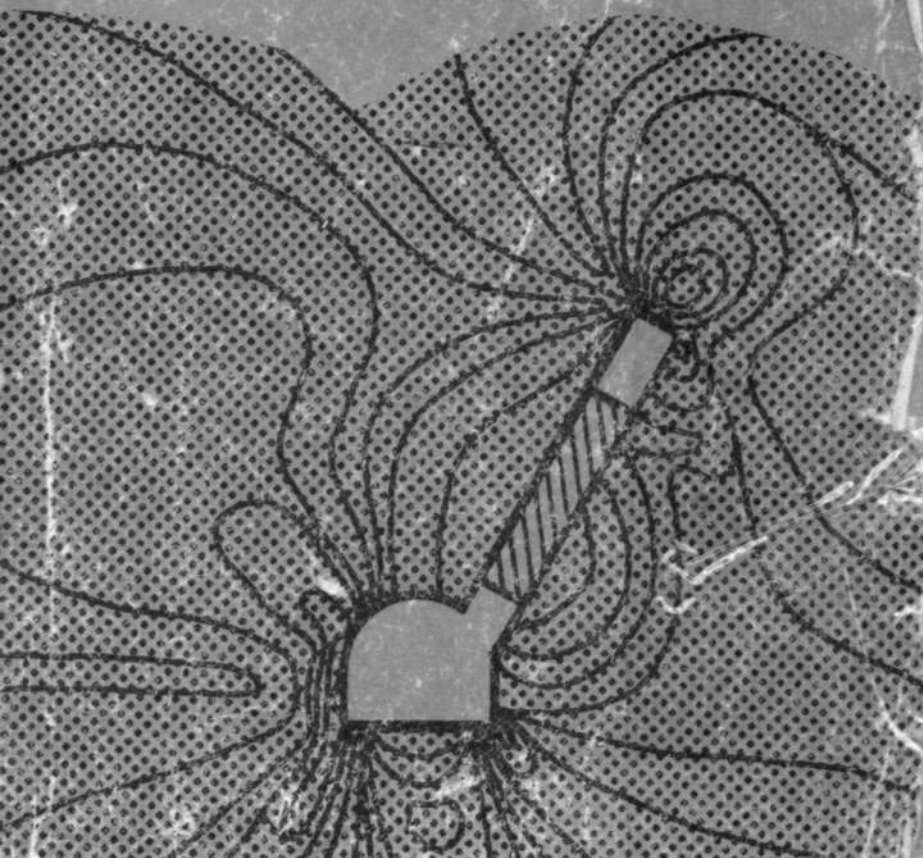


К. В. КОШЕЛЕВ Ю. А. ПЕТРЕНКО А. О. НОВИКОВ

ОХРАНА И РЕМОНТ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

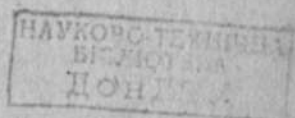
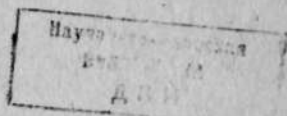


К.В. КОШЕЛЕВ Ю. А. ПЕТРЕНКО А.О. НОВИКОВ

ОХРАНА И РЕМОНТ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Под общей редакцией
доктора технических наук, профессора
К.В. КОШЕЛЕВА

2



МОСКВА
«НЕДРА»
1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выполнение поставленных перед угольной промышленностью задач связано со значительным объемом горнопроходческих работ. В этих условиях вопросы разработки и, главное, внедрения прогрессивных технологий проведения и крепления, а также охраны горных выработок, приобретают большое народнохозяйственное значение.

В определенный отрезок времени породный массив находится в условиях естественного равновесия. Деятельность человека по ведению горных работ (сооружение выработок, выемка полезного ископаемого и пр.) нарушает породный массив, вызывая в нем геомеханические процессы, связанные с появлением новых напряжений (в том числе и динамических).

Новые напряжения стремятся прийти в равновесие, происходит процесс восстановления равновесного состояния. Этот процесс сопровождается смещениями пород, величина и характер которых зависят от многих природных, технических и технологических факторов. Влияние этих факторов неоднозначно и, в ряде случаев, слабо изучено. Это в определенной мере связано с тем, что практически прекращены целенаправленные исследования смещений пород и их физико-механических свойств. При этом отказ от финансирования этих исследований обосновывается большим числом их проведения в шестидесятых годах. Только в Донецком бассейне исследования велись примерно на шестистах замерных станциях. Но отсутствие единой методики инструментальных замеров привело к различию понимания одних и тех же явлений, к противоречивости в их оценке и толковании. И хотя именно эти исследования способствовали разработке используемых в настоящее время методов прогнозной оценки нагрузок на крепь, смещений породных контуров и пр., многие результаты оказались непрактичными. Следует отметить, что изменение условий ведения горных работ также требует проведения дополнительных исследований. Поэтому и приходится говорить о недостаточной изученности влияющих факторов.

Опыт ведения горных работ показывает, что степень влияния многих факторов может регулироваться, т.е. активно управляться человеком, однако эта возможность используется недостаточно.

Смещения пород, вызванные процессом восстановления равновесного состояния массива, направлены в сторону искусственно образованной полости (выработки) и в большинстве случаев сопровождаются деформацией породных обнажений и крепи, что приводит к нарушению режима работы выработки (эксплуатационного состояния). Для дальнейшего использования данной выработки требуется выполнение работ по ликвидации последствий процесса смещений пород (производство ремон-

та), что связано с большими затратами, в значительной степени зависящими от принятых способов и средств поддержания.

В условиях глубоких шахт Донецкого угольного бассейна средняя несущая способность крепи с 1970 г. возросла более чем в 2 раза, достигнув 195 кН/м^2 . За этот же период затраты на поддержание возросли в 2,4 раза, стоимость крепления увеличилась в 2,3 раза, а трудоемкость этих работ — в 2,5 раза и более.

Процесс возведения крепи продолжает оставаться дорогостоящим, трудоемким и маломеханизированным. Стоимость этих работ составляет 30–35 %, трудоемкость 25–50 % от общей стоимости и трудоемкости сооружения горизонтальных и наклонных выработок. Уровень механизации возведения монолитной бетонной крепи не превышает 5–7 %, а металлическую арочную податливую крепь (эта крепь применяется в 91,3% выработок на строящихся шахтах Донбасса) возводят до сих пор вручную.

Традиционные крепи быстро исчерпывают свою несущую способность, что вызывает необходимость ремонта выработок еще в период их строительства.

Так, за одиннадцатую пятилетку комбинатами Донецкшахтострой и Ворошиловградшахтострой проведены работы по ремонту (перекреплению) 45 % горизонтальных и наклонных выработок (от общего объема пройденных и закрепленных за этот же период выработок) [2].

Действующие нормативные документы [3, 4, 5] учитывают обобщенные горно-геологические, технические и в отдельных случаях технологические факторы, и предусматривают в основном применение только традиционных способов поддержания.

Все это приводит к неизбежности ремонта выработок. Так, в условиях глубоких шахт Донбасса при столбовой системе разработки угольных пластов, независимо от условий их залегания, кратность ремонта в подготовительных выработках составляет 3 и более, а в других не менее 2.

Значительный объем требуемого ремонта вызывает определенные трудности в его организации и своевременности выполнения. Из-за несвоевременности выполнения ремонта объем деформированных выработок ежегодно увеличивается на 2–3 %. Особого внимания заслуживает правильность оценки стоимости строительства выработки. При проектировании, а следовательно, и строительстве во внимание принимаются только начальные затраты, последующие затраты на поддержание этой выработки в эксплуатационном состоянии обычно не учитываются. В определенной мере это связано с ошибочным, но вместе с тем принятым в практике термином "безремонтное поддержание выработок".

Правильно говорить о снижении затрат на последующее поддержание выработки в эксплуатационном состоянии в течение всего периода ее использования или о достижении их наименьших величин. Это очень важно, так как в настоящее время оценка стоимости поддержания выработок связана только с применением крепи, что в большинстве случаев не обеспечивает конечного результата.

Решение этого вопроса возможно при создании системы "крепь — порода", причем уже в начальный момент строительства выработки, что может быть реализовано использованием несущей способности породного массива.

Это достигается применением дополнительных мероприятий, направленных на включение породного массива, прилегающего к выработке, в совместную работу с крепью.

Так как любые дополнительные мероприятия требуют дополнительных затрат, то возникает искусственно созданное противоречие: дополнительные затраты увеличивают начальные затраты, учитываемые при проектировании (строительстве), а то, что они существенно снизят последующие затраты на поддержание выработки в период ее эксплуатации, во внимание не принимается.

Отсюда отрицательное отношение к использованию дополнительных мероприятий (в общем, способов охраны) и, как следствие, весьма ограниченный объем их промышленного применения (3—5 % необходимого).

Ограниченность применения способов охраны или неприемлемость условий их использования, необоснованность изменения рекомендуемых параметров снижают эффективность возможных решений и вызывают необходимость проведения ремонта. Полностью исключить ремонт выработок, т.е. обеспечить "безремонтное поддержание", практически невозможно.

Однако, несмотря на значительный объем ремонта (в условиях глубоких горизонтов шахт Донбасса усредненные затраты на поддержание горных выработок составляют 75 руб/м в год, при грудных затратах 52,3 чел-смен на 1000 т суточной добычи, достигая 189 руб/м в год (шахта им. Челюскинцев ПО "Донецкуголь") — 210 руб/м в год (шахта "Чайкино" ПО "Макеевуголь"), до настоящего времени отсутствуют нормативные материалы, регламентирующие необходимость и характер этого элемента поддержания выработки.

В работе детально рассмотрены способы охраны горных выработок, направленные на обеспечение эксплуатационного состояния в течение всего срока их службы. Конкретизированы условия их применения и параметры в шахтных условиях.

В написании отдельных параграфов книги принимали участие О.К. Кошелев, (1. 7, 4. 4), Н.В. Игнатович (3.5) В.И. Каменец (1.7).

1.1 Терминологические положения

Развитие горного производства, связанное с решением многих вопросов, не только вызывает появление новых терминов (система "крепь—порода", охрана горных выработок и пр.), но и в ряде случаев изменяет сущность общепринятых (поддержание горных выработок, крепление, ремонт и пр.). Все это требует своего терминологического обоснования.

