\ \text{Для АС-4: } \sigma_{ост} &= 0,315 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[ +0,28 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} - 1 \right) \right] \\ \text{Для АС-5: } \sigma_{ост} &= 0,325 \cdot \sigma_{сж} \cdot \left[ +0,3 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} - 1 \right) \right] \end{aligned}$$

где  $\rho$  – плотность анкерования, анк./м<sup>2</sup>.

13. Рассчитывают остаточную несущую способность АС ( $q_{\phi}$ ) по формуле:

$$q_{\phi} = \sigma_{ост} \cdot \left[ 0,162 - 0,041 \cdot \left( \frac{U_{\phi}}{\ell_a} \right) \right] \text{ кПа}. \quad (8.5)$$

14. С использованием номограммы [54, рис.5], на основании определенных  $U_{к}$  и  $U_{\phi}$  принимают нормативную нагрузку на комбинированную крепь в составе: АС+РК+усиливающая крепь – ( $p^{н1}$ ), и в соответствии с [54] определяют ожидаемую загрузку на АС+РК+усиливающая крепь ( $P_1$ ).

Рассчитывают и проверяют окончательную загрузку на рамную и усиливающую крепь при реализации  $U_{ост}$ :

$$P_1 = P_{ост} \cdot q_{\phi} = P_{рам} + P_{усил}. \quad (8.6)$$

15. Выполняют расчет параметров рамной крепи и параметров дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости выработки на разных стадиях ее поддержания (несущую способность и параметры крепи усиления, или анкеров глубокого заложения).

16. На основании выполненных расчетов составляется паспорт поддержания выработки, который утверждается в установленном порядке.

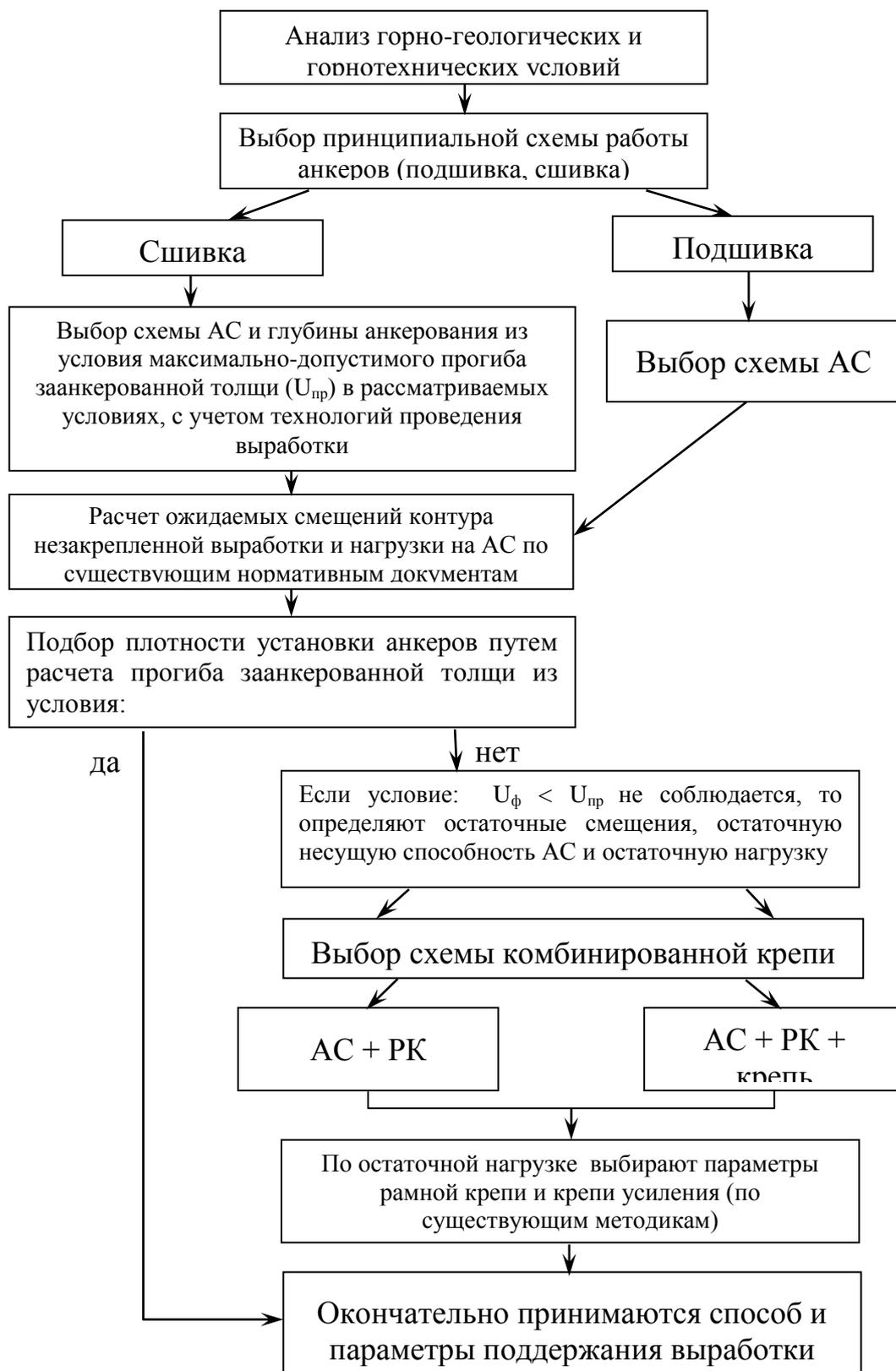


Рис. 8.12. Алгоритм расчета параметров анкерного крепления

## 9. СПОСОБЫ ОХРАНЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ (УМЕНЬШЕНИЕ) ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ВЫРАБОТКАХ.

Г.Г. Литвинский основными причинами пучения почвы подготовительных выработок считает процессы разрушения и выдавливания пород, осложняемые явлениями их размокания и набухания. Автор указывает, что в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов пучение проявляется в различных формах. В однородных породах интенсивные смещения пород почвы происходят в результате разрушения и разрыхления пород в зоне неупругих деформаций и последующего их смещения в выработку. В слабых породах типа глин и размокающих сланцев пучение проявляется в виде незатухающего вязко - пластического течения (рис. 9.1а, б, в, е, з).

Прочные слоистые породы в результате потери устойчивости слоев при продольно-поперечном изгибе разрушаются хрупко с одной или несколькими трещинами вдоль выработки (рис. 9.1д, ж). В пластовых подготовительных выработках в зоне влияния очистных работ при применении способов охраны с жесткими элементами пучение проявляется в виде выдавливания пород из-под штампа (рис. 9.1г).

Автор совершенно справедливо заметил, что авторы многочисленных исследований, посвященных пучению пород почвы, как правило, подвергли пристальному изучению какую-либо одну причину этого явления, пытаясь объяснить ею все многообразие форм этого сложного процесса.

К настоящему времени разработано большое количество способов уменьшения и предотвращения пучения пород почвы в горных выработках шахт отрасли. Эффективность каждого способа существенно зависит от его соответствия горно-геологическим и горнотехническим условиям применения, которые влияют на сам характер этого процесса.

Основным способом предотвращения пучения (выдавливания) почвы многим авторам представляется подрывка пород почвы горных выработок. Подрывка приводит к увеличению интенсивности процесса деформирования пород на контуре выработок. Она всегда связана с дополнительным разрушением основания опорных элементов крепи, в результате чего после подрывки условия работы ее значительно ухудшаются, и после двух-трех подрывок крепь, как правило, приходит в негодность, что делает необходимым перекрепление выработок. Наиболее существенное влияние подрывка оказывает на смещения пород почвы, увеличивая их скорость в 7÷13 и более раз относительно средних скоростей в периоды, предшествующие подрывкам. Активизация смещений пород на контуре выработки после подрывки свидетельствует о том, что вмешательство в естественный процесс смещений пород почвы за счет их подрывки приводит к нарушению складывающегося в массиве равновесного состояния и интенсификации протекающих геомеханических процессов.

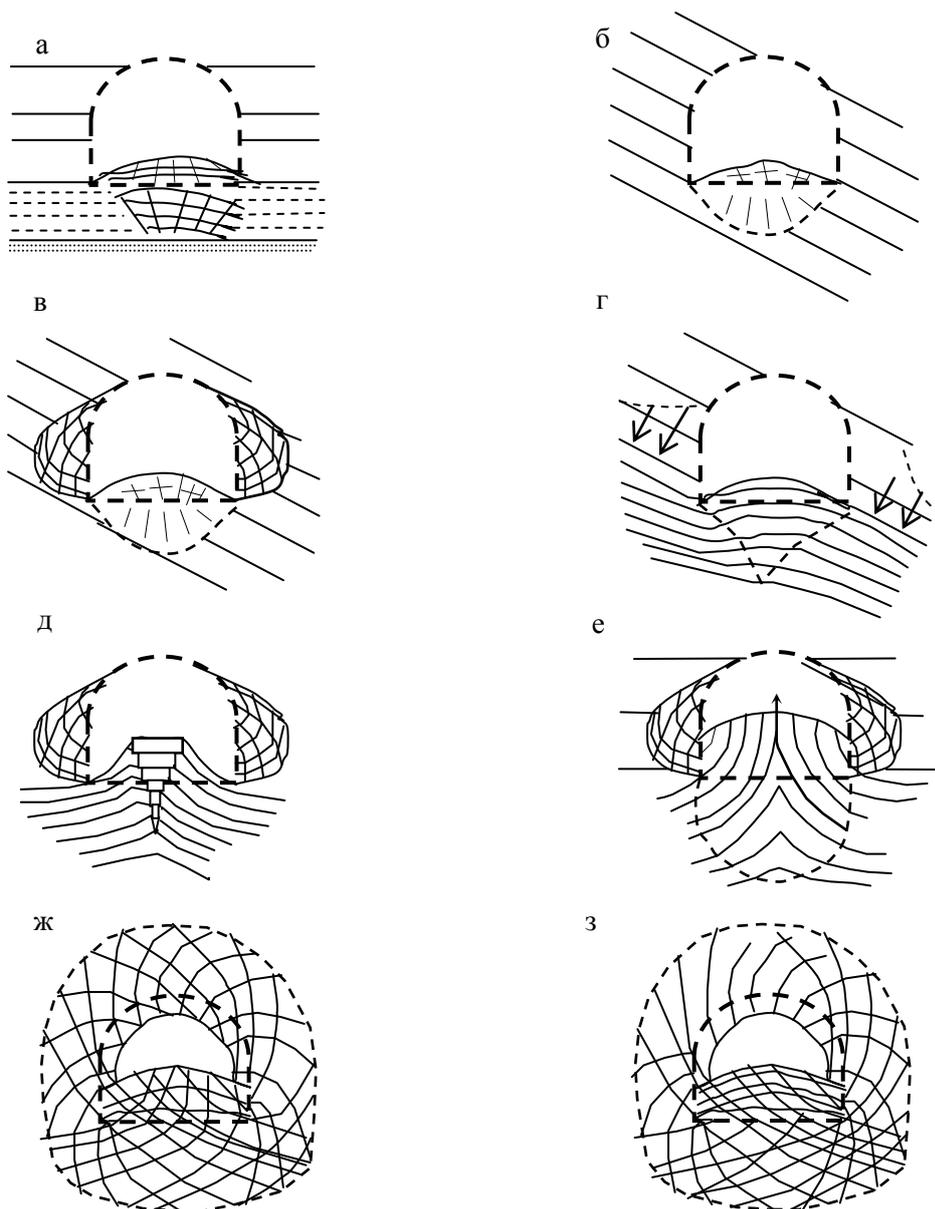


Рис. 9.1. Схемы механизмов пучения пород почвы (по Г.Г. Литвинскому): а - набухание; б - набухание, размокание; в - размокание с последующим набуханием; г - выдавливание из-под штампа; д - продольно-поперечный изгиб слоев, образование зоны неупругих деформаций; е - вязкопластическое течение при влаге; ж - образование зоны неупругих деформаций; з - вязкое течение в зоне неупругой деформации и при наличии влаги.