В соответствии с терминологическим словарем [8]: *поддержание выработки* — "комплекс работ по содержанию выработки в состоянии, указанном в паспорте проходки и крепления выработки". Таким образом, имеются в виду работы, выполняемые после сооружения. Однако опыт эксплуатации выработок угольных шахт показывает, что выполнение этих работ во многих случаях должно производиться в период сооружения, а в ряде случаев и до сооружения выработки (например, предварительное укрепление пород или предварительная их разгрузка и пр.). Именно в силу этого в технической литературе [5, 6, 7] широко используется термин "охрана горных выработок", хотя и он имеет разную трактовку.

Последствия геомеханических процессов принято называть горным давлением. Известно, что *горное давление* — это силы, действующие в породном массиве. Но в результате чего они возникли? Будут ли они при отсутствии горных работ? Можно ли на эти силы воздействовать, изменяя их конечные значения? Эти вопросы можно продолжить так же, как можно продолжить примеры неполноценности терминологических положений.

В свете изложенного предлагаются терминологические положения, основанные на обобщении опыта эксплуатации выработок, их состояния с учетом всего срока службы, средств и способов управления геомеханическими процессами породного массива, вмещающего выработку или их систему, употребляемые в этой книге.

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

Это терминологическое положение объективно и достаточно полно характеризует работоспособность выработки практически на любом этапе ее использования, т.е. во времени. Последнее является важным, так как позволяет объективно оценить фактические затраты на обеспечение этого состояния, а не только начальные, которые обычно учитываются в настоящее время.

Устойчивость выработок (породных обнажений) — способность сохранять 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 крепи) могут меняться.

В технической литературе используются понятия "устойчивость выработки" и "устойчивость породных обнажений".

Хотя эти понятия равноценны, более полным является *устойчивость выработки*, так как оно объединяет устойчивость породных обнажений и крепи, (т.е. системы "крепь—порода"), что реализует возможность искусственного управления этим состоянием.

Такая конкретизация позволит широко использовать методы искусственного воздействия на геомеханические процессы, т.е. управлять породным массивом, обеспечивая при этом регулируемость конечных значений величин, учитываемых при выборе крепи. Это позволит более реалистично подходить к методике выбора конструкций крепи и расчету ее параметров. Если расчет необходимого режима работы крепи и ее несущей способности производится по величинам горного давления, при этом со значительными погрешностями, то мы практически исключаем возможность применения облегченных и, возможно, нетрадиционных видов крепи.

Используя изложенные положения, мы можем по конечным значениям нагрузок на крепь и известным фактическим параметрам ее, обосновать приемлемость данной крепи в конкретных горно-геологических и технических условиях, и объективно решить вопросы управления породным массивом или ремонта выработки.

Характер проявления горного давления может быть статическим и динамическим (горный удар, выброс пород и пр.). Аналогичное положение наблюдается и при развитии нагрузок на крепь, непосредственно связанных со смещениями массива, прилегающего к выработке.

Нагрузка на крепь формируется как результат взаимодействия крепи и породных обнажений и зависит от режима работы и деформативности крепи, свойств вмещающей среды (породы, а в ряде случаев и забутки закрепного пространства), времени ввода крепи в работу и ее начальной несущей способности (начального распора). В зависимости от деформированного состояния породных обнажений (прямая зависимость от способа сооружения выработки и качества работ) и прилегающего к выработке массива, в том числе вызванного продолжительностью поддержания выработки, нагрузка на крепь может формироваться весом обрушенной части породного массива. Величина этой возможной нагрузки на крепь во внимание обычно не принимается, а в условиях больших глубин ведения горных работ именно она является причиной нарушения эксплуатационного состояния примерно 20 % действующих выработок. В этой связи считаем целесообразным использование следующих терминологических положений.

Вывалообразование — объем пород, отделившийся от массива, прилегающего к выработке, в результате интенсивного развития его нарушенности.

Нагрузка на крепь от вывала — вес вывалообразования, воспринимаемый крепью.

Использование этих положений, правильное их понимание дает реальные возможности конкретизировать действенные меры воздействия на массив (например, укрепление пород; повышение качества горных работ, уменьшающее степень нарушенности пород и пр.).

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 пр.

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.

Ремонт горных выработок — комплекс мероприятий по обеспечению эксплуатационного состояния выработки, выполняемый в период срока ее службы.

В него входят: расширение выработки до проектных размеров, замена или усиление крепи, ликвидация последствий пучения пород почвы выработки и их завалов, т.е. ликвидация последствий статических или динамических смещений породных обнажений, вызванных геомеханическими процессами. К ремонту, кроме этого, следует относить исправление дефектов откаточных путей и водоотливных канавок, даже если они и не вызваны геомеханическими процессами.

Параметры ремонта могут быть условно разделены на три группы: *организационные* (численность ремонтных рабочих и их расстановка, способы и средства производства ремонта и пр.); *технические* (характер-

ристика вновь возводимой крепи и крепи усиления, размеры участков усиления и пр.) и *геомеханические* (характер и степень изменения породного массива, прилегающего к выработке при производстве в ней ремонта).

Рассмотрев вышеизложенные терминологические положения, их можно объединить в основополагающий термин: *поддержание горных выработок* — совокупность мероприятий по охране, креплению и ремонту выработок для обеспечения ее эксплуатационного состояния в течение срока службы.

Ряд этих мероприятий является составной частью технологического процесса по сооружению выработки.

Коэффициент работоспособности крепи ($K_{рк}$) — величина, характеризующая отношение фактической и технической (паспортной) несущей способности крепи в конкретных горно-геологических и технических условиях.

Необходимость введения этого терминологического положения обосновывается несоответствием принимаемой в проектах (следовательно, при строительстве и эксплуатации выработки) несущей способности крепи действующим нагрузкам.

Это приводит к быстрой и повышенной деформации крепи, необходимости ее ремонта, в том числе и в период строительства, т.е. значительно повышает фактические начальные затраты.

В конкретных условиях работы шахты (или другого горнодобывающего предприятия) при рассмотрении технологических процессов и оценки состояния выработки или отдельных ее элементов (крепи, породных обнажений и пр.) следует учитывать необходимость применения тех или иных мероприятий, при этом критерием их выбора должен быть технико-экономический анализ.

Критерий — величина, характеризующая на основании технико-экономического анализа возможное состояние выработки или отдельных ее элементов на разных этапах эксплуатации.

Используя это положение, можно объективно прогнозировать необходимость и характер ремонта, целесообразность применения способа охраны и параметры крепи. Например, критерием возможного поддержания выработки без применения способов охраны, т.е. только за счет использования крепи, рекомендуется стоимость ремонта в пределах до 30 % начальной стоимости крепления. Только при этом производство ремонта не нарушает эксплуатационное состояние выработки.

Критерием целесообразности применения способов охраны является прочность вмещающих пород в сочетании с глубиной расположения выработки и ее направлением относительно напластования. Только при использовании этого критерия мы получаем результативное применение способов охраны, обеспечивая наименьшие затраты на поддержание выработки в период ее эксплуатации [6].

1.2. Рекомендации по учету физико-механических свойств породного массива и характеристики крепи

Основными нормативными документами, обязательными при проектировании выработок, выборе средств и способов их поддержания являются СНиП, руководство и указания [3, 4, 5]. В них обобщен опыт работ в этом направлении научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также высших учебных заведений горного профиля. В нормативных документах практически невозможно учесть все детали рассматриваемой проблемы, тем более, что горная наука постоянно развивается, поэтому мы считаем возможным рекомендовать для практического использования результаты исследований, выполненных для условий шахт Донецкого угольного бассейна, которые следует рассматривать как дополнение к вышеуказанным материалам.

Механические характеристики горных пород, в первую очередь прочностные, являющиеся основой при решении вопросов поддержания выработок, получают в лабораторных условиях на образцах породы. Поэтому не всегда учитывается специфика породного массива: наличие разнородных пород, характер и степень их нарушенности; временной фактор и ряд других положений, что вызывает погрешность при расчетах, связанных с использованием механических свойств горных пород.

В этой связи рекомендуется применение следующих положений, которые оправдывают себя при практическом использовании в решении вопросов поддержания выработок.

Коэффициент стойкости пород m характеризует возможное изменение прочностной характеристики пород (в пределах контура выработки и прилегающего к нему массива) в зависимости от горно-геологической характеристики и срока службы данной выработки. По фактору срока службы все выработки подразделены на три группы: до 5 лет — главным образом, вспомогательные (временные) выработки; 5—10 лет — подготовительные выработки; более 10 лет — основные (капитальные) выработки.

Значения коэффициента стойкости пород приведены в табл. 1.

Таблица 1

Срок службы выработки, лет	Значение m при породах	
	сухих	обводненных
До 5	1	0,95
5—10	0,9	0,8
Более 10	0,8	0,7

Под обводненными породами понимаются породы с коэффициентом влажности $W > 0,3$, что соответствует притокам воды $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ и более.

Использование коэффициента стойкости повышает объективность принимаемых решений, особенно в долгосрочных выработках, так как в основу расчета принимается фактическая прочность породы ($\sigma_{\text{ф}}$) с учетом ее длительного взаимодействия с "агентами выветривания":

$$\sigma_{\text{ф}} = m \sigma_{\text{л}}, \quad (1.1)$$

где $\sigma_{\text{л}}$ — прочностная характеристика, полученная в лабораторных условиях.

Например, по данным лабораторных исследований прочность пород на одноосное сжатие $\sigma_{\text{сж}} = 50 \text{ МПа}$. Сооружаемая, а впоследствии поддерживаемая в этих породах выработка имеет срок службы 8 лет, приток воды в выработке составляет $3 \text{ м}^3/\text{ч}$. Согласно табл. 1, значение коэффициента стойкости породы — 0,8, тогда $\sigma_{\text{ф}} = 40 \text{ МПа}$. Это значение прочности пород необходимо использовать в расчетах при решении вопросов поддержания данной выработки (оценке возможной устойчивости породных обнажений, прогнозной оценке ожидаемых смещений пород в выработку и пр.).

Использование коэффициента стойкости пород позволяет прогнозировать возможное состояние породных обнажений и обосновать необходимые способы и средства поддержания выработки в зависимости от срока ее службы.

Коэффициент тектонической характеристики $f_{\text{Т}}$ оценивает возможное состояние породного массива, учитывая строение и трещиноватость пород. ВНИМИ, обобщив работы этого направления, выполненные в условиях угольных месторождений, предложил значения коэффициента тектонической характеристики [5].

Сопоставление данных инструментальных наблюдений и тектонико-экономического анализа состояния выработок с расчетными показали возможность для практических целей учитывать тектоническую характеристику участка массива коэффициентом тектонической характеристики $f_{\text{Т}}$, значения которого приведены ниже.

Следует иметь в виду, что дается характеристика породного массива с приращенной и тектонической (мелкоамплитудной до 0,5 м) нарушенностью.

Предлагается учитывать состояние массива не только наличием или отсутствием нарушенности, но и степенью этой нарушенности. Участок породного массива с приращенной трещиноватостью характеризуется как трещиноватый. Породы в пределах геологических нарушений при амплитуде 0,5 м и более следует рассматривать, как весьма нарушенные, методика учета этих нарушений изложена в п. 1.6.

Значения коэффициента тектонической характеристики $f_{\text{Т}}$ для различных участков породного массива приведены ниже.

Однородные ненарушенные	1,0
Слоистые ненарушенные	0,95
Однородные трещиноватые	0,9
Однородные нарушенные	0,85
Слоистые трещиноватые	0,8
Слоистые нарушенные	0,7

Коэффициент тектонической характеристики достаточно объективно увязывает прочностные показатели породы в образце и массиве. Следует отметить, что вышеизложенные рекомендации не учитывают технологическую нарушенность породного массива, вызванную ведением горных работ. Эта нарушенность в ряде случаев является определяющей, характеризующей приемлемость буровзрывного способа проведения выработки.

Методика оценки расчетного значения коэффициента крепости слоистых разнопрочных пород $f_{пр}$. Для обеспечения деятельности современного угольного предприятия 60–70 % выработок по техническим условиям сооружается по простиранию (падению, восстанию), из которых 80–90 % находятся в слоистых породах, имеющих различие в прочностных характеристиках.

При прогнозных оценках нагрузок на крепь (смещений пород), устойчивости породных обнажений необходимо знание усредненного значения прочностной характеристики, принимаемой в расчетах. Важным является также оценка расстояния от контура выработки, на котором необходим учет различия в прочностных характеристиках вмещающих пород.

Для получения расчетного значения прочности (крепости) пород, слагающих вмещающий выработку массив, предлагается методика, основанная на рекомендациях ВНИМИ [25] и ВНИИОМШС.

Методика дает возможность оценить приведенный коэффициент крепости ($f_{пр}$) пород на расстоянии: $h_б$; $h_к$; $h_{п}$ (приведенная мощность соответственно в горизонтальном направлении от боков выработки и вертикальном направлении от кровли и почвы выработки вчерне).

$$h_б = h, \quad h_к = h + 1,5B, \quad h_{п} = h + B, \quad (1.2)$$

где h — высота выработки вчерне, м; B — ширина выработки вчерне, м (рис.1).

На расчетных расстояниях (приведенных мощностях), ограничивающих участок массива, в котором ведется оценка значения $f_{пр}$, находятся средневзвешенные значения коэффициента крепости пород, расположенных в кровле ($f_{ср}^к$), боках ($f_{ср}^б$) и почве ($f_{ср}^п$) выработки:

$$f_{ср} = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}, \quad (1.3)$$

где f_1 ; f_2 ; $\dots$ f_n — коэффициенты крепости пород, находящихся в кровле, боках или почве выработки в пределах приведенных мощностей;

$h_1; h_2; \dots h_n$ — толщина (или часть толщины) слоев соответствующих пород, находящихся в пределах приведенных мощностей.

Значения приведенного коэффициента крепости пород, находящихся в кровле выработки ($f_{пр}^к$), определяется из выражения:

$$f_{пр}^к = \frac{f_{ср}^к f_{ср}^б}{\sqrt{(f_{ср}^б)^2 \sin^2 \alpha + (f_{ср}^к)^2 \cos^2 \alpha}}, \quad (1.4)$$

боках

$$f_{пр}^б = \frac{f_{ср}^б f_{ср}^к}{\sqrt{(f_{ср}^к)^2 \sin^2 \alpha + (f_{ср}^б)^2 \cos^2 \alpha}}, \quad (1.5)$$

почве

$$f_{пр}^п = \frac{f_{ср}^п f_{ср}^б}{\sqrt{(f_{ср}^б)^2 \sin^2 \alpha + (f_{ср}^п)^2 \cos^2 \alpha}}, \quad (1.6)$$

где α — угол залегания пород, градус.

Условием корректного применения рассмотренной методики является: $0 < \alpha < 90^\circ$, т.е. практически во всех условиях возможного расположения выработки.

Использование приведенных коэффициентов крепости пород в проектах поддержания выработок и сопоставление полученных при этом величин с фактическими дает хорошую сходимость, что подтверждает их объективность и возможность практического использования.

Если в пределах приведенных мощностей содержание слабых пород с $f \leq 4$ составляет 50 % и более или общее различие в прочностных характеристиках учитываемых пород не превышает 20 МПа, в расчетах необходимо учитывать прочность слабых пород, т.е. в этих условиях вышеизложенная методика к применению не рекомендуется, так как дает результаты завышающие значения прочностных характеристик вмещающих пород.

При расположении выработки по контакту разнопрочных пород расчетную прочность пород почвы и кровли следует принимать равной фактической, а боков — средневзвешенной с учетом местоположения контакта (на контуре выработки) относительно кровли и почвы.

В случае расположения выработки в породах слоя 1 учет влияния пород слоя 2 на прочностную характеристику пород соответствующего участка контура выработки следует производить оценкой средневзвешенного значения коэффициента крепости только в случае: $h_1 \leq 0,5 B$.

Структурная формула устойчивости — это условное понятие, характеризующее соотношение сил, стремящихся деформировать выработку

(вмещающий ее породный массив), и сил, препятствующих их действию.

В общем виде это соотношение может быть представлено в виде:

$$m(1 + \rho) \sigma_{сж} \rightarrow K \gamma H / f_T, \quad (1.7)$$

где γ — удельный вес пород, МН/м^3 ; H — глубина расположения выработки от земной поверхности; m ; t — коэффициент стойкости пород (см. табл. 1); f_T — коэффициент тектонической нарушенности; K — коэффициент концентрации напряжений; ρ — доля участия крепи в формировании сил, препятствующих деформациям; $\sigma_{сж}$ — прочностная характеристика пород, МПа.

Используя приведенную зависимость, можно в первом приближении оценить общее ожидаемое состояние выработки (их системы) в данных горно-геологических и технических условиях. При этом возможны случаи, когда состояние выработки оценивается

как устойчивое: $m(1 + \rho) \sigma_{сж} > K \gamma H / f_T$;

как неустойчивое: $m(1 + \rho) \sigma_{сж} \leq K \gamma H / f_T$.

Корректность рассмотренной зависимости, на наш взгляд, достаточная, ибо она учитывает в общем соотношение действующих сил. Что касается достоверности, то следует отметить: достоверность учитываемых свойств пород, а также коэффициентов стойкости и тектонической нарушенности определяется качеством геологоразведочных работ и возможностью уточнения их в период проектирования или строительства угольного предприятия. Последнее позволяет при необходимости внести соответствующие коррективы в принятых решениях.

Вопрос достоверности значений ρ и K является спорным.

Доля участия крепи ρ определяется ее удельной несущей способностью или отпором q . Обследование выработок показывает, что соотношение фактической удельной несущей способности q_f и технической q_T имеет вид:

$$q_f = K_{p.k} q_T,$$

где $K_{p.k}$ — коэффициент работоспособности крепи.

Анализ данных фактической несущей способности крепи и сопоставление их с ее технической (паспортной) характеристикой показывает, что коэффициент работоспособности крепи изменяется в пределах 0,2–0,8.

В проектах обычно принимается техническая несущая способность крепи, что в сопоставлении с действующими нагрузками (в том числе и прогнозными) показывает реальность поддержания выработки только за счет применения крепи. Однако способ эксплуатации выработок опровергает это. Наблюдаются деформации, превышающие допустимые, что вызывает необходимость ремонта. Это положение справедливо для любой

конструкции крепи, независимо от режима ее работы и назначения. Исключение составляют временные и укрепляющие крепи: первые — в силу кратковременности использования, а укрепляющие — в связи с созданием системы "крепь—порода" сразу же после их возведения.

Изложенные положения дают возможность реализации новой методики выбора крепи по ее несущей способности.

Коэффициент концентрации напряжений K характеризует величину напряжений на контуре выработки по отношению к величине напряжений в условиях γH (нетронутого—породного массива) и зависит от ряда факторов, основным из которых принимается форма поперечного сечения выработки.

Значения коэффициента концентрации напряжений K для различной формы поперечного сечения выработок приведены ниже.

Эллиптическая с соотношением короткой и длинной осей, равным 1,5	1,5
Круглая	2
Арочная	2,5
Сводчатая	3
Прямоугольная (трапецевидная)	3,5

Эти значения в определенной степени условные, так как получены при расположении контура в упругой среде и гидростатическом поле напряжений. Известно, что неровности контура увеличивают значения K в 4 раза и более [6]. Большое влияние на величину коэффициента концентрации напряжений оказывает степень и характер нарушенности (неровности) породного обнажения. Исследования Донецкого политехнического института показали, что наибольшее отрицательное значение имеет амплитуда неровности, т.е. ее размер в направлении породного массива. Увеличение числа этих неровностей влияет отрицательно в меньшей степени и способствует более равномерному распределению повышенных напряжений по периметру выработки.

В силу изложенного, структурная формула устойчивости может использоваться для ориентировочной оценки возможного состояния выработки. Несмотря на ориентировочность получаемых результатов, использование структурной формулы устойчивости достаточно точно для условий шахт Донецкого угольного бассейна оценивает необходимость применения способов охраны, что позволило применить ее при оценке возможного состояния выработки по критерию устойчивости (п. 1.7). Структурная формула устойчивости, кроме вышеизложенного, характеризует возможные направления регулирования входящих в нее показателей и, как следствие, направления работ по обеспечению необходимого состояния породных обнажений.

Влияние температурного фактора на изменение напряженного состояния породных обнажений. Лабораторные и шахтные исследования [6], проведенные для условий глубоких шахт Донбасса, характеризуются относительно высокой температурой породного массива (шахта им. А.Ф.За-

сядько ПО "Донецкуголь" – 32,8°; шахта им. Бажанова ПО "Макеев-уголь" – 35,4°) показали, что в пределах рассматриваемых участков (исследовалось температурное состояние породного массива, вмещающего выработку на расстоянии до 3 м от контура выработки, в течение 130 сут.) наибольшие колебания температуры составляют 1,78°. Разница температур массива по мере удаления от контура выработки составляет на 1 м выработки 1–2 °С и практически не изменяется во времени. Отсутствие резких изменений температур позволяет сделать вывод, что температурные напряжения практического влияния на устойчивость выработок не оказывают и могут не учитываться.