Применение замкнутых конструкций крепи позволяет значительно уменьшить смещения пород на контуре выработки. Их особенность заключается в противодействии смещениям за счет обратного свода крепи. К ним относятся (рис. 9.2): жесткая кольцевая металлическая крепь (КЖ); шарнирная кольцевая и эллиптическая железобетонная крепь ИГД им. А.А. Скочинского; железобетонные, деревянные, металлические податливые кольцевые крепи и металлические податливые арочные с обратным сводом; металлические трапециевидные податливые крепи с лежнем; железобетонные и металлические комбинированные крепи;

жесткие тубинговые крепи; шарнирные блочные крепи, мелкоблочная опорно-податливая крепь (КОП) с обратным сводом и без него; замкнутая крепь горных выработок с лежнем из отрезка специального профиля и замкнутого каната по почве выработки (рис. 9.3).

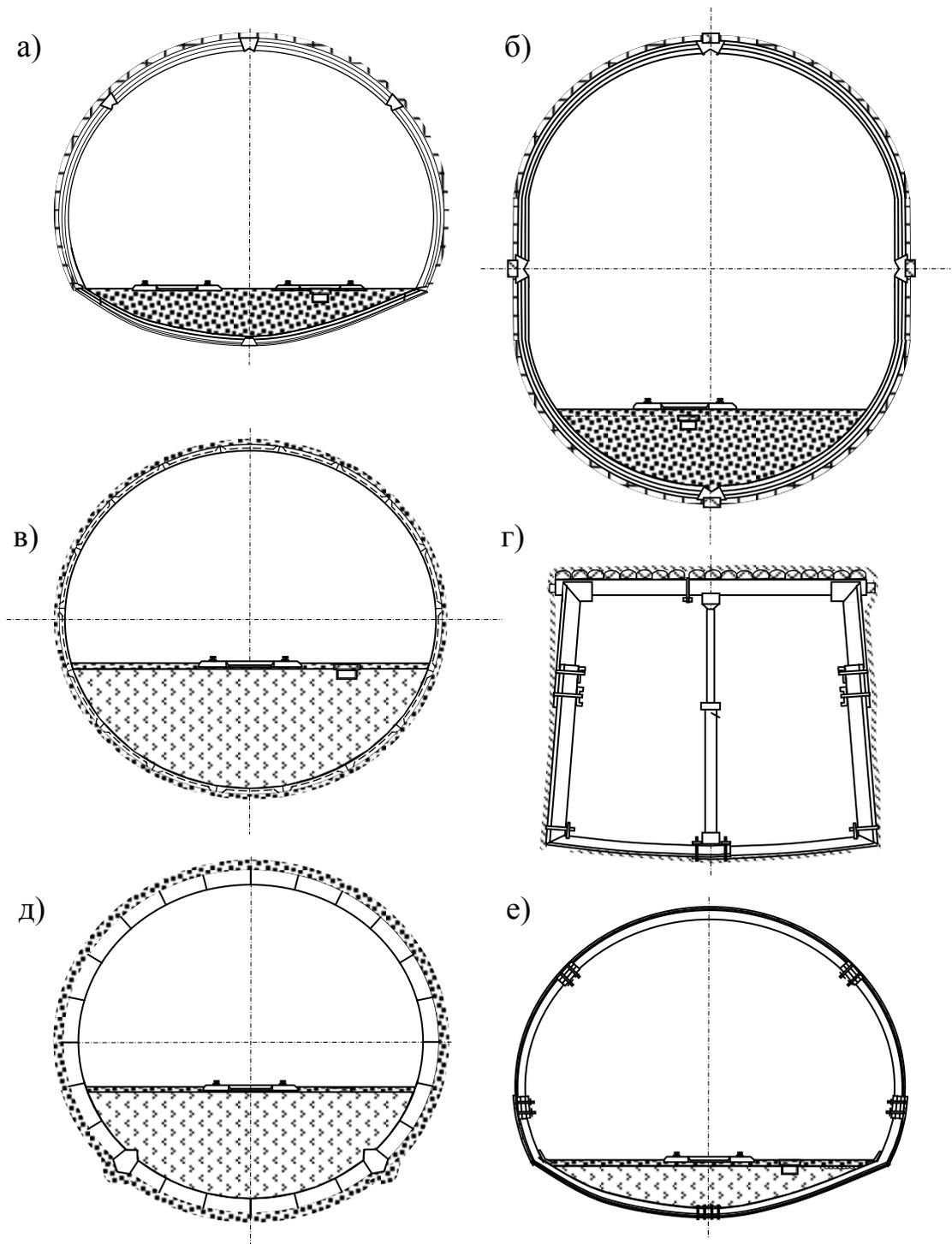


Рис. 9.2. Замкнутые конструкции крепи: а - шарнирная арочная железобетонная крепь; б - шарнирная эллиптическая железобетонная крепь; в- гладкостенная тубинговая железобетонная крепь; г - металлическая трапециевидная податливая крепь с лежнем; д - блочная кольцевая бетонная крепь; е - металлическая податливая арочная крепь с обратным сводом.

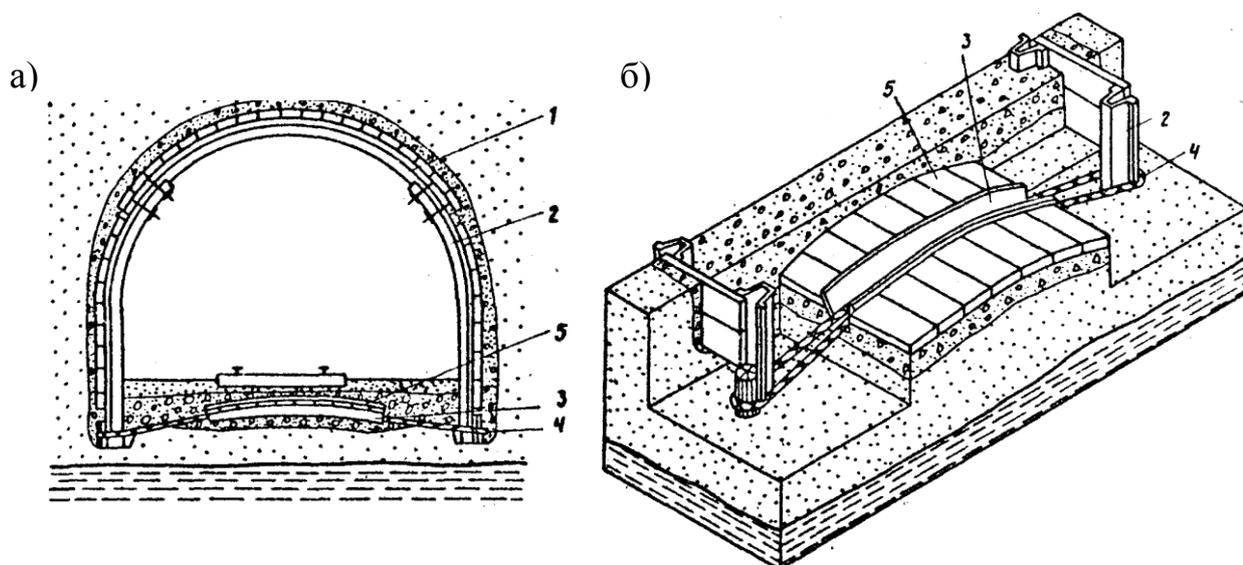


Рис. 9.3. Замкнутая крепь горных выработок с лежнем из отрезка специального профиля и замкнутого каната по почве выработки: а- общий вид; б- конструкция лежня: 1 - верхняк; 2 - стойки; 3 - отрезок специального профиля; 4 - замкнутый канат; 5- лежень и затяжки.

Основными недостатками перечисленных замкнутых крепей является сложность конструкции, сложность ремонта, дороговизна крепей, большой расход металла. Кроме того, замкнутые крепи улучшают состояние выработок вне зоны влияния очистных работ, а в зоне они не выдерживают и разрушаются. Поэтому их применение в подготовительных выработках нецелесообразно.

Ряд авторов считает, что удовлетворительное состояние выработок может быть обеспечено за счет увеличения несущей способности крепи.

Увеличение сопротивления рамной крепи с 0 до 0,47 МПа позволяет уменьшить величину поднятия почвы на 58%. Исследователями ряда научных организаций установлено, что при наличии различных типов усиливающих крепей или телескопических лежней вместе с арочной крепью из спецпрофиля с установкой в зоне опорного давления гидравлических стоек постоянного сопротивления (рис. 9.4) заметно уменьшается величина выдавливания пород почвы. Увеличение сопротивления крепи от 0 до 0,27 МПа наиболее сильно уменьшает смещения пород почвы на участке свыше 10м от лавы (почти в 5 раз по сравнению с незакрепленной почвой) и незначительно на участках до 10м впереди и позади лавы. Крепь, имеющая сопротивление 0,27 МПа, на участке сопряжения выработки с лавой обусловила уменьшение смещения пород на контуре в 2,5 раза по сравнению со смещениями при незакрепленной почве. Также в работах предлагается установка металлических лежней совместно с гидравлическими стойками в момент проведения выработки до начала активного образования зоны неупругих деформаций.

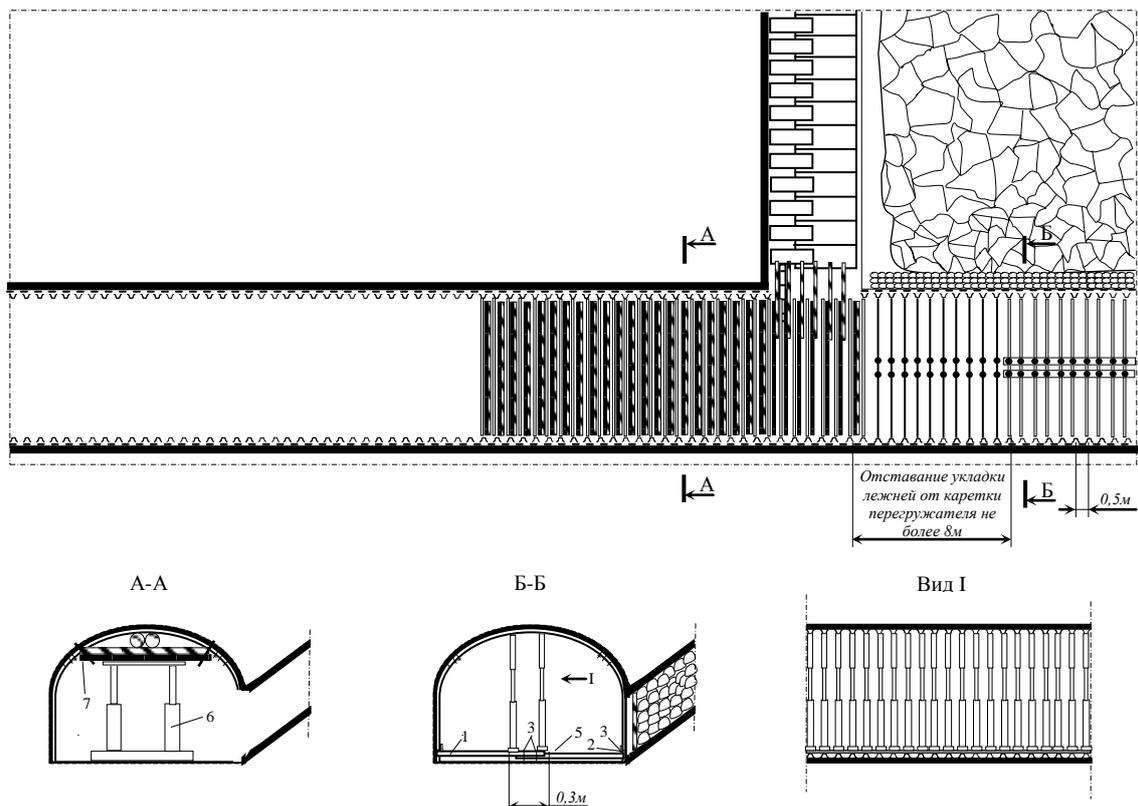


Рис. 9.4. Паспорт крепления выемочной выработки при креплении почвы сразу же за лавой составными лежнями из спецпрофиля, имеющими связь с рамами основной крепи через крепежные замки, с установкой крепи усиления из двух гидростоек под каждую раму: 1-лежень из спецпрофиля СВП-22; 2-планка; 3-хомут; 4-гидростойка ГВКУ-17; 5-деревянный распил; 6-гидростойка крепи сопряжения; 7-подвесной деревянный верхняк.

Основным недостатком данных мероприятий является их дороговизна и большая загроможденность рабочего пространства выработки.