Это подтверждается состоянием выработок в разнотемпературных условиях (изменения температур составляло: шахта им. М.И. Калинина – 27,2°; шахтоуправление им. газеты Социалистический Донбасс – 30,7°; шахтоуправление Красная Звезда – 32° все ПО "Донецкуголь") и инструментальными наблюдениями за смещениями породных обнажений выработок и развитием зон неупругих деформаций.

При решении технологических вопросов, в том числе и вопросов поддержания выработок, обычно пользуются укрупненной классификацией горных пород, основанной на классификации проф. М.М. Протодяконова. Породы в зависимости от коэффициента крепости (в общем $f = \sigma_{сж} / 10$, где $\sigma_{сж}$ – прочность пород при одноосном сжатии, МПа) делятся на три группы: слабые до 4; средней крепости 4–6; крепкие более 6.

Указанная классификация не является оптимальной, особенно в породах, имеющих различную степень нарушенности. Как показали исследования смещений пород в выработку и длительного состояния породных обнажений (см. п.п. 1, 3, 1.7), в общем характеризующих состояние выработки в период ее эксплуатации, целесообразно подразделять породы на четыре группы (табл. 2).

Использование этого предложения позволяет более конкретно унифицировать средства и способы поддержания выработок.

При глубине ведения горных работ не более 1200 м содержание пород (в %) по прочности на сжатие изменяется (на шахтах Донбасса) следующим образом:

Группа породы . . .	I	II	III	IV
Содержание, % . . .	26,1–40,1	44,6–49,5	14,7–20,7	1,1–3,7

Таблица 2

Породы (группа)	Прочность пород на сжатие, МПа	Коэффициент крепости пород f
Слабые (I)	< 40	< 4
Средней крепости (II)	40–70	4–7
Крепкие (III)	71–100	7,1–10
Весьма крепкие (IV)	> 100	> 10

По мере увеличения глубин ведения горных работ (более 1200 м) выработки будут сооружаться и поддерживаться в породах средней крепости и крепких (81–86 %), тогда как на достигнутых глубинах 71–89,6 % выработок сооружаются в породах слабых и средней крепости. Учитывая прямую зависимость между глубиной ведения горных работ и величинами напряжений, возникающих в массиве, предлагаемые в настоящее время способы поддержания горных выработок являются перспективными.

1.3. Состояние горных выработок и вмещающего массива на различных этапах эксплуатации

1.3.1. Общее состояние выработок. Выработки по факторам места расположения и состоянию породного массива, вмещающего их, могут быть разделены на три группы: находящиеся вне зоны активного влияния очистных работ; находящиеся в зонах опорного давления или сдвижения пород в пределах выработанного пространства (зоны активного или непосредственного влияния очистных работ); находящиеся в зонах тектонических нарушений.

Общее состояние выработок шахт Донбасса характеризуется следующими показателями: всего деформировано 50 % выработок, в том числе: стволов — 32 %; околоствольных дворов — 43 %; основных горизонтальных выработок — 52 %; основных наклонных выработок — 50 %; сопряжений (пересечений основных выработок) — 67 % (эти выработки и их комплексы находятся вне зоны активного влияния очистных работ); подготовительных горизонтальных выработок — 64 %; подготовительных наклонных — 52 %; сопряжений подготовительных выработок различного вида и назначения 73 %. В условиях тектонических нарушений эти показатели значительно возрастают. На шахтах Восточного Донбасса (ПО "Гуковуголь"), характеризуемого наличием большого числа разрывных геологических нарушений (в этих условиях сооружается и поддерживается примерно 26 % всех выработок, тогда как в среднем по другим угленосным районам Донбасса объем указанных выработок не превышает 15–20 %), подготовительных выработок деформировано: горизонтальных — 80 %; наклонных — 72 %, а общий объем деформированных выработок составляет 56 %.

Из общего объема деформированных выработок 20 % находятся в аварийном состоянии. Ежегодно выполняется ремонт 17,8 % выработок (3000–4000 км), в том числе околоствольных дворов — 18 %; основных горизонтальных и наклонных выработок — 21 %; подготовительных горизонтальных и наклонных — 30 %. Объем ремонта возрастает на 1–3 % в год.

В среднем по шахтам Донбасса стоимость поддержания выработок в эксплуатационном состоянии составляет 75 руб/м в год, в том числе: основных выработок — 58 руб/м в год, подготовительных — 84 руб/м в год (эти выработки находятся, главным образом, в зонах активного влияния очистных работ).

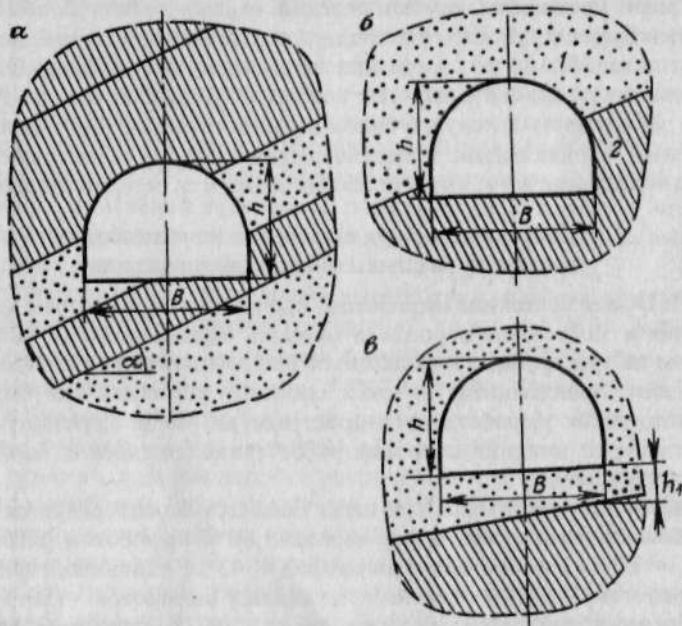


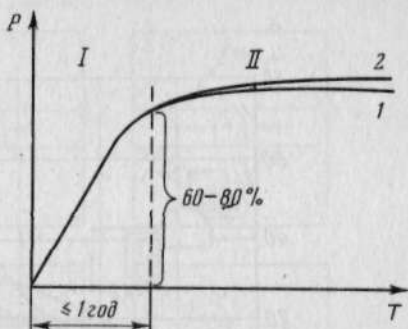
Рис. 1. Схемы для определения расчетной прочности пород в кровле, боках и почве выработки при расположении ее:
 а — в слоистом массиве; б — по контакту разнопрочных пород; в — вблизи от контакта разнопрочных пород

1.3.2. Состояние выработок вне зоны активного влияния очистных работ. Как показали исследования в выработках этой группы (общий объем сооружения и поддержания их составляет до 40 %), в зависимости от характера смещений породных обнажений, интенсивности и времени действия, процесс смещений пород, определяющий горное давление, может быть разделен на два периода (рис. 2): *I* — неустановившееся (первичное горное давление) и *II* — установившееся (вторичное горное давление).

Первичное горное давление характеризуется неравномерностью смещений по периметру выработок, высокой интенсивностью и относительно малым временем действия (до 1 года). Как показали наблюдения, в течение первого года отмечается до 60–80 % смещений.

Сравнивая результаты замеров смещений в зависимости от прочности пород, можно отметить, что в прочных породах период интенсивных и относительно неравномерных смещений больше, а интенсивность смещения и абсолютная величина их ниже, чем в слабых породах (соответственно: 20–25 и 50–70 %). В этих условиях наиболее часто начальные смещения наблюдаются в боках выработки независимо от формы поперечного сечения выработки и способа ее сооружения.

Рис. 2. Характер смещений пород в выработках вне зоны влияния очистных работ



Вторичное горное давление характеризуется относительно малой интенсивностью смещений и нагрузок, примерно одинаковой по периметру. Смещения в этот период со временем стабилизируются (кривая 1) или в случае вязко-пластических пород (кривая 2) могут монотонно возрастать.

С точки зрения поддержания выработок наиболее опасно первичное давление, поэтому в этот период необходимо применять мероприятия для обеспечения последующего эксплуатационного состояния выработок.

Смещения пород в выработку сопровождаются образованием вокруг нее зоны неупругих деформаций. Как видно из графиков смещений, (рис. 3), для рассматриваемых условий (замерная станция заложена в ходке к водосборнику на гор. 860 м на шахте "Кочегарка" ПО "Артем-уголь".

Выработка площадью поперечного сечения $S_{св} = 6 \text{ м}^2$ пройдена по простиранию в монолитных песчаниках и закреплена податливой крепью типа АП), зона неупругих деформаций по форме близка к концентрической окружности (рис. 3, а). При этом размер и время ее образования находятся практически в линейной зависимости (рис. 3, б).

При проведении выработок в слоистых породах зона неупругих деформаций имеет форму эллипса с большим размером, направленным перпендикулярно к напластованию пород. При этом соотношение размеров зоны неупругих деформаций (ЗНД): большего (a) и меньшего (b) составляет $a/b = 1,5 \div 3$. Меньшее значение характерно для крепких пород.

Исследования смещений пород и нагрузок на крепь выработок показали, что основное влияние на рассматриваемые показатели оказывают прочность и их строение. От них в первую очередь зависит направление преобладающих смещений породного контура выработки (нагрузки на крепь), особенно четко фиксируемые в начальный период после сооружения выработки. В последующие годы поддержания существенного различия в величинах смещений (нагрузок на крепь) породного контура по периметру выработок обычно не наблюдается (при отсутствии непосредственного влияния горных работ). Все разновидности расположения основных выработок относительно залегания слабых (I), крепких (II), трещи-

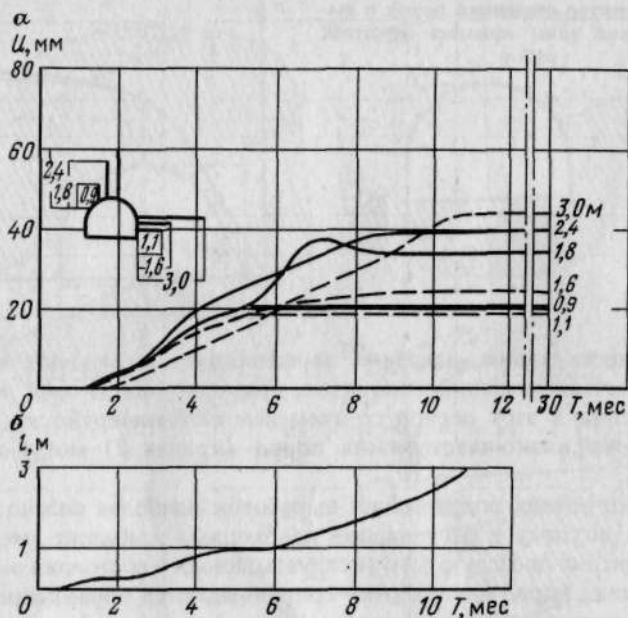


Рис. 3. Графики зависимости от времени на различном удалении от контура выработки (глубина установки реперов на рисунке приведена в метрах):
 а – смещений U ; б – размеров зоны неупругих деформаций

новатых (III) и слоистых (IV) пород, встречающиеся на глубоких горизонтах шахт Донбасса, сведены в 10 групп (рис. 4). Под слоистыми понимаются породы с толщиной слоев менее 1,5 м.

Значения преобладающих смещений (U_n) относительно смещений (U) породного контура выработки в других направлениях приведены в табл. 3.

В этой же таблице приведены значения преобладающих нагрузок на крепь (q_n), однако их достоверность менее доказательна в связи с многочисленностью труднооцениваемых факторов (качество работ, неровности породного контура, время возведения крепи и т.п.).

Зафиксированные различия между отношениями смещений и нагрузок на крепь объясняется процессом "обжатия" крепи. Для схемы 9 в крепях породах смещения увеличиваются на 10–20 %, а продолжительность периода неравномерных смещений – в 2–3 раза. В слабых породах на расстоянии до 10–20 м от забоя часто фиксируются вывалообразования, а продолжительность неравномерных смещений увеличивается в 1,25–1,5 раза (схема 10). Направления наибольших смещений при этом характерны для схем 1 и 2.

Состояние крепи и характер деформации породных обнажений в зависимости от прочности пород представлены на рис. 5.

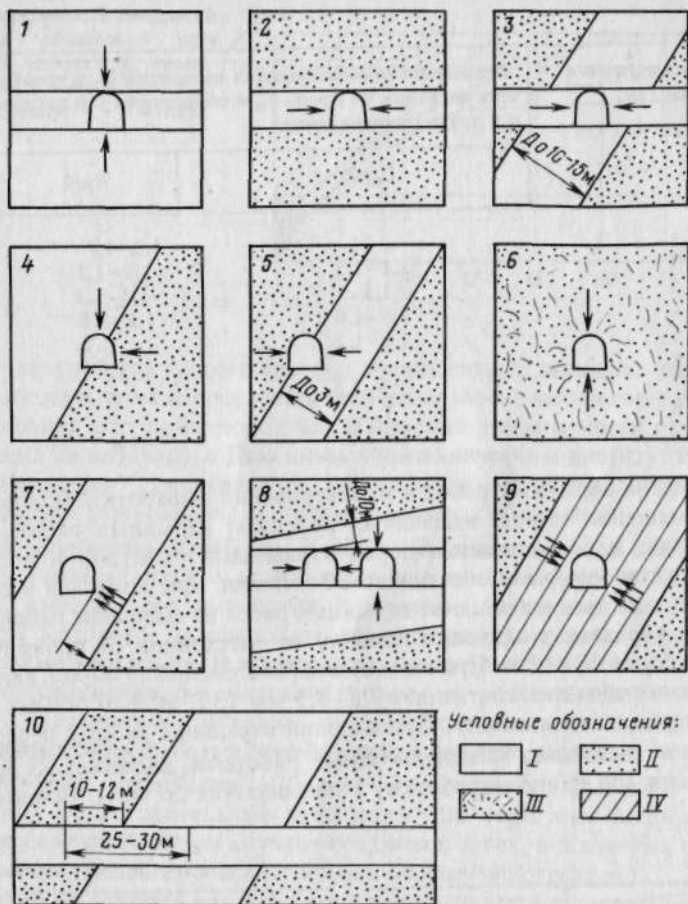


Рис. 4. Схемы расположения основных выработок с учетом преобладающих смещений для различных горно-геологических условий, характерных для шахт Донбасса

Характеристика преобладающих смещений пород дает возможность обоснованного выбора режима работы крепи и направления податливости ее, что, в свою очередь, определяет необходимые направления совершенствования конструкций крепи.

Для исследования влияния взрывных работ на смещения пород выполнялись замеры с помощью контурных реперов в порожняковой ветви скипового ствола гор. 710 м шахты им. Ильича ПО "Стахановуголь" на участках пересечения песчаника ($\sigma_{сж} = 80$ МПа), песчаного сланца ($\sigma_{сж} = 60$ МПа) и глинистого сланца ($\sigma_{сж} = 45$ МПа). Реперы (рис. 6) устанавливались на расстоянии 0,3–0,5 м от забоя непосредственно после

Схема расположения выработки (см. рис. 4)	Отношение преобладающих смещений U_{Π} и преобладающих нагрузок на крепь q_{Π} к смещениям U и нагрузкам q в других направлениях	
	U_{Π}/U	q_{Π}/q
1	2	1,3–1,7
2	1,1–1,3	1,1–1,2
3	1,5	1,3–1,5
4	1,3–1,8	1,2–1,6
5	1,1–1,2	—
6	2	1,3
7	1,3–1,5	—
8	1,3	—
9	до 2,5	до 2

производства взрывных работ и проветривания выработки. Для фиксирования смещений пород, вызванных ведением взрывных работ, замеры проводились непосредственно перед взрывными работами и после них. Время между замерами составляло 30–40 мин. Как показали исследования, непосредственное влияние взрывных работ на смещение наблюдается, главным образом, в прочных породах на расстоянии от проходческого забоя не более 10–12 м. При этом суммарное смещение пород, вызванное взрывными работами, составляет 7,6–8,3 мм (35–38 % от общего смещения за период наблюдений). При ведении взрывных работ с перерывами суммарное смещение, вызванное этими работами, достигает 55 %, а зона их влияния (по длине выработки) увеличивается до 40 м. Помимо изло-

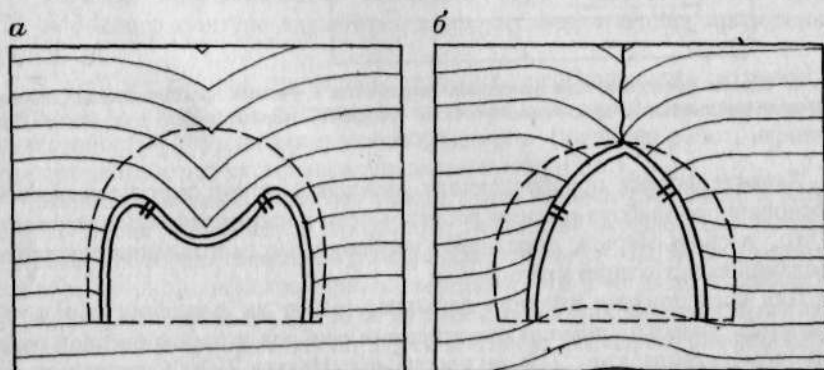
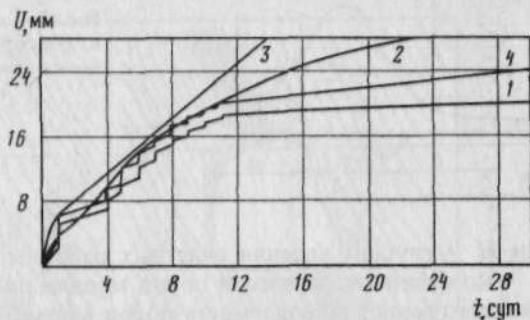


Рис. 5. Состояние крепи и характер деформации породных обнажений в квершлагах № 9 гор. 800 м шахты Челюскинцев ПО "Донецкуголь", пройденном в:
а – глинистых сланцах ($\sigma_{сж}=42$ МПа); б – песчаниках ($\sigma_{сж}=73$ МПа)

Рис. 6. Зависимость смещений породных обнажений при взрывных работах от времени. Реперы в выработке: 1, 2, 3 — в кровле; 4 — в боках



женных результатов исследований, посвященных влиянию взрывных работ, работы в этом направлении проведены Московским горным институтом (оценка состояния породных обнажений в зависимости от способа сооружения выработок) и Донецким политехническим институтом ("щадищее взрывание", направленное на снижение отрицательного влияния взрыва на деформированное состояние породных обнажений).

1.3.3. Состояние выработок в зонах активного влияния очистных работ. Под зоной активного влияния следует понимать участок породного массива, вмещающего выработки различного назначения, напряженное состояние которого, в результате ведения очистных работ, претерпело значительные изменения. В выработках, находящихся в указанных зонах, наблюдаются увеличение смещений пород, их интенсивности и неравномерности. Значительное влияние на указанные изменения оказывает месторасположение выработки относительно угольного пласта.

Пластовые выработки. Пологое и наклонное залегание пласта. Выемочные подготовительные выработки при отработке пологих и наклонных пластов в общем случае находятся в зонах, показанных на рис. 7 (направление движения очистного забоя обозначено стрелкой).

Зона I — в массиве вне зоны непосредственного влияния очистных работ. Величина и характер смещений пород такие же, как в выработках первой группы (U_1).

Зона II — зона активного влияния очистных работ. В этой зоне можно выделить три участка: a — начального влияния впереди лавы. Размеры этого участка обычно принимаются в пределах 25–40 м. Однако инструментальные наблюдения, выполненные в условиях глубоких шахт Донбаса [9] показывают, что фактические размеры этого участка (опорного или повышенного горного давления — ПГД) в ряде случаев превышают указанное. В этой связи для определения размеров участка a рекомендуется зависимость:

$$L_{оп} = 250 \sqrt{Hm} \left(\frac{1 + \frac{1}{f}}{90 + f^2} \right) n, \quad (1.9)$$

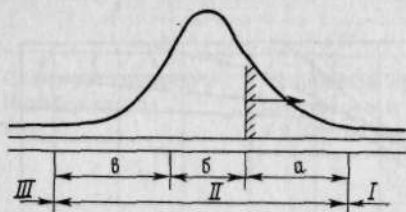


Рис. 7. Схема развития смещений пород в подготовительную выемочную выработку при отработке пологих и наклонных пластов ($\alpha \leq 35^\circ$)

где H — глубина ведения очистных работ, м; m — мощность пласта, м; f — коэффициент крепости пород кровли пласта; n — коэффициент, характеризующий обрушаемость пород кровли: легкообрушаемые породы (слабые, слоистые) — $n=0,6$; среднеобрушаемые (средней крепости слоистые, слабые однородные) — $n=0,8$; труднообрушаемые — $n=1$.