Эффективность данных мероприятий объясняется тем, что увеличение отпора крепи выработки и создание отпора процессу выдавливания по почве выработки препятствует развитию зоны разрушенных пород и содействует созданию грузонесущей способности пород окружающих выработку в пределах этой зоны.

Существуют способы, основанные на разгрузке пород (в т.ч. и залегающих в почве выработки) от напряжений. К ним относят: способ предварительной и последующей надработки (подработки) подготовительной выработки; проведение выработок вприсечку к выработанному пространству в обрушенных породах и позади забоя лавы с поддержанием в выработанном пространстве; проведение пластовых выработок широким ходом с выкладкой бутовых полос в двухсторонних или односторонних раскосах.

Способ разгрузки массива, окружающего горную выработку с использованием защитного действия надработки и подработки, обеспечивает устойчивость подготовительных выработок и их безремонтное поддержание. Вместе с тем применение данного способа возможно лишь в

условиях эксплуатации сближенных пластов или применения полевой подготовки, при одиночной разгрузочной лаве и проведении выработок за пределами зоны техногенной трещиноватости, создаваемой этой лавой и на удалении не менее 80-100м в плане от ее границ.

Проведение выработок вприсечку к выработанному пространству является перспективным способом. При такой технологии выработка проводится в заранее ослабленном массиве в условиях обрушения консолей пород непосредственной и основной кровли. Основными причинами, сдерживающими применение этого способа, являются: необходимость изменения порядка подготовки выемочных полей и трудности реализации при сложной гипсометрии пласта, а также малая эффективность при применении в трудных горно-геологических условиях.

Проведение пластовых выработок широким ходом с выкладкой бутовых полос, а также проведение широким ходом с применением жесткой крепи позволяет в значительной мере снизить пучение почвы выработок. Однако из-за низких темпов проведения выработок, недостаточной плотности бутовых полос, вызывающей расслоение пород кровли, и значительной трудоемкости немеханизированных работ по укладке породы в раскоски эти способы не нашли широкого применения.

С целью безремонтного поддержания подготовительных выработок рекомендуется проводить их завышенным сечением по сравнению с технологически достаточным. Предполагается, что при увеличении размеров выработки, увеличивается период деформации ее до момента, когда выработка окажется непригодной для эксплуатации и потребуются перекрепление. Этот способ в значительной мере сокращает затраты на строительство выработок и снижает себестоимость продукции по сравнению с другими способами только в определенных горно-геологических условиях. В сложных условиях даже проведение выработки с максимальным поперечным сечением выработки не избавляет от перекрепления выработки до окончания ведения очистных работ.

Мерой по борьбе с деформацией пород почвы предложено уменьшение ширины выработок. Данное утверждение основано на шахтных натуральных наблюдениях в выработках, пройденных на небольшой глубине. По результатам замеров поднятия пород почвы в различных точках по ширине выработки было установлено, что ближе к центру выработки происходят более интенсивные смещения почвы, чем у боковых стенок. Объясняется данное явление тем, что в середине выработки сдвигению пород почвы ничто не препятствует, а у боковых стенок сказывается «тормозящее» действие боковых пород, сжимающихся выдавливаемым гидростатическим давлением столб пород почвы.

В настоящее время с переходом горных работ на большие глубины и, как следствие, с увеличением геостатического давления, данное мероприятие будет малоэффективно.

В работе упоминается о способе искусственного создания зоны

неупругих деформаций пород вокруг выработки для облегчения работы крепи. Для этого проводится выработка большого сечения и законтурный массив взрывается. Данный способ требует значительных материальных затрат и может быть рекомендован для выработок со значительным сроком службы.

Применение взрывного способа для изменения напряженного состояния массива пород вблизи выработок (рис. 9.5), предложенного сотрудниками МГИ, в результате создания зоны разрыхления породы в почве пласта вблизи контура выработки позволяет уменьшить в 2-3 раза или совсем остановить пучение на 3-10 месяцев.

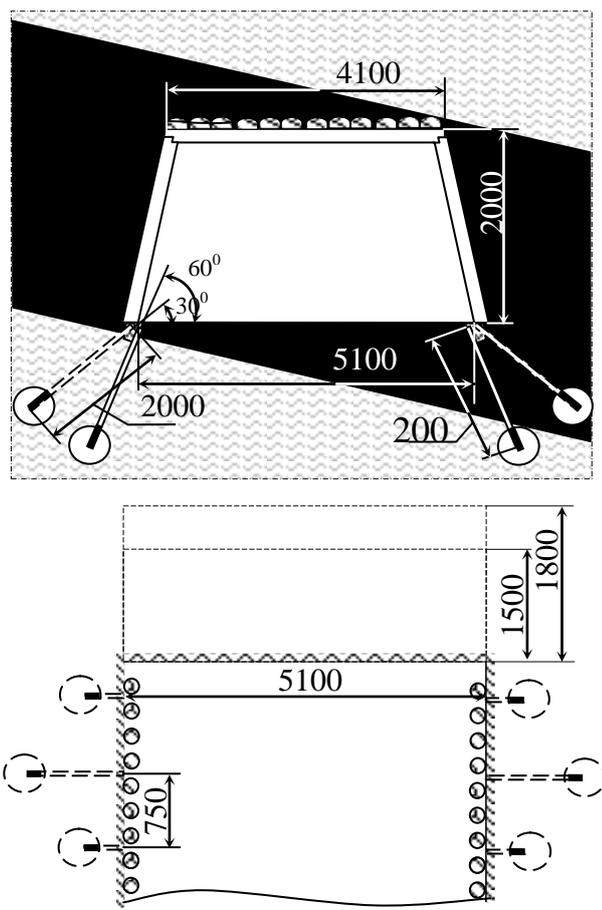


Рис. 9.5. Схема расположения шпуров для взрывания камуфлетных зарядов

Способ не требует специального оборудования и при его использовании снижаются затраты труда на подрывку почвы выработок. Однако недостаток этого способа в необходимости применения взрывания камуфлетных зарядов в пластовых выработках вслед за их проведением, что сопряжено с трудностью бурения нисходящих шпуров в выработках с большим водопритоком. Предположения известных ученых по этому способу являются косвенным подтверждением того, что наличие в почве выработки разрушенных пород уже уменьшает их выдавливание, в ее полость за счет особенностей передачи усилий в дискретной распорной среде, которые предполагают возможность их самозаклинивания при направленном приложении сравнительно небольших усилий.

При необходимости повторного использования выработки в качестве способа охраны и сохранения подготовительных выработок в работоспособном состоянии в течение всего срока их эксплуатации при пучении пород различной степени интенсивности предложен способ, основывающийся на активном комплексном предупредительном воздействии на окружающий их углепородный массив путем микроторпедирования пород основной кровли и камуфлетного взрывания слоев почвы под центром оставляемого угольного целика малой ширины (рис. 9.6).

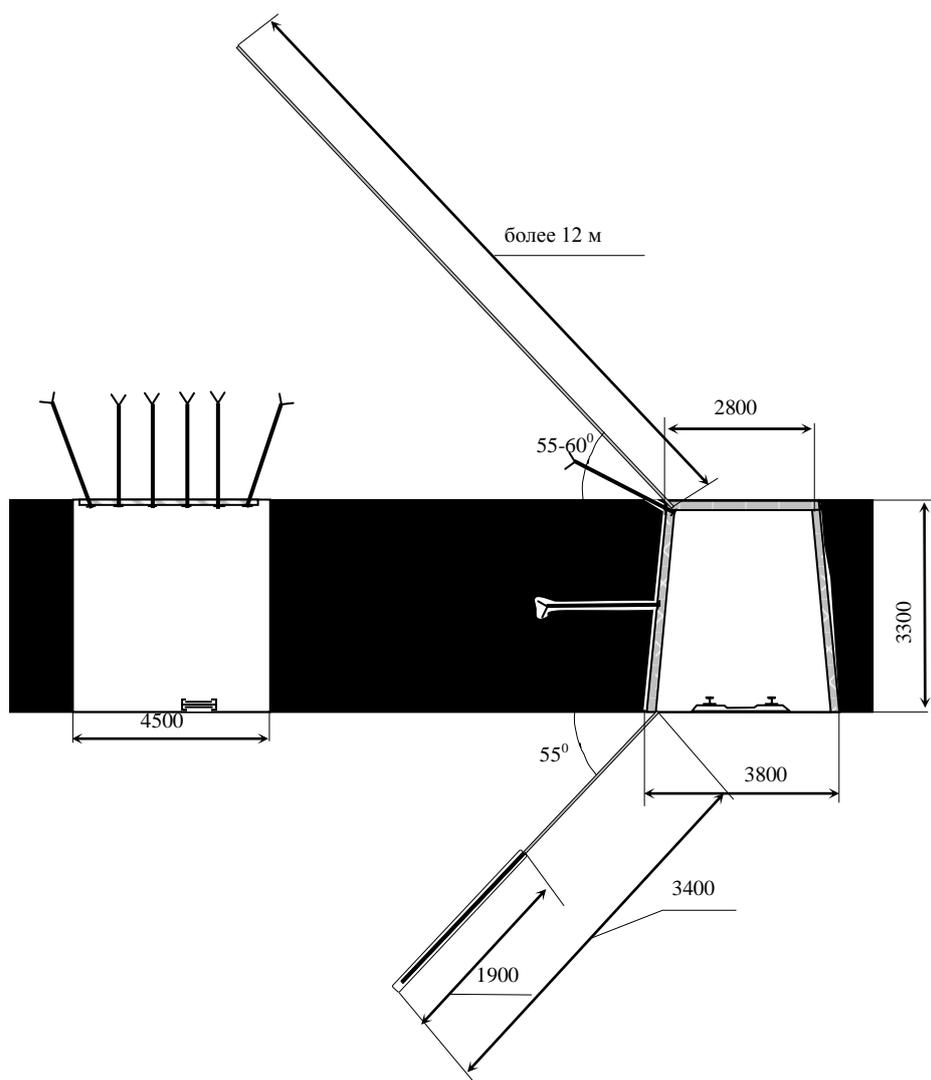


Рис. 9.6. Схема крепления и сохранения штрека для повторного использования с применением способа, основывающегося на активном, комплексном, предупредительном воздействии на окружающий его углепородный массив.

В условиях глубоких шахт (глубина более 750 м) и кровлях пласта – средних и труднообрушаемых, породах почвы – аргиллитах и алевролитах, при повторном использовании выемочных выработок для промышленного применения был предложен комплексный способ охраны горных выработок, основанный на гидроразрыве пород непосредственной и основной кровель

при помощи скважин, пробуренных из выработки в сторону выработанного пространства и разгрузке боковых пород скважинами большого диаметра в угольном пласте со стороны массива (рис. 9.7). Этот способ при его реализации позволяет равномерно разгрузить слои почвы и уменьшить перепад напряжений. Смещения пород почвы при применении данного способа уменьшаются в 2,5-3 раза.

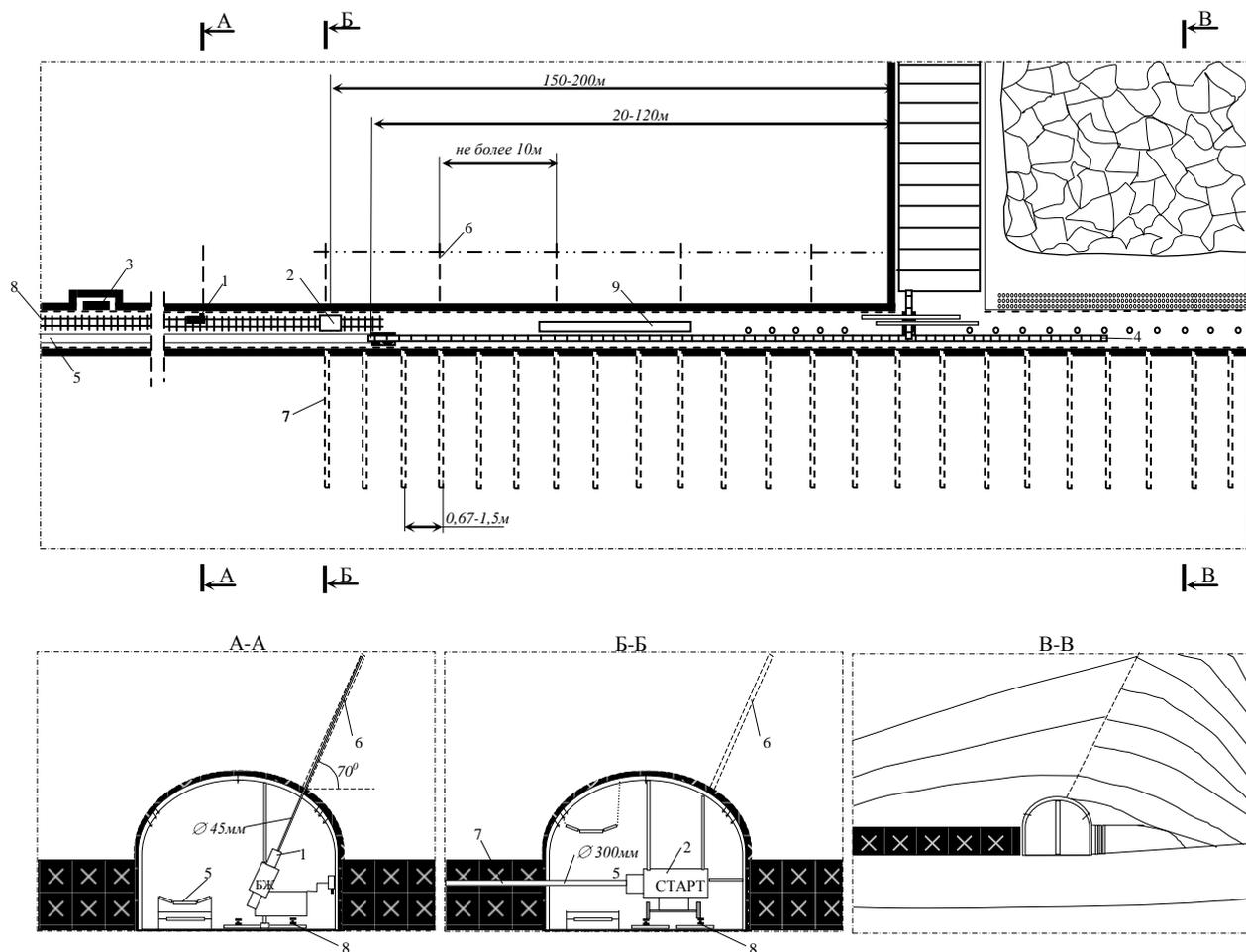


Рис. 9.7. Схема расположения оборудования при выполнении комплексного способа охраны выработок: 1-станок БЖ45-100; 2-буровая установка «Старт»; 3-насос 2УГН; 4-скребковый конвейер; 5-верхняя лента ленточного конвейера; 6-отрезная скважина диаметром 300 мм; 7-скважина диаметром 45 мм; 8-рельсовый путь.

Чакветадзе Ф.А. предложил способ, применение которого позволяет снизить пучение в подготовительной выработке на сопряжении с лавой и позади очистного забоя. Способ основан на искусственном разбухании предварительно разрыхленных пород почвы в выработанном пространстве позади очистного забоя до полного или частичного смыкания их с кровлей пласта. Для осуществления способа производится бурение скважин в почве пласта позади очистного забоя, взрывание зарядов ВВ и подача в разрыхленные породы почвы жидкости (рис.9.8). В результате искусственного пучения пород обеспечивается активное подбучивание кровли и достигается эффект частичной или полной закладки в

выработанном пространстве. Вследствие этого происходит перераспределение напряженного состояния массива вдоль выработки впереди и позади очистного забоя, обеспечивающее снижение нагрузок на призабойную крепь и крепь подготовительной выработки. По причине образования поверхности обнажения в почве пласта вдоль выработки и инициирования пучения в выработанном пространстве создаются условия для снижения величины пучения в подготовительной выработке.

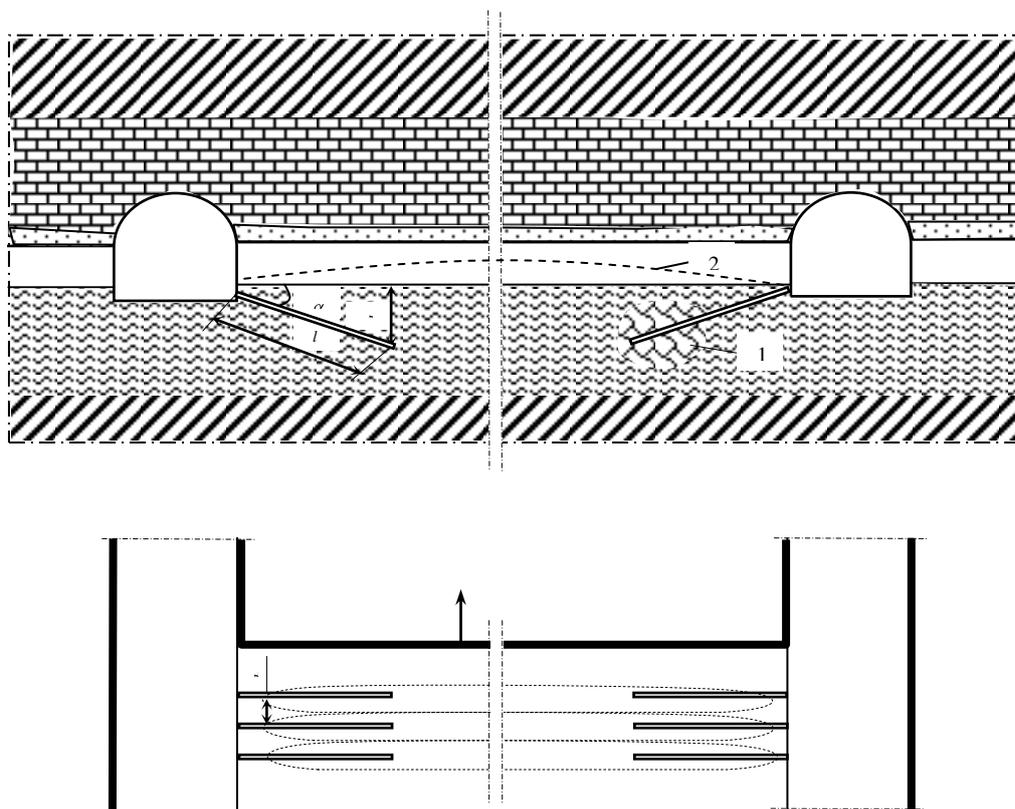


Рис. 9.8. Схема управления кровлей путем интенсификации пучения пород почвы: 1-зона разрыхленных пород после взрывания; 2-положение почвы после набухания пород под воздействием жидкости;  $\alpha$  - угол наклона скважины в почве пласта;  $l$ -длина скважины;  $h$ -расстояние от устья скважины до почвы пласта;  $b$ -расстояние между скважинами.

Сотрудниками ДГМИ предложен способ активной предварительной разгрузки пород (АПР) почвы перед забоем выработки камуфлетными зарядами ВВ. Сущность способа состоит в искусственном создании перед забоем выработки области разгрузки (рис. 9.9) путем взрывания камуфлетных зарядов. В результате проверки способа в выработках шахты «Самсоновская-Западная» были получены положительные результаты: уменьшились вывалы пород кровли, и прекратился процесс пучения.

Способ разгрузки массива скважинами предложен ДонУГИ. Вдоль выработки, в ее боках бурятся скважины диаметром 250-350 мм и длиной 8-10м, с шагом 150-300мм. При использовании способа значительно снижается конвергенция пород, но большая трудоемкость работ, отсутствие высокопроизводительной буровой техники, необходимость в

дополнительных мероприятиях для поддержания сопряжения лавы со штреком при бесцеликовой выемке угля, а также невозможность применения на выбросоопасных пластах затрудняют его применение.

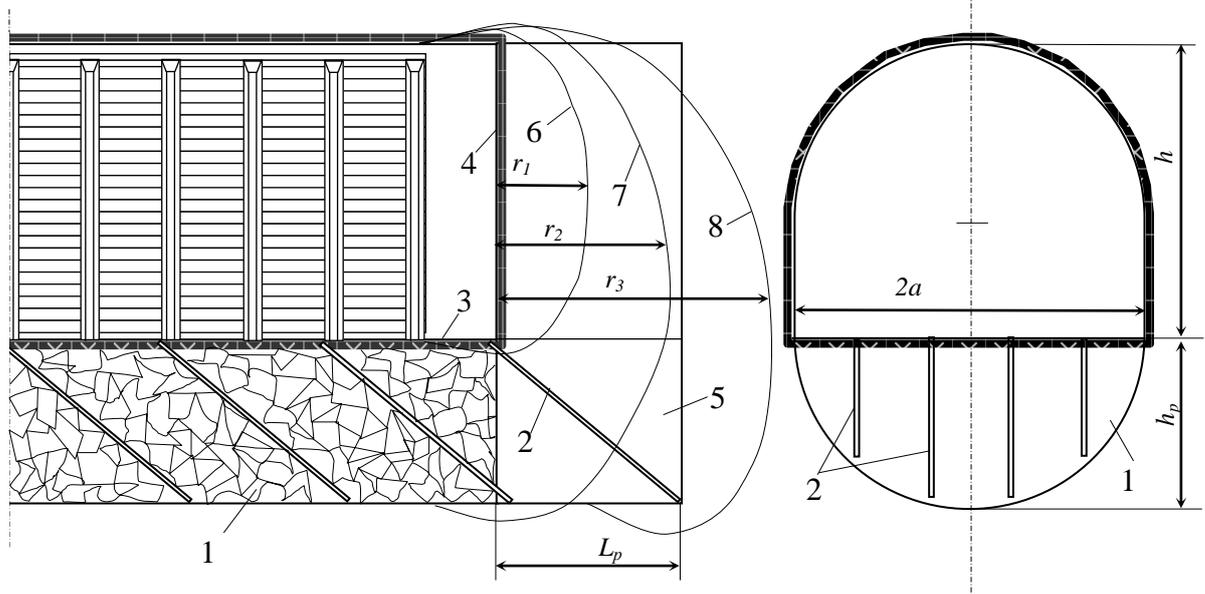


Рис. 9.9. Способ активной предварительной разгрузки пород почвы перед забоем горной выработки: 1- область трещиноватости; 2- разгрузочные шпурсы; 3- почва выработки; 4- забой выработки; 5- массив; 6,7,8- области деформации растяжения, размеры которых равны соответственно  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$ ;  $l_p$ - длина области разгрузки;  $h_p$ - глубина области разгрузки;  $h$ - высота выработки;  $a$ - половина ширины выработки.

Известен также способ предварительной скважинной разгрузки, предложенный Днепропетровским горным институтом, а также способ разгрузки горного массива с помощью радиальных скважин, испытанном в ГДР. Сущность способа предварительной скважинной разгрузки заключается в том, что до проведения выработки по угольному пласту перпендикулярно к ее направлению нарезают ниши (рис. 9.10а), из которых бурят серию параллельных между собой и продольной оси выработки опережающих скважин для нарезки ленточных целиков разной ширины (разной несущей способности). Несущая способность ленточных целиков возрастает по направлению к массиву по мере удаления от охраняемой выработки. Достоинством способа является то, что выработка проводится в предварительно разгруженном породном массиве и охраняется в течение всего срока службы угольными полосами переменной жесткости, которые обеспечивают возможность снижения напряжений непосредственно вокруг охраняемой выработки посредством перемещения опорного давления вглубь массива. Недостатком является трудность обеспечения параллельности скважин, усложнение технологии и увеличение сроков проходки. Применение способа разгрузки горного массива с помощью радиальных скважин (рис.9.10б), располагаемых по периметру выработки, проводимой по мощному пласту угля, позволило значительно уменьшить конвергенцию пород.