В пределах этого участка смещения пород в выработку и их интенсивность возрастают и составляют $U_a = (1,3-2,5) U_1$; β — участок интенсивного влияния позади лавы (20–30 м). В пределах этого участка наблюдаются наибольшее по величине и интенсивности смещения, $U_\beta = (3,0-2,0) U_1$;

α — участок затухающего влияния позади лавы (10–45 м), $U_\alpha = (1,3-2,0) U_1$. В пределах указанных участков обычно производятся ремонты выработок, которые, если не применять дополнительных мероприятий (охрану), неизбежны в пределах участков α и β .

Для снижения отрицательного влияния очистных работ на эксплуатационное состояние пластовых выработок в указанных условиях находят применение защитные мероприятия, общая характеристика которых приведена в табл. 4.

Таблица 4

Защитные мероприятия	Остаточные смещения в зависимости от мощности угольного пласта m	Стоимость работ, руб./м	Трудоемкость работ, чел.-смен.
Костры, двухрядная органная крепь	0,25 m	11,3	0,4
Бутовые полосы длиной 8 м	0,20 m	20,1	1,57
Железобетонные тумбы БЖБТ	0,15 m	35,5	0,67
Литые полосы	0,15 m	25,8	0,5
Предохранительные целики расчетной ширины	0,15 m	Экономический ущерб от применения этого мероприятия определяется в зависимости от потерь полезного ископаемого в целиках	

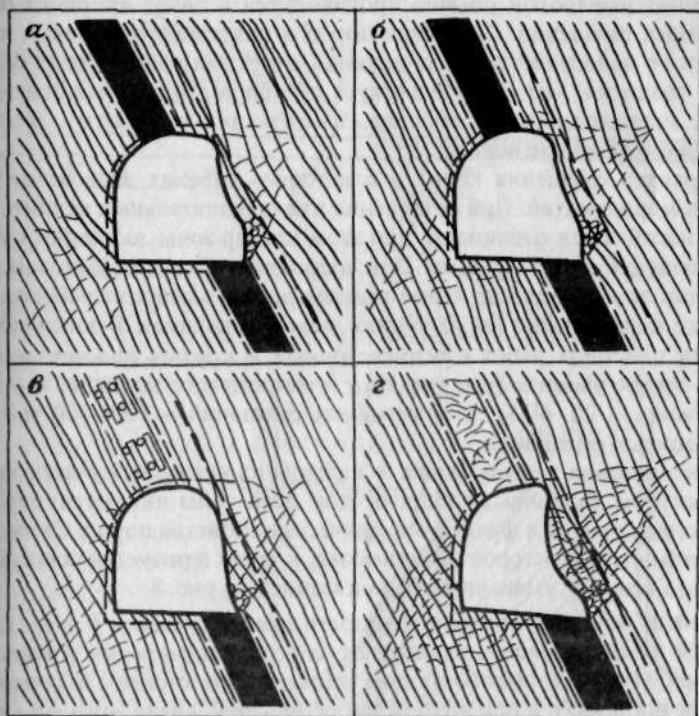


Рис. 8. Схема развития смещений пород в пластовую выработку при разработке крутонаклонных и крутых пластов

При отсутствии защитных мероприятий дополнительные смещения пород в выработку достигают 0,4 м, при этом они практически не зависят от способа управления кровлей в очистном забое. Данные табл. 4 рекомендуются для сопоставимой оценки целесообразности применения способов охраны или указанных мероприятий.

Зона III — зона установившихся смещений, $U_{III} = (1,0 \div 1,3) U_I$. Приведенный цифровой материал является обобщающим результаты инструментальных наблюдений и опыта эксплуатации выработок в условиях: $m = 0,6 \div 1,6$ м; $\alpha = 4 \div 27^\circ$; способы управления кровлей в очистном забое — полное обрушение, частичная и полная закладка.

Крутонаклонное и крутое залегание пласта: в зоне непосредственного влияния очистных работ происходит до 90 % всех наблюдаемых в пластовых выработках смещений пород.

Влияние очистных работ наблюдается на расстоянии 20–40 м впереди очистного забоя и достигает максимума на его уровне (рис. 8). В выработанном пространстве — уменьшение интенсивности смещений на расстоянии 100–200 м от очистного забоя; смещения пород, вызванные ведением очистных работ, практически не наблюдаются.

Ремонт выработок обычно производится в зонах опорного давления и активных смещений. Смещения пород в пластовых и полевых выработках в зоне непосредственного влияния очистных работ имеют общий характер развития, что свидетельствует об общности геомеханических процессов, происходящих в породах, вмещающих выработку, независимо от места ее расположения.

Характер смещения пород в пластовых штреках зависит от вида защитных мероприятий. При оставлении предохранительных целиков наблюдается изгиб слоев с изломом, при этом размер зоны активных смещений увеличивается в 1,5–2 раза. При выкладке костров (бутовых полос) смещения пород проходят более равномерно по высоте выработок, а стоимость их поддержания на 30 % ниже, чем при целиках. В зонах активного влияния очистных работ крутонаклонных и крутых пластов можно выделить четыре участка (см. рис. 8): *а* — нетронутого массива; *б* — опорного давления — 20–40 м; *в* — активных смещений — 100–200 м и *г* — установившихся смещений.

Как показали исследования, в каждом из указанных участков влияющие факторы различные, общими для всей зоны являются: глубина ведения горных работ и физико-механические свойства пород. Степень влияния указанных факторов неодинакова, и характеризуется последовательностью (в сторону уменьшения), показанной на рис. 8.

Степень влияния фактора мощности пласта (участки *б* и *в*), который является неизменяемым, зависит от способа управления кровлей. При частичной закладке выработанного пространства стоимость поддержания штреков в 1,3 раза, а при полной закладке — в 2,2 раза ниже, чем при полном обрушении.

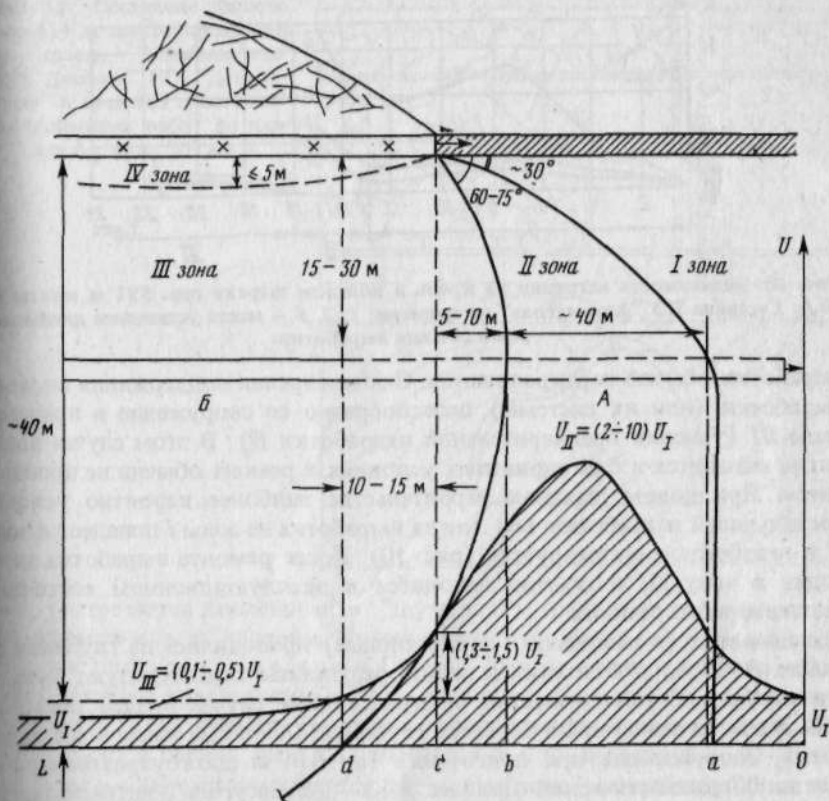
Увеличение скорости подвигания очистного забоя в целом улучшает состояние выработки, так как продолжительность нахождения последней в зоне активного влияния очистных работ при этом сокращается.

Так, в условиях шахты "Кочегарка" ПО "Артемуголь" при увеличении скорости подвигания очистного забоя с 20 м/мес до 31 м/мес (на 55 %) фактически затраты на поддержание пластовых штреков были снижены на 35 %, полевых — на 20 %.

Наиболее часто *полевые выработки* располагают под отрабатываемым (намеченным к отработке) угольным пластом (условия предварительной или последующей надработки). Такое расположение полевых выработок на шахтах Донбасса составляет более 87 %. Около 13 % полевых выработок расположены над пластом (условия подработки), из них более 70 % на участках подхода к пласту при его пересечении.

Учитывая вышеизложенное, наибольший интерес представляет условие надработки. При выемке угольного пласта (рис. 9) под ним образуются зоны, характеризующиеся различной степенью напряженного состояния, а вследствие этого и различной степенью последующей деформативной способности пород.

I — зона нетронутого массива; *II* — зона опорного (повышенного)



давления, ее передняя граница опережает линию проекции угольного забоя на 40—45 м (шахтные исследования проводились при расположении полевой выработки ниже пласта на 15—30 м), задняя граница — на 5—10 м; *III* — зона надработки (разгруженная зона); *IV* — зона упругого восстановления пород, характеризуется повышенной трещиноватостью их и крайне низкой устойчивостью. Удаление границы этой зоны от почвы пласта не превышает 5 м независимо от его мощности и угла залегания. При сооружении выработки в зоне *III* целесообразно расположение ее так, чтобы породный контур, независимо от его ориентации, находился на расстоянии 10—15 м и более от проекции забоя в сторону выработанного пространства. Наблюдаемые в этом случае смещения $U_{III} = (0,1 \div 0,5) U_I$. В пределах участка *cb* (рис. 9) смещения изменяются от U_I до $(1,3 \div 1,5) U_I$, т.е. наблюдается влияние зоны опорного давления (участок *ab*). В пределах зоны опорного давления $U_{II} = (2 \div 10) U_I$. В этих условиях

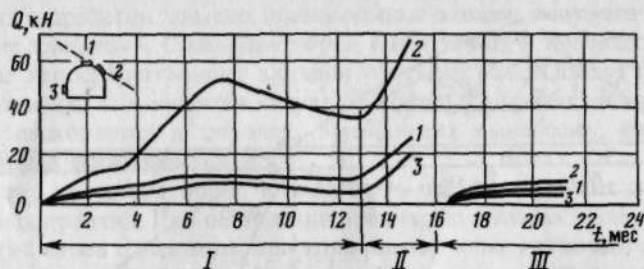


Рис. 10. Зависимость нагрузки на крепь в полевом штреке гор. 591 м шахты им. Ю.А. Гагарина ПО "Артемуголь" от времени: 1, 2, 3 — места установки динамометров в сечении выработки