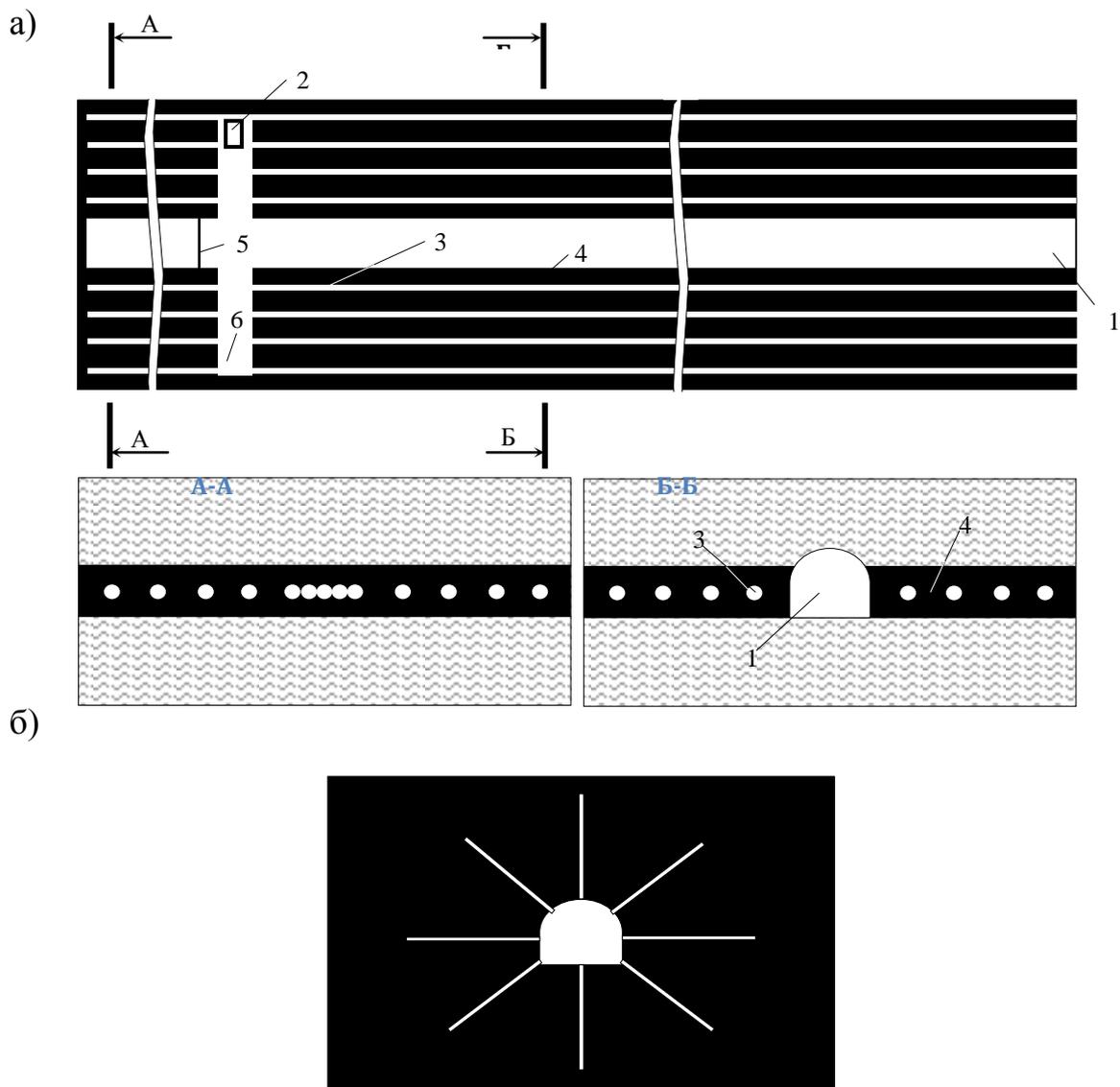


Рис. 9.10. Способы предварительной скважинной разгрузки (а) и разгрузки горного массива с помощью радиальных скважин (б)

Известен способ изменения напряженного состояния пород с помощью подрубки пласта врубмашиной, испытанный в ЧССР. В боках проводимой выработки создается щель, в результате чего горное давление полностью или частично снимается с пород почвы вблизи контура выработки, а максимальные напряжения переносятся вглубь массива. Применение данного способа затруднено из-за необходимости совмещения операций по проведению выработки и созданию врубовой щели, а также при его применении возникают дополнительные трудности по поддержанию выработки на участке нарушенного массива.

В работе Г.В. Бабиюка и А.А. Ляхова приведены результаты шахтных испытаний охраны выработок разгрузкой пород от напряжений щелями переменной жесткости. Щели выбуриваются специальной штангой, армированной зубками. Переменная жесткость обеспечивается оставлением зубчатых целиков переменной ширины. Таким образом, в областях действия

больших напряжений создается большая податливость массиву. По результатам испытаний пучение пород почвы уменьшилось в 2 раза, а смещения кровли увеличились. Данный способ нельзя назвать эффективным из-за невозможности применения его в условиях выбросоопасных пластов, наличия значительного опускания пород кровли выработок, необходимость применения специальных мероприятий для поддержания сопряжения лавы с подготовительной выработкой.

Прорезка разгрузочной щели в почве выработки снижает пучение пород. До смыкания стенок щели пучения вообще не происходит; после смыкания конвергенция возрастает несколько быстрее, чем на участке, где нет щели, но не превосходит ее по абсолютной величине. На уровне забоя лавы конвергенция со щелью была в 2 раза меньше, чем без нее; в 100 м за лавой это соотношение уменьшилось до 1,16, а в 250 м практически было равно 1, т.е. щель сомкнулась и данное мероприятие уже не вызывало положительного влияния.

Шахтные испытания способа охраны пластовых выработок щелями, выполненными щеленарезной штангой, проведены Коммунарским горно-металлургическим институтом на шахтах ПО «Краснодонуголь». Щелевая разгрузка позволила почти полностью предотвратить смещения почвы выработок от момента ее проведения и до начала влияния очистных работ и значительно снизить их в зонах временного и стационарного опорного давления.

Применение взрывощелевого способа разгрузки почвы подготовительных выработок рекомендуется при проведении выработок (рис. 9.11), когда в почве выработки залегают пучащие породы большой мощности и при величине пучения 0,8-1,2 м. В условиях наличия пучащих пород небольшой мощности (0,6-1,0 м) рекомендуется производить выемку пород почвы до крепких пород с последующей закладкой. Применение взрывощелевой разгрузки на шахтах ПО «Макеевуголь», шахте РККА ПО «Добропольеуголь» и шахте «Трудовская» ГХК «Донуголь» позволило уменьшить величину пучения почвы в отдельных случаях в 1,8– 3,0 раза. Недостатками способа является совмещение его проведения с операциями по проведению выработки. Безремонтное поддержание выработки обеспечивается при величине пучения до 0,8-1,2 м, а при большей величине необходимо производить повторную разгрузку почвы.

Л.В. Пихконен для сохранения выемочной выработки на сопряжении и за лавой предлагает способ взрывощелевой разгрузки, но с проведением разгрузочной щели со стороны отрабатываемого лавой столба (рис. 9.12). Применение данных мероприятий позволило снизить общую конвергенцию пород кровли и почвы в 1,3-1,5 раза, а смещения почвы в 1,5-1,7 раз

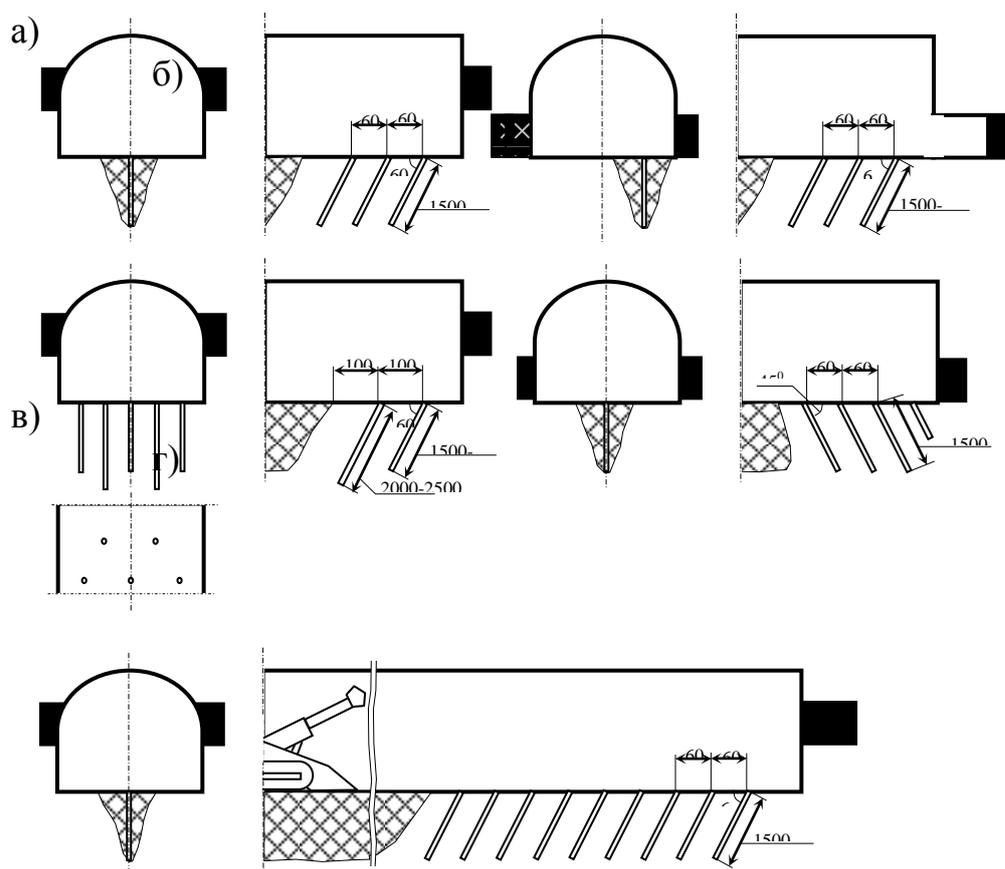


Рис. 9.11. Способ взрыво-щелевой разгрузки почвы при проведении подготовительной выработки буровзрывным способом (одиночной выработки (а, в), проведении выработки вслед за лавой (б)); при применении для бурения шпуров буровых установок БУЭ-1, ЭБГ (г)) и при проведении выработки комбайновым способом (д).

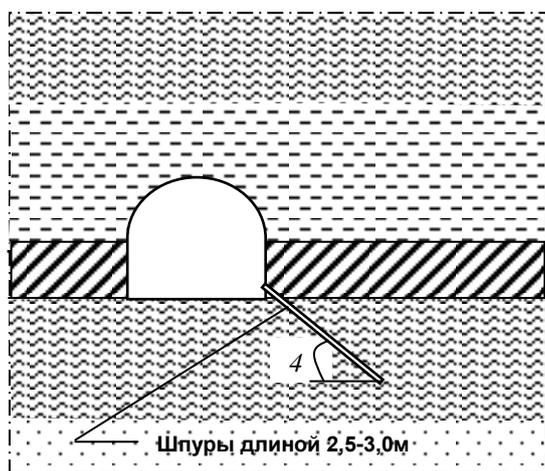


Рис. 9.12. Способ взрывощелевой разгрузки почвы повторно- используемых подготовительных выработок глубоких шахт.

Другая группа способов предотвращения пучения направлена на повышение прочности вмещающих выработку пород за счет механического и физико-химического упрочнения .

К механическим способам относится анкерное крепление почвы

(рис. 9.13).

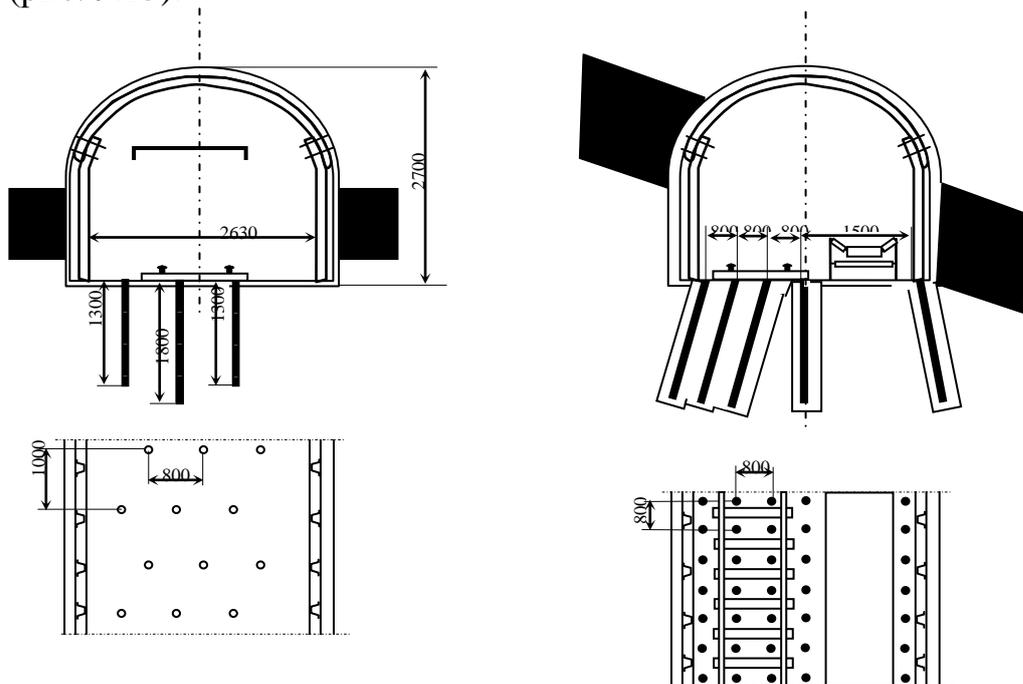


Рис. 9.13. Схемы анкерования почвы.

Сотрудниками МГИ был предложен способ упрочнения пород почвы взрывным способом (рис. 9.14) в условиях слабых глинистых пород. Образующие в результате взрывания камуфлетных зарядов в почве выработки полости являются резервуарами, в которых вмещается часть пород, выдавливаемых из-под целиков, что приводит к уменьшению величины пучения почвы в 2-7 раз.

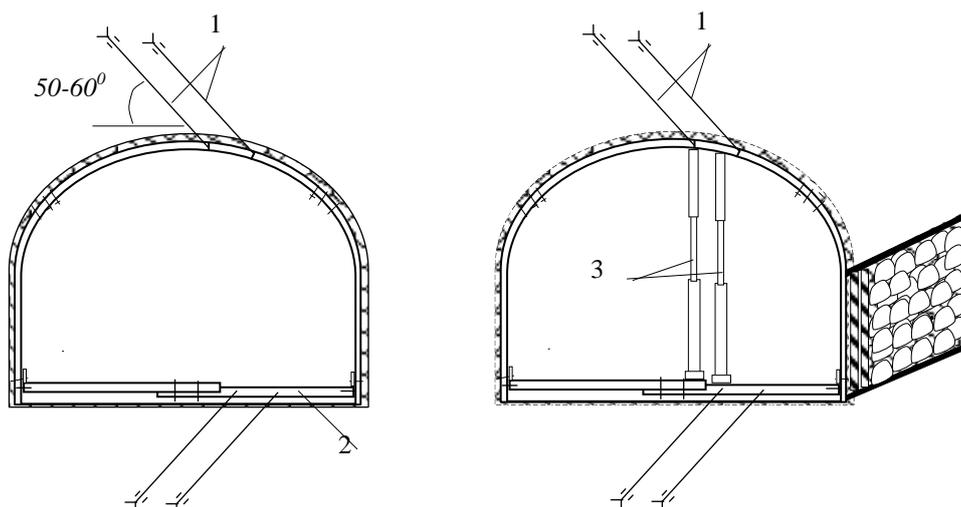


Рис. 9.14. Способ анкерного крепления зон сдвига и равновесия с созданием замкнутого контура крепи: 1— анкера, 2— лежень, 3— гидравлические стойки.

К физико-химическим способам упрочнения пород почвы относятся: цементация, силикатизация и упрочнение синтетическими смолами (рис. 9.15).

Сущность способа цементации пород заключается в высоконапорном

нагнетании через крепь в разрушенную зону, окружающую выработку через пробуренные шпуров цементно-песчаного раствора. Основная крепь предварительно усиливается временной и после набора цементным раствором прочности в дальнейшей зоне разрушения не развивается, а устойчивость выработки стабилизируется.

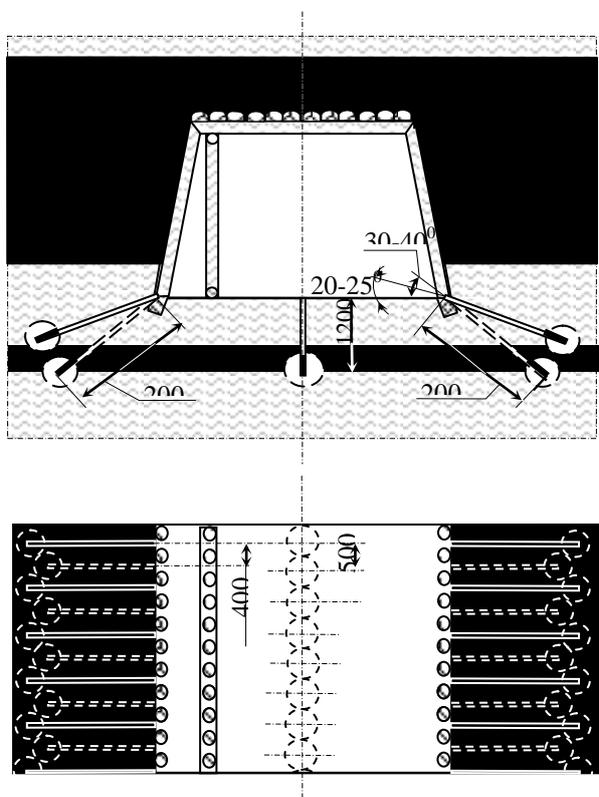


Рис. 9.15. Расположение зарядов ВВ в почве штрека для упрочнения пород почвы взрывным способом.

Для упрочнения пород почвы широко используются синтетические смолы, которые применяются для создания фильтрационных завес и снижения притока воды в выработки. В почву выработки через шпуров нагнетаются карбомидные смолы и отвердитель, в результате чего затвердевшая вокруг отдельных кусков, блоков породы смола предотвращает доступ воды к породе, сохраняя естественную прочность пород. Однако область применения смол ограничивается их дороговизной.

Известен метод электрогеоосмоса, который успешно применяется при упрочнении слабых илистых и глинистых грунтов в Польше. При пропускании через тонкодисперсные грунты, находящиеся в обычном своем состоянии, постоянного электрического тока проницаемость грунтов резко возрастает, вследствие чего представляется возможным пропускать некоторые жидкости (жидкое стекло и белильная известь) через тончайшие поры и трещины. Эти жидкости при смешивании внутри грунта затвердевают, смешивая дисперсные частицы в монолитное тело.

В качестве меры борьбы с пучением, позволяющей уменьшить величину поднятия пород почвы на шахтах Донбасса, применялся способ

снижения взвешивающего гидростатического давления водоносных горизонтов при помощи бурения водо-понижительных скважин.

Испытан и предложен способ сохранения прочности вмещающих пород путем применения герметизирующих покрытий. В качестве герметизирующих покрытий предложено использовать полимерцементные составы, представляющие собой смесь водной дисперсии полимера и наполнителей в виде высокомарочных портландцементов. За счет покрытий обнажений горных пород составами обеспечивается сохранение естественной влажности горных пород вокруг выработки, а, следовательно, и сохранение прочности вмещающих пород.

К комбинированным активным способам предотвращения пучения пород относится разработанный Донбасским горно-металлургическим институтом способ активной разгрузки пород почвы от напряжений камуфлетным взрывом с последующим упрочнением пород цементно-песчаным раствором (АРПУ) (рис.9.16).

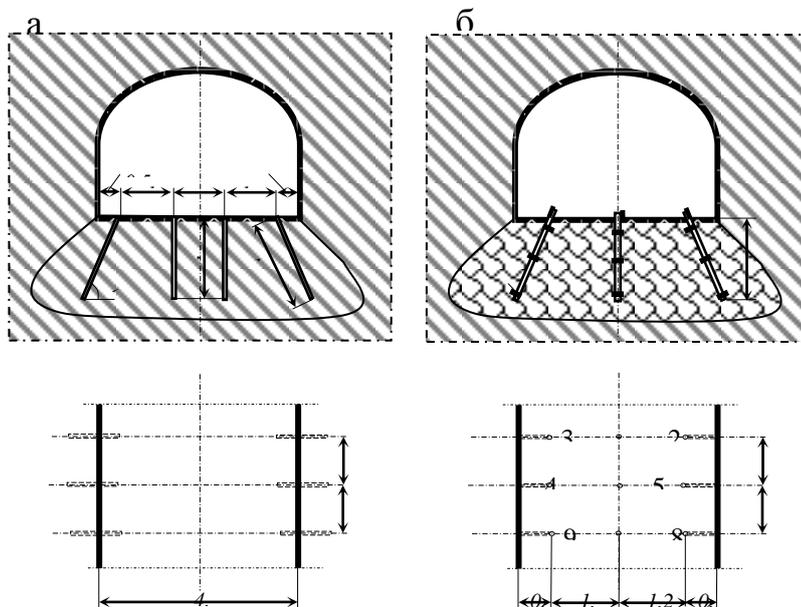


Рис. 9.16. Паспорт активной разгрузки и последующего упрочнения пород почвы: а- схема расположения шпуров для камуфлетного взрывания пород; б- размещение тампонажных скважин и последовательность нагнетания.

Способ АРПУ состоит в создании зоны интенсивной трещиноватости в почве выработки с помощью камуфлетного взрывания. После взрывания породы в этой зоне представляют собой естественную, хорошо уложенную строительную конструкцию типа каменной кладки. Скрепляющий раствор, попадая в криволинейные трещины между блоками, заполняет их и работает в основном на сдвиг. Несущая способность образованного обратного свода определяется прочностью окружающих выработку пород и может достигать после упрочнения до 200-400 тс и более на  $1\text{ м}^2$  почвы. Применение способа показало его эффективность. К его достоинствам относятся: максимальное использование природной несущей способности пород,

водонепроницаемость и высокая несущая способность образованного монолитного обратного свода. Применять данный способ наиболее целесообразно в выработках со значительным сроком службы.

Сотрудниками Национального горного университета предложен способ обеспечения устойчивости капитальных выработок в условиях неустойчивых пород, сущность которого заключается в искусственном создании в почве выработки двух слоев пород: демпферного (состоит из разрушенных пород от камуфлетного взрывания) и несущего (упрочненного полимерным раствором) (рис.9.17), который обеспечивает устойчивость почвы за счет перераспределения напряжений на боковые породы приконтурного массива.

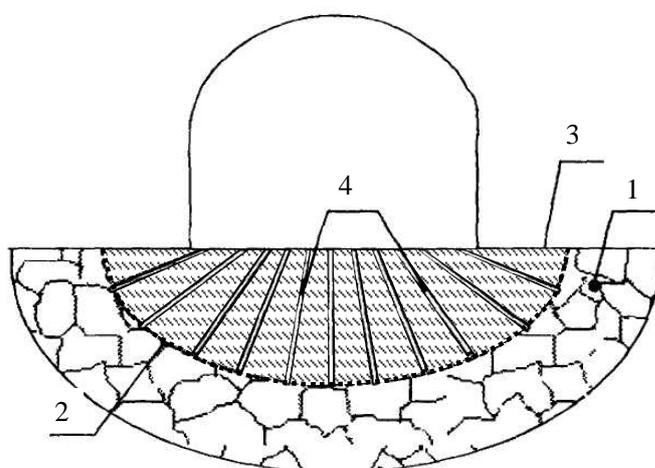


Рис. 9.17. Способ борьбы с пучением с искусственным созданием в почве выработки демпферного и несущего слоев: 1-демпферная зона; 2-полимерная пленка; 3-укрепленная зона; 4-шпур для нагнетания раствора.

Способ требует реализации, как во время проведения выработки, так и при ее эксплуатации. Он рекомендуется для выработок со значительным сроком службы.

Проведенный анализ способов предотвращения выдавливания пород почвы свидетельствует о том, что к настоящему времени разработан широкий спектр способов практически для всех условий. Очевидно, невозможно разработать единственный универсальный способ, который будет применим буквально для всех горно-геологических и горнотехнических условий. Отличие всех способов заключается как в формах их практической реализации, так и в величине затратности, и сложности технической реализации.

## 10. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ВЫРАБОТОК НА ПЛАСТАХ КРУТОГО И КРУТО-НАКЛОННОГО ПАДЕНИЯ.

Повышение эффективности работы очистных забоев на угольных шахтах во многом обусловлено снижением материальных и трудовых затрат на поддержание подготовительных выработок, т. е. обеспечение устойчивого их состояния в течение всего срока службы.

В условиях шахт Донбасса, разрабатывающих крутые пласты, почти половина выемочных штреков из-за воздействия горного давления имеют неудовлетворительное сечение и постоянно нуждаются в поддержании, т.е. в проведении комплекса мероприятий по обеспечению их нормального (эксплуатационного) состояния. В связи с этим выяснение значимости горно-геологических факторов на процесс формирования и воздействия горного давления на выработки имеет важное практическое значение. Это позволит более правильно решать технологические и технические вопросы охраны и крепления выемочных штреков.