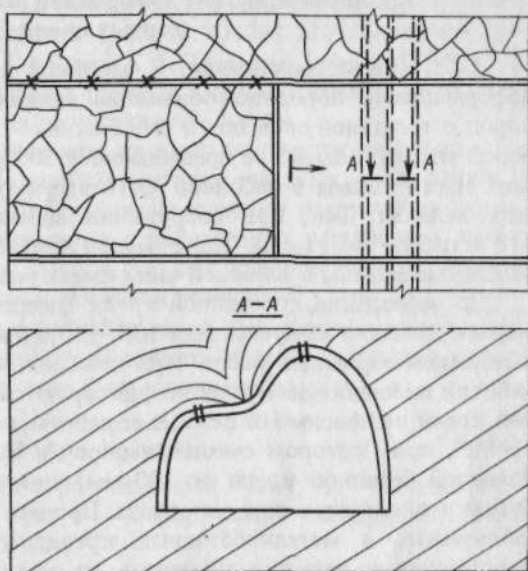
выработки обычно перекрепляются. С точки зрения поддержания полевой выработки (или их системы) целесообразно ее сооружение в пределах зоны III (условия предварительной надработки Б). В этом случае выработка находится в благоприятных условиях и ремонт обычно не производится. При новом шахтном строительстве наиболее вероятно условие последующей надработки (А), когда выработка из зоны I попадает в зону II и неизбежно ремонтируется (рис. 10). После ремонта выработка переходит в зону III и обычно находится в эксплуатационном состоянии без повторного ремонта.

Исследования (в том числе и лабораторные) проводились на глубинах от пласта 3—40 м, и изложенные выше результаты характеризуют именно эти глубины. Однако известны многочисленные случаи воздействия надработки и на значительно больших глубинах. Основные наклонные выработки, сооружаемые при подготовке гор. 814 м шахтоуправления им. газеты "Социалистический Донбасс" ПО "Донецкуголь", интенсивно деформировались при попадании в зоны опорного давления, вызванные ведением добычных работ по пласту h_8 и h_{10} на гор. 707 м (рис. 11). На шахте им. Е.Т. Абакумова ПО "Донецкуголь" неоднократно ремонтировались участки вентиляционного уклона (гор. 561 м), находящиеся в зонах влияния предохранительных целиков, оставленных при ведении очистных работ на гор. 404 м.

Таким образом, активное влияние надработки отмечается на расстоянии более 100 м. В условиях крутого залегания пластов это влияние отмечено на расстоянии 110 м по нормали к отрабатываемому пласту (шахта им. Н.А. Изотова ПО "Артемуголь"). В пределах зон опорного давления, вызванных надработкой, смещения практически не прогнозируются ни по величине, ни по направлению, что исключает практическую возможность поддержания выработок (без производства перекреплений). В этих условиях обязательным является применение дополнительных мероприятий (способов охраны).

При подработке выработки (их системы) несколько условно можно выделить три зоны: интенсивного трещинообразова-

Рис. 11. Состояние уклона гор. 814 м шахтоуправления им. газеты "Социалистический Донбасс" ПО "Донецк-уголь" в пределах зоны влияния добычных работ по пласту h_8 (гор. 707 м)



ния (встречается наименование "шумовая"), границами ее по направлению выемки пласта является: линия очистного забоя и 10–15 м впереди него; активных смещений — 60–70 м от линии очистного забоя в выработанное пространство и остаточных смещений (уплотнения пород). Если принять смещения пород в зонах влияния подработки на 100 %, то в первой зоне их отмечается 5–7 %, во второй — 60–70 %. При этом в зоне активных смещений, кроме конвергенций породных обнажений, обычным является общее "опускание" выработок, что нарушает транспортный режим и требует обязательного ремонта.

По данным исследований [14], абсолютное оседание выработок в долях от мощности подрабатываемого пласта составляет 0,7 m (шахта "Вертикальная" ПО "Донецк-уголь", полевой штрек) — 0,92 m (шахта "Анненская", ПО "Стахановуголь", 3-й северный вентиляционный штрек пласта l_3) и может быть оценено расчетом по формуле:

$$U_0 = m (1 - 0,05 \sqrt[3]{h/m}), \quad (1.10)$$

где U_0 — ожидаемые оседания выработки, м; m — мощность подрабатываемого пласта, м; h — расстояние между выработкой и подрабатываемым пластом, м; h/m — кратность подработки: в условиях Донбасса колеблется в пределах 15 (шахта "Грузская" ПО "Макеевуголь", 1-ый восточный вентиляционный штрек пласта k_6) — 128 (шахта "Пролетарская-Глубокая" ПО "Макеевуголь", капитальный бремсберг пласта l'_8).

Активное влияние подработки, вызывающее обязательность ремонта, отмечается на расстоянии до 60 м выше пласта.

1.4. Характеристика деформаций выработок и массива горных пород

1.4.1. Общие положения. В забойной части выработки основными деформациями породных обнажений являются отслоение (шелушение) пород с толщиной слоя до 10 см; заколы — до 30 см и местные вывалы пород массой, обычно не превышающей 500 кг. Однако в отдельных случаях масса вывала в забойной части выработки может достигать и больших величин. Так, при сооружении вентиляционного квершлага гор. 418 м шахты им. газеты "Комсомолец Донбасса" ПО "Шахтерскантрацит" отдельные вывалы в забойной части имели массу 1000–2600 кг.

До возведения постоянной крепи замеренные смещения пород (суммарные) обычно не превышают 100–150 мм и связаны, главным образом, с ведением взрывных работ. При комбайновом способе сооружения выработки смещения замерами не фиксируются. После возведения постоянной крепи независимо от режима ее работы, происходит процесс "обжатия крепи", при котором смещения пород в пределах 35–80 мм (при монолитной бетонной крепи до 120 мм) компенсируется уплотнением забутовки или крепежного материала. Процесс "обжатия" при жестких металлических и металлобетонных крепях сопровождается начальными деформациями несущих элементов (в том числе смещениями их вдоль выработки, нарушением межрамных связей и замков крепи). Продолжительность процесса "обжатия крепи", относящегося к первичному горному давлению, непосредственно зависит от прочности вмещающих пород и качества работ. При удовлетворительном качестве работ по выемке породы продолжительность этого процесса составляет 0,5 мес. ($\sigma_{сж} < 40$ МПа) — 2 мес. ($\sigma_{сж} > 60$ МПа). Процесс "обжатия крепи" характеризуется значительной неравномерностью смещений по периметру выработки, что приводит к повышенной деформации породных обнажений и неравномерному развитию зон неупругих деформаций, ухудшает условия последующего поддержания выработок. В этих условиях обычно отмечаются вывалообразование и значительные выпуски пород при ремонте. Снижение отрицательного влияния процесса "обжатия крепи" достигается сокращением его продолжительности (возможно полной ликвидации) путем создания системы "крепь—порода" уже в начальный период сооружения выработки. Это обеспечивается применением способов охраны и рациональных конструкций временных крепей (в первую очередь — укрепляющих).

Последующие смещения пород непосредственно воздействуют на постоянную крепь. При правильно выбранных способах и средствах поддержания эти смещения могут быть прекращены, что обеспечивает при наименьших затратах эксплуатационное состояние выработки в течение срока ее службы.

Однако в большинстве случаев смещения не прекращаются, и достигают значений, превышающих технические возможности крепи, нарушают эксплуатационное состояние выработки и вызывают необходимость про-

изводства ремонта. На рис. 12 показаны деформации крепи отдельных выработок шахт им. Челюскинцев (рис. 12, а), им. М.И. Калинина (рис. 12, б), "Кировская" (рис. 12, в), им. А.Ф. Засядько (рис. 12, г) ПО "Донецкуголь" перед производством ремонта (продолжительность эксплуатации этих выработок после их сооружения 2–5 лет).

1.4.2. Влияние фактора времени на величину смещения пород в горных выработках. На основе многочисленных шахтных наблюдений [4, 5, 6, 9] установлен затухающий характер развития нагрузок на крепь и смещений пород в подготовительных и капитальных выработках, не подверженных влиянию очистных работ, т.е. при большом периоде наблюдений $t \rightarrow \infty$ смещения стремятся к конечной величине U_∞ .

Анализ результатов шахтных наблюдений и теоретических исследований [10] показал, что количественно оценить влияние времени t на величину смещений пород можно, пользуясь зависимостью:

$$U_t = U_\infty [1 - \exp(-a \sqrt{\sigma_{сж}} \sqrt{t})], \quad (1.11)$$

где $\sigma_{сж}$ — предел прочности пород на сжатие, МПа; U_t — величина смещений за период времени t , мм; a — эмпирический коэффициент, характеризующий учитываемое время t .

Значения коэффициента a для условий: $H=200 \div 1000$ м; $\sigma_{сж} = 25 \div 123$ МПа составили при времени t 0,017; 0,093; 0,325 соответственно в сутках, месяцах, годах.