Из общего количества пластовых выемочных штреков в 75% вмещающие породы представлены глинистыми, песчано-глинистыми и песчаными сланцами либо их сочетанием.

В последние годы для улучшения состояния подготовительных выработок на крутых пластах не было реализовано каких-либо новых технологических или технических мероприятий. В настоящее время на шахтах Центрального района Донбасса практически все выемочные штреки закреплены металлической арочной крепью сечением и свету 8,5 м<sup>2</sup>. Более 60% вентиляционных штреков проводятся по завалу, что обуславливает низкую степень механизации и низкие темпы их проведения.

Охрана пластовых выемочных штреков осуществляется угольными целиками, различными деревянными опорами (податливыми или ограниченной податливости) и бутовыми полосами. Перечисленные способы охраны и крепления выработок не всегда обеспечивают хорошее эксплуатационное состояние выработок вследствие заниженных качественных и технических характеристик. Поэтому еще бывают аварии пластовых штреков.

Горловским отделением ДонУГИ проведен анализ состояния 135 вентиляционных и 173 откаточных штреков, который показал, что с увеличением глубины работ с 400 до 1000 м протяженность вентиляционных штреков с неудовлетворительным сечением возросла с 29 до 48%, охраняемых деревянными опорами с ограниченной податливостью и бутовой полосой—с 27 до 52%, охраняемых угольными целиками — с 26 до 43%, а полевых вентиляционных штреков — с 12 до 46%. Аналогичная картина отмечается и в откаточных штреках.

Сложность разработки крутых пластов состоит еще и в том, что в пределах шахтных полей поддерживается разветвленная сеть

откаточных и вентиляционных штреков, которые вследствие одновременной разработки пластов в нескольких свитах подвергаются неоднократной подработке и надработке. Это создает определенные трудности при разработке и реализации охранных мероприятий по обеспечению устойчивого состояния выработок.

Наблюдениями за смещением контура крепи в пластовых штреках установлено, что наибольшие деформации обусловлены выдавливанием пород кровли в выработку. Величина смещения контура крепи как по вертикали, так и по горизонтали в слабых боковых породах на достигнутых глубинах доходит до 1 м и более.

Повсеместно применяемая арочная крепь АП-3, имея направление податливости, не совпадающее с направлением смещения пород кровли, деформируется в ряде случаев еще до подхода очистного забоя. Вследствие этого многие пластовые откаточные штреки в зоне влияния очистных работ перекрепляются до 2 раз. Таким образом, уже в настоящее время и на ближайшие годы вопрос безремонтного поддержания выработок применяемыми способами охраны не может быть решен положительно без дополнительных затрат или новых технических решений.

На многих шахтах при проведении выработок в неустойчивых породах, склонных к расслоению и обрушению, крепь быстро деформируется и становится непригодной для дальнейшей эксплуатации. Для повышения устойчивости таких выработок применяют тампонаж закрепного пространства цементно-песчаным раствором. В большинстве случаев это весьма эффективное средство, обеспечивающее устойчивое состояние выработок. Однако при их расположении в зонах неустойчивых пород тампонаж, проводимый с отставанием от забоя на 40 м и более, не исключал деформаций и разрушений крепи. Основная причина — выполнение тампонажа после разрушения приконтурного слоя массива вмещающих пород.

При разработке крутых пластов установлено, что смещениями вмещающих пород можно управлять в некоторых пределах с помощью охраны выработок и крепи, создавая тем самым более благоприятные условия для безремонтного поддержания выработок. Наиболее надежным и эффективным мероприятием является предварительная разгрузка массива у выработок от опорного давления надработкой скважинами по углю, проведением выработок вприсечку к выработанному пространству. Эти мероприятия позволяют управлять смещением пород, однако широкое использование их пока сдерживается некоторыми техническими требованиями, отсутствием средств механизации и организационно-технологическими причинами.

Более доступным средством управления смещением пород в подготовительных выработках в настоящее время является анкерная крепь.

Испытания анкерной крепи показали, что интенсивность смещения пород значительно снижается, кроме того, уменьшается сдвиг пород по нормали к напластованию. Откаточный штрек, закрепленный

дополнительно анкерной крепью, сохранил рабочее сечение во время прохода очистного забоя и далеко позади него. Но при столь обнадеживающих результатах рассматриваемая технология крепления выработок не нашла дальнейшего применения из-за сложности доставки породной крошки в шпур.

Рассмотренное выше состояние горных выработок на крутых пластах Донбасса показало необходимость продолжения работ по совершенствованию технологии крепления горных выработок комбинированной арочно-анкерной крепью, кроме того, резкое повышение цен на арочную металлокрепь требует поиска технологии и средств, которые бы обеспечивали снижение расхода столь дорогого крепежного материала.

Начальное напряженное состояние нетронутого массива можно представить как пространственно-напряженное (объемное) механическое, т.е. в массиве еще до ведения горных работ существуют напряжения. Установлено, что напряжения по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  на одних и тех же горизонтах в физически однотипных массивах различны. При осложнении месторождения тектоническими процессами вертикальные напряжения в нетронутом массиве больше величины  $\gamma H$  в 3—4 раза, горизонтальные напряжения также резко увеличиваются и могут в 1,5 раза превышать вертикальные, составляя 180—975 кгс/см<sup>2</sup>.

Проведение горных выработок влечет за собой нарушение естественного состояния массива пород. Вокруг выработки образуется область концентраций напряжений, уменьшающаяся вглубь массива. Смещения пород начинаются сразу же после их обнажения в забое выработки и зависят от совместной работы системы «крепь—порода». Условия работы системы определяются, с одной стороны, деформациями горных пород, с другой стороны – механической характеристикой крепи. При этом деформации пород и крепи взаимно обусловлены.

Крепль в выработке должна препятствовать развитию смещению в выработку, а при достижении оптимальных смещений обеспечивать рабочее состояние выработок. В идеальном случае податливость крепи должна быть ограничена величиной деформации пород контура выработки при образовании зоны неупругих деформаций, а ее несущая способность — обеспечить поддержание пород в объеме этой зоны.

При достижении необходимой податливости и достаточного отпора крепи в системе «крепль—порода» устанавливается равновесие. Рост размеров зон неупругих деформаций, а следовательно, смещения пород и увеличение нагрузки на крепль прекращаются.

Могут иметь место лишь небольшие смещения из-за снижения прочности пород под воздействием влаги. Конфигурация зон неупругих деформаций по результатам наблюдений за смещением глубинных реперов приведены на рис. 10.1, из которого видно, что по всему периметру поперечного сечения выработки образуются зоны

разрушенных пород. Глубина их распределения по отношению к породному контуру изменяется от 1 до 12 м, причем независимо от глубины разработки, прочности и угла падения пород, неупругая область имеет асимметричную форму относительно вертикальной и горизонтальной осей выработки.

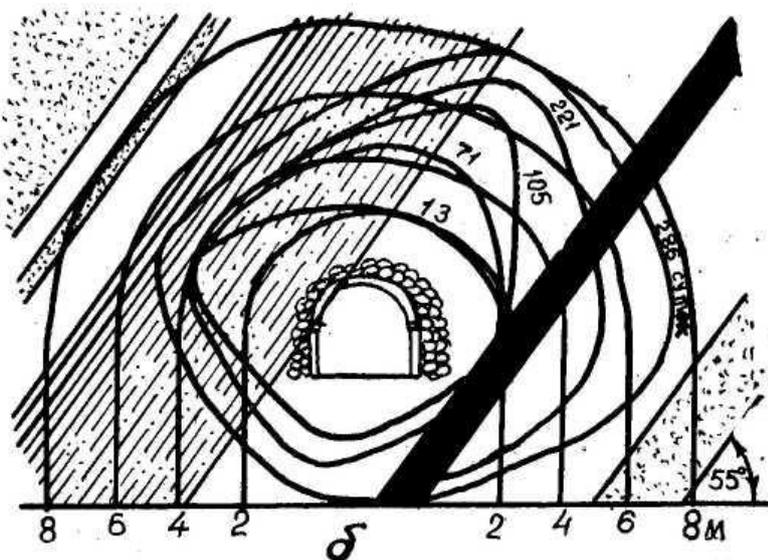
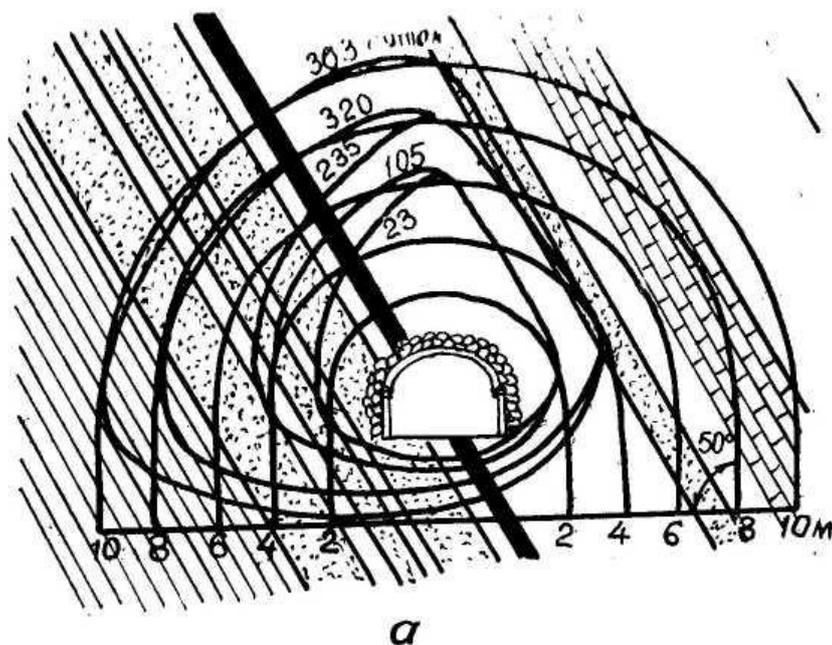


Рис. 10.1. Конфигурация зон неупругих деформаций; а – полевой штрек пласта I<sub>5</sub> гор. 800 м шахты им. XXII съезда КПСС; б – откаточный штрек пласта K<sub>6</sub> гор. 540 м шахты им. Чеснокова

Размеры зон неупругих деформаций и разрушения пород, возникающих вокруг выработок, а, следовательно, распределение смещения пород и нагрузки на крепь в различных участках, зависят от большого количества факторов. Важнейшими из них являются: технология

проведения выработки и возведения крепи; расположение выработки относительно пород с различными механическими свойствами конструкция крепи и т. д.

Неоднородность смещений и нагрузок на крепь, как правило, весьма существенна. При проведении выработок буровзрывным способом даже в однородных породах с качественной забутовкой закрепного пространства коэффициент неравномерности смещений и нагрузок достигает 1,5—1,6, а без забутовки и особенно при образовании куполов может превышать 2,5—3.

В выработках, проводимых по простиранию на крутых пластах, смещения и нагрузки на крепь создаются со стороны кровли примерно по нормали к напластованию, что вызывает асимметричное искривление узлов податливости. При напряжениях в породах вокруг выработки ниже предела их прочности на контуре выработки могут происходить со временем смещения без разрушения пород.

Попытки математически описать распределение напряжений и деформаций пород вокруг выработки основываются на теории упругости. Однако использовать эту теорию в полной мере невозможно из-за непостоянства свойств породного массива.

На сегодняшний день горная наука не располагает процессами описания деформирования системы «крепь—порода», поэтому при решении практических задач по определению сопротивления крепи и смещения пород по контуру выработки сталкиваются с большими трудностями. Применяемые в настоящее время мероприятия по охране выемочных штреков носят в основном пассивный характер и помогают лишь приспособляться к воздействию горного давления в тех или иных горно-геологических условиях.

На шахтах Центрального района Донбасса значительная часть выемочных штреков из-за воздействия горного давления имеют неудовлетворительное сечение и постоянно нуждаются в перекреплении с целью обеспечения их нормального эксплуатационного состояния. Поэтому влияние применяемых охранных мероприятий на процесс формирования и воздействия горного давления на выработки имеет важное значение.

Основное влияние на проявление горного давления в выемочных штреках и их поддержание оказывают производственно-технические и технологические факторы, которые органически входят в комплекс охранных мероприятий. К ним относятся: глубина разработки, расположение штрека по отношению к лаве и выработанному пространству, конструкция крепей и способы охраны и т. д.

Влияние очистных работ на условия поддержания горных выработок весьма велико, так как они существенно изменяют равновесие горного массива, в результате чего происходит резкое изменение его напряженно-деформированного состояния и интенсивное сдвигание пород. Характер и степень влияния очистных работ на подготовительные выработки зависит от их

взаимного расположения как в пространстве, так и во времени.

Увеличение концентраций напряжений в зонах опорного давления приводит к увеличению зон неупругих деформаций вокруг подготовительных выработок, а следовательно, и к увеличению смещений контура выработки. Расположение выработок в зонах активного сдвижения вызывает значительные деформации выработок вплоть до их разрушения из-за ослабления пород. Полная разгрузка породного массива очистными работами уменьшает деформации выработок, снижая давление вышележащей толщи на выработку.

На крутых пластах при прочих равных условиях преобладает давление со стороны пород кровли. Величина концентраций опорного давления  $a_{оя}$  в неосложненной тектонической напряженностью массиве в первом приближении может быть определена по выражению:

$$\sigma_{од} = K\gamma H (\cos^2\alpha + \lambda\sin^2\alpha), \quad (10.1)$$

- где  $K$  — коэффициент концентрации опорного давления;  
 $H$  — глубина разработки, м;  
 $\gamma$  — объемный вес пород массива, т/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha$  — угол падения пласта, град.;  
 $\lambda$  — коэффициент бокового распора.

Коэффициент концентрации опорного давления впереди очистного забоя в среднем сечении лавы может достигать значений 3—5. В нижней части лапы он снижается на 30—40%. Увеличение числа слоев горных пород в пределах их влияния на устойчивость выработки приводит к снижению прочности пород не только из-за увеличения межслоевых контактов, но и в связи с тем, что с уменьшением мощности отдельных слоев густота естественных трещин в них увеличивается.

Ухудшение состояния выработок при их подработке является следствием размещения их в образующихся при отработке смежных пластов зонах опорного давления, сдвижения и разгрузки. Характер и величина сдвижения боковых пород и степень деформации крепи в подрабатываемых и надрабатываемых выработках определяются устойчивостью пород и местом заложения штреков относительно границ очистных работ.

Размещение выработок в зоне разгрузки от горного давления создает благоприятные условия для их поддержания. В особо тяжелых условиях на больших глубинах и при пучащихся боковых породах поддержание штреков может быть обеспечено только при их расположении в зонах разгрузки, где почва полностью очищена от толщи пород.

Вредное влияние опорного давления проявляется как при подработке, так и надработке выработок. В большинстве случаев оно предопределяется устойчивостью пород. С удалением от разрабатываемого

пласта в почву или кровлю концентрация опорного давления в массиве снижается, причем в почве пласта снижение идет быстрее.

В откаточных штреках, пройденных в зоне предварительной, надработки вышележащими пластами, величины сближения боковых пород у забоя лавы уменьшаются в 1,5—2 раза. При этом на столько же сокращается длина зоны влияния очистных работ впереди лавы. Выбор рационального способа и параметров охраны, штреков за счет изменения состояния массива описаны в работах ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) и ДонУГИ. Однако теоретически выкладки не систематизированы и ими тяжело пользоваться без предварительного упорядочения.

Исходными данными для решения задач, связанных с охраной выработок, являются глубина проведения выработки; расчетное сопротивление пород сжатию; несущая способность крепи и податливость.

В соответствии с предусмотренным паспортом охранного мероприятия оцениваются устойчивость штрека и степень сложности его поддержания на основании расчета смещений пород в выработку по «Указаниям...» ВНИМИ.

От сложности поддержания выработки зависит целесообразность применения охранного мероприятия. Выбор параметров крепления в штреках осуществляется в соответствии с «Указаниями...» ВНИМИ.

В выработках III и IV категории устойчивости следует использовать более эффективные способы охраны, такие как усиление арочной крепи. Один из возможных способов — анкерная крепь, т. к. при ее применении арки становятся намного жестче, будут нести большую нагрузку. Кроме того, сама анкерная крепь имеет упрочняющие свойства.

Анкерную крепь совместно с арочным креплением в первую очередь следует применять при наличии в кровле тонкослоистых и трещиноватых пород для предотвращения их вывалов и обрушений, а также для уменьшения величины смещений пород по контуру выработки. Установку анкерной крепи, особенно в кровле, следует предусматривать непосредственно у забоя подготовительной выработки. В конкретных условиях выбор анкеров и их параметров следует принимать на основе экспериментальных данных.

Для выбора средств охраны пластовых выработок на одиночных пластах с податливой крепью определяют смещение пород кровли.

В зависимости от полученной величины смещения  $U$  выбирается тип крепи и плотность ее установки в комбинации с арочной крепью.

### **Технико-экономическое обоснование эффективности применения способов обеспечения устойчивости горных выработок для уменьшения смещений боковых пород и объемов ремонта выработок.**

Рациональный вариант выбора места расположения, проведения и охраны выработки может быть принят путем сравнения техничеки

целесообразных вариантов по экономическому критерию.

В качестве критерия сравнения вариантов рекомендуется величина удельных эксплуатационных затрат, грн/т, представляющая собой отношение суммы учитываемых эксплуатационных затрат к промышленным запасам, предназначенным к выемке, в пределах выемочного поля (панели, участка шахтного поля):

$$C_э = \frac{\sum C}{Q_{пр}} \rightarrow \min ,$$

где  $Q_{пр}$  – величина промышленных запасов, предназначенных к выемке, т;  $\sum C$  – сумма учитываемых эксплуатационных затрат, грн.

В общем случае величина эксплуатационных затрат по варианту охраны:

$$\sum C = C_{ПР} + C_{ОХР} + C_{ДМ} + C_{Р} + \dots,$$

где  $C_{ПР}$  – затраты на проведение выработок, грн;  $C_{ОХР}$  – затраты на мероприятия по охране выработок, грн;  $C_{ДМ}$  – затраты на дополнительные мероприятия по усилению кровли (боков) выработки и по борьбе с пучением пород почвы выработки, грн.;  $C_{Р}$  – затраты на ремонт выработки, грн.

Экономически наиболее выгодным считается вариант, по которому величина удельных эксплуатационных затрат наименьшая; при этом разница между сравниваемыми вариантами должна быть 5% и более. Если эта разница менее 5%, то варианты признаются равноценными и сравниваются по трудоемкости, количеству расходуемых материалов, с точки зрения экологии и т. п.

При решении конкретных задач охраны горных выработок номенклатура учитываемых статей выбирается, исходя из сущности сравниваемых вариантов. К сравнению следует принимать все затраты, включая и одинаковые, например, на проведение выработки. В противном случае разница между вариантами будет искажена, что приведет к неверным выводам.

В общем случае любой вид работ при сравнении вариантов представляет собой сумму затрат на материалы, заработную плату, электроэнергию (пневмоэнергию) и амортизационные отчисления.

Если сравниваются варианты охраны выработок при различных системах разработки, следует учитывать все затраты и запасы крыла панели (шахтного поля), включая, например, фланговую выработку и т. п. Если система разработки не меняется, достаточно сделать расчет в пределах одного выемочного поля.

Окончательные выводы и рекомендации по охране выработок, где учитываются результаты экономического сравнения вариантов, вопросы экологии, экономическая ситуация шахты, особенности ее материально-технического снабжения, социальные вопросы производства и т. п.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ**

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лидин, Г.Д.** Горное дело: Терминологический словарь [Текст] / Г.Д.Лидин, Л.Д. Воронина, Д.Р.Каплунов и др.– 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Недра, 1990.– 694с.
2. **Заславский, Ю.З.** Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна [Текст] / Ю.З. Заславский. – М.: Недра.– 1966.– 180 с.
3. **Заславский, Ю.З.** Новые виды крепи горных выработок [Текст] / Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
4. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.
5. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. – Донецк: УкрНИМИ, 2000. – 149 с.
6. **Шашенко, А.Н.** Механика горных пород. [Текст] / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. К.: Науковий друк, 2003. – 399с.
7. **Черняк, И.Л.** Повышение устойчивости подготовительных выработок [Текст] / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1993. – 256 с.
8. **Черняк, И.Л.** Управление состоянием массива горных пород. [Текст] / И.Л. Черняк, С.А. Ярунин. М.: Недра, 1995. 395с.
9. **Бокий, Б.В.** Технология, механизация и организация проведения горных выработок [Текст] / Б.В. Бокий, Е.А. Зимина, В.В. Смирняков, О.В. Тимофеев. Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1983.– 264с.
10. **Широков, А.П.** Анкерная крепь. Справочник [Текст] / А.П. Широков, В.А. Лидер, М.А. Дзауров и др. – М.: Недра, 1990. – 205 с.
11. **Булат, А.Ф.** , Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск.: Вильпо, 2002. – 372 с.
12. **Якоби, О.** Практика управления горным давлением [Текст] / О. Якоби. М.: Недра, 1987. – 566с.
13. **Усаченко, Б.М.** Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах [Текст] / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, И.Е. Головчанский / Под ред. А.Н. Зорина.– К.: Наук. думка, 1990.– 144с.
14. **Кошелев, К.В.** Охрана и ремонт горных выработок. [Текст] / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков. – М.: Недра, 1990, – 218 с.
15. **Янко, С.В.** Сучасні проблеми проведення та підтримання гірничих виробок глибоких шахт [Текст] / Под общей ред. С.В.Янко.– Донецьк: ДУНВГО, 2003.– 256 с.
16. **Максимов, А.П.** Выдавливание горных пород и устойчивость подземных выработок [Текст] / А.П. Максимов.– М.: Госгортехиздат, 1963.– 144 с.
17. **Максимов, А.П.** Горное давление и крепь выработок [Текст] /

- А.П. Максимов.– М.: Недра, 1973.– 288 с.
18. **Турчанинов, И.А.** Основы механики горных пород [Текст] / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян.– Л.: Недра, 1989.– 488 с.
  19. **Литвинский, Г.Г.** Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулддыркаев. К.: Техніка, 1999. – 216 с.
  20. **Черняк, И.Л.** Предотвращение пучения почвы горных выработок [Текст] / И.Л. Черняк.– М.: Недра, 1978.– 237 с.
  21. **Литвинский, Г.Г.** Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах [Текст] / Г.Г. Литвинский, Г.В. Бабиюк, А.В. Быков. ЦНИЭИуголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР.– М., 1985.– 48 с.
  22. **Гайко, Г. І.** Конструкції кріплення підземних споруд: Навч. посіб. [Текст] / Г.І. Гайко. – Алчевськ: ДонДТУ, 2006. – 133 с.
  23. Прогрессивные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при безцеликовой технологии отработки угольных пластов. – Л.: ВНИМИ, 1985. – 112 с.
  24. Технологические схемы проведения, крепления и охраны выработок, сохраняемых позади очистного забоя, на пологих и наклонных пластах Донбасса. – Донецк: Минуглепром УССР, ДонУГИ, 1984. – 75 с.
  25. **Калфакчиян, А.П.** Совершенствование средств и способов поддержания подготовительных выработок на шахтах Центрального района Донбасса [Текст] / А.П. Калфакчиян, В.Г. Александров, Е.А. Воробьев, А.И. Карлов, Е.И. Питаленко, А.Т. Горгонов. – Днепропетровск: Січ, 1994.– 207с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ. ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК.	4
2. ОПЫТ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.	21
3. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, КЛАССИФИКАЦИИ СПОСОБОВ ОХРАНЫ.	31
4. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ И ВСКРЫВАЮЩИХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.	81
5. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ПОДГОТАВЛИВАЮЩИХ ВЫРАБОТОК.	86
6. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ.	92
7. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ СПЛОШНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ.	95
8. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПОМОЩЬЮ АНКЕРНЫХ ПОРОДО-АРМИРУЮЩИХ СИСТЕМ.	142
9. СПОСОБЫ ОХРАНЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ (УМЕНЬШЕНИЕ) ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ВЫРАБОТКАХ.	167
10. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ВЫРАБОТОК НА ПЛАСТАХ КРУТОГО И КРУТО-НАКЛОННОГО ПАДЕНИЯ.	185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	193
СОДЕРЖАНИЕ	195