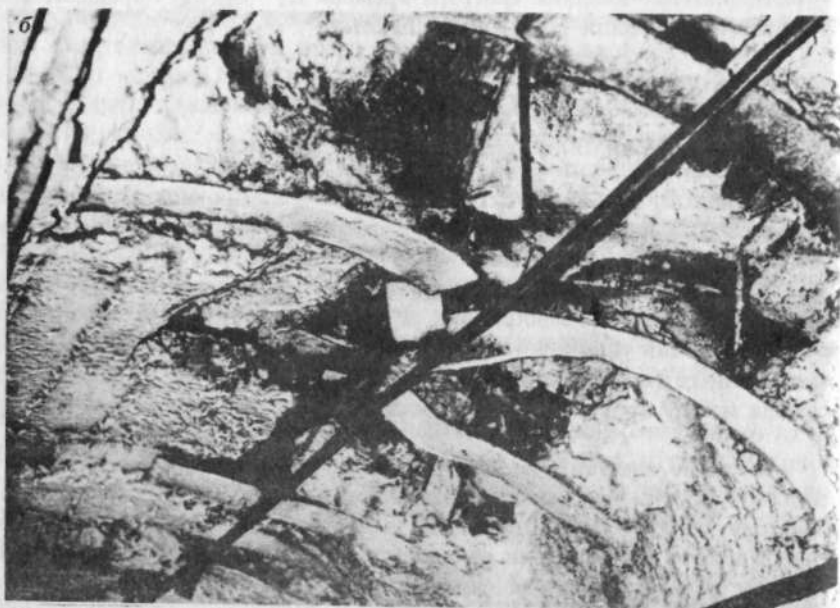
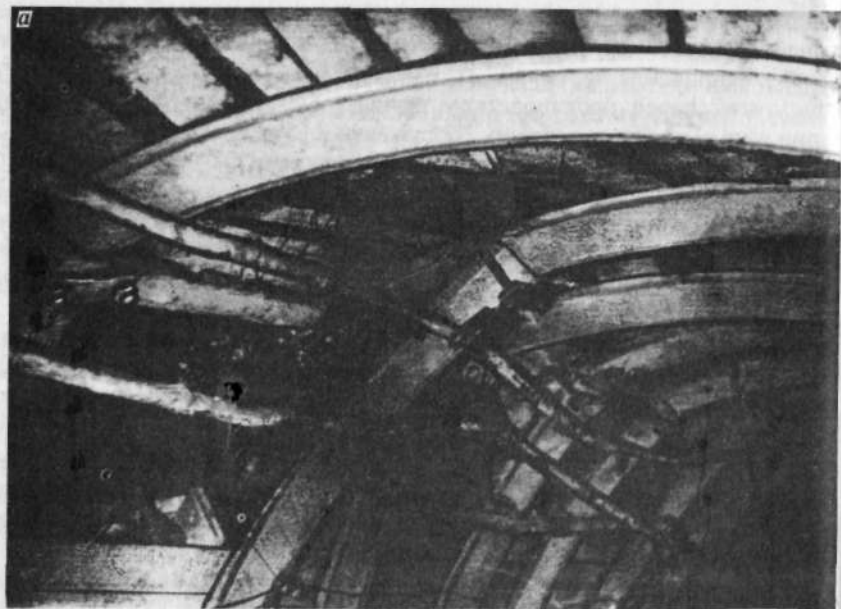
Коэффициент влияния фактора времени $K_t = U_t / U_\infty$ определится на основании зависимости (1.11) по формулам:

$$\begin{aligned} K_t &= 1 - \exp(-0,325 \sqrt{\sigma_{сж}} \sqrt{t}) \quad (\text{при } t - \text{в годах}); \\ K_t &= 1 - \exp(-0,093 \sqrt{\sigma_{сж}} \sqrt{t}) \quad (\text{при } t - \text{в месяцах}); \\ K_t &= 1 - \exp(-0,017 \sqrt{\sigma_{сж}} \sqrt{t}) \quad (\text{при } t - \text{в сутках}). \end{aligned} \quad (1.12)$$

Значения K_t при $t=30$ сут в зависимости от прочности пород изменяются от 0,25 до 0,6, т.е. до 60 % смещений пород контура выработки происходит в первый месяц после сооружения выработки.

Таким образом, по формулам (1.12) можно прогнозировать величины смещений пород за любой срок службы выработки, а также за период, предшествующий установке постоянной крепи ($U_t = K_t U_\infty$), и определить в конкретных горно-геологических условиях целесообразный разрыв во времени между проведением выработки и возведением постоянной крепи.

Численные значения эмпирического коэффициента " a " получены на основе обработки шахтных наблюдений, выполненных в вышеуказанном диапазоне условий. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении с целью установления величины " a " в зависимости от способа сооружения и скорости проведения выработки, ее формы поперечного сечения и направления относительно напластования, режима работы крепи и т.п.



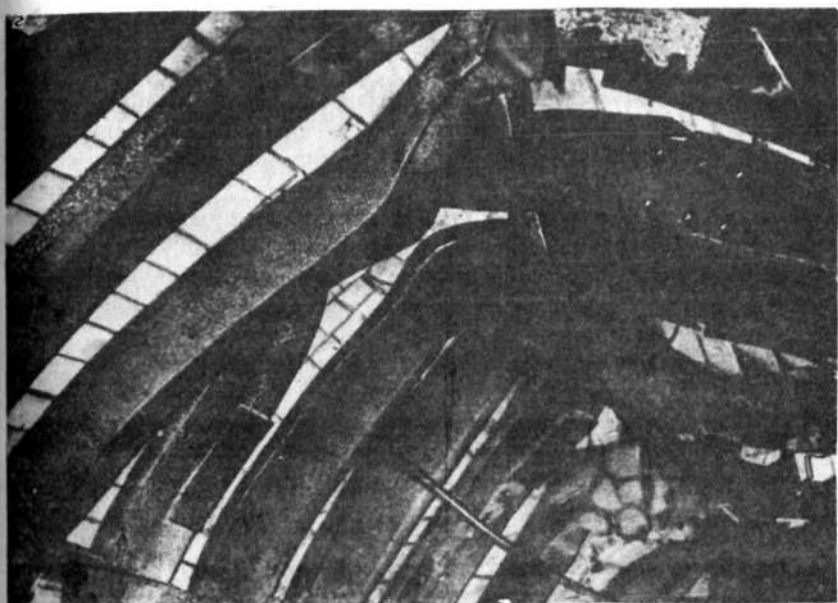
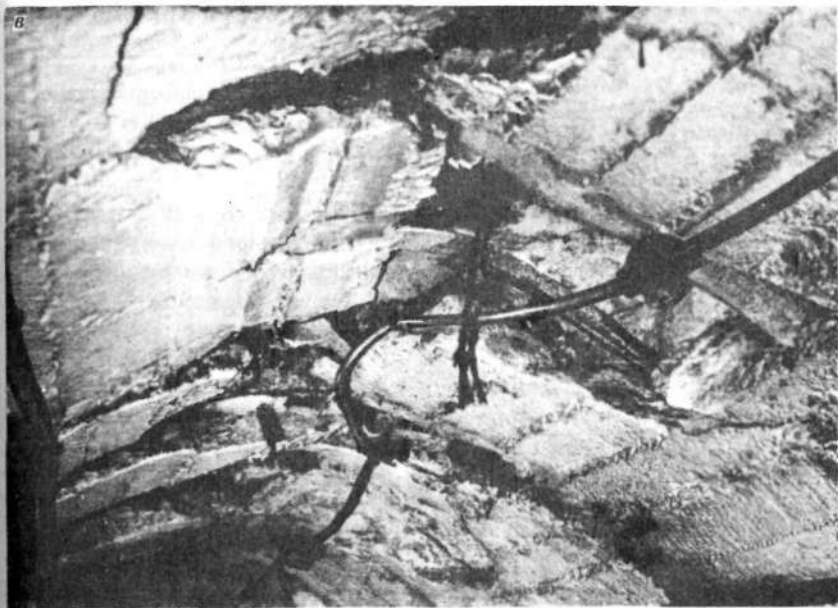


Рис. 12. Виды деформаций основных видов постоянной крепи глубоких шахт Донбасса: а — металлической податливой; б, в — металлобетонной; г — металлической жесткой

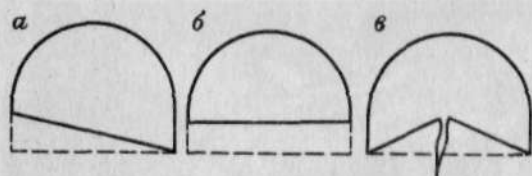


Рис. 13. Виды пучения пород почвы:

а — одностороннее; б — равномерное поднятие; в — поднятие с нарушением сплошности

1.4.3. Характеристика деформаций массива горных пород. Анализ состояния выработок (вне зоны непосредственного влияния очистных работ) глубоких шахт Донбасса показывает, что первопричиной нарушения их эксплуатационного состояния являются смещения пород: почвы (45 %); кровли (35 %); боков (15 %); всесторонние смещения пород (5 %).

Смещения пород почвы (пучение) — геомеханический процесс, вызывающий изменение проектного положения пород в почве выработки. Пучение отрицательно влияет на режим работы подземного транспорта, вентиляции и вызывает интенсивную деформацию крепи. Противостоять этому процессу путем применения крепи (в том числе замкнутой конструкции) практически невозможно, так как любая ее несущая способность в пределах достигнутой (до 250 кН/м^2) оказывается недостаточной и в конечном счете требуется ремонт. В зависимости от характера смещений пород почвы можно выделить три основных вида пучения (рис. 13).

1. *Одностороннее* (рис. 13, а), характерное для любых условий, залегания пород (кроме пологого) и выработок, пройденных по простиранию.

2. *Поднятие почвы* (рис. 13, б), обычное для любого направления выработки относительно напластования при пологом залегании пород, и для выработок, пройденных вкрест простирания, независимо от условий залегания.

3. Для крепких пород ($\sigma_{сж} = 61 \text{ МПа}$ и более), независимо от направления выработки относительно напластования и условий залегания пород характерно *складкообразование* (рис. 13, в), при этом пучение обычно сопровождается нарушением сплошности массива. Образование разрывов сплошности наблюдается при высоте складки — 0,25–0,3 м.

Независимо от характера пучения величина его до 0,2 м практически не оказывает влияния на эксплуатационное состояние выработки. При величине пучения 0,2–0,5 м нарушаются работа транспорта и вентиляции, а при больших значениях возникает необходимость ремонта крепи.

Трудоемкость работ по ликвидации последствий пучения составляет 30 чел.-мин на выемку 1 м^3 породы, а с перестилкой рельсового пути достигает 60 чел.-мин.

Затраты на ликвидацию последствий пучения пород почвы выработки составляют в зависимости от их прочности на сжатие 8–12 руб/ м^3 (без перестилки пути), достигают 25 руб/ м^3 при перестилке пути и 50 руб/ м^3 при восстановлении крепи.

Таблица 5

Пучение	Смещения, мм	Максимальная интенсивность, мм/мес	Расстояние от забоя, м	Затраты на ликвидацию последствий пучения, % от стоимости крепи. Не более
Слабоинтенсивное	Не более 200	30	50	10
Интенсивное	200–600	150	5–20	30
Весьма интенсивное	Более 600	600	до 5	50

В зависимости от начала процесса пучения относительно проходческого забоя, конечной величины и интенсивности, его можно классифицировать следующим образом (табл. 5).

Прогнозная оценка возможных смещений пород почвы выработки может производиться по зависимости ДонУГИ [11].

$$U_{\text{п}} = \rho \sqrt{B h \left(e^{\frac{0,85 \gamma H - 15 \left(\frac{\sigma_{\text{сж}}}{\sigma_0} \right) q_6}{m \sigma_{\text{сж}}}} - 1 \right)}, \quad (1.13)$$

где B и h — соответственно ширина и высота выработки в черне, см; $\sigma_{\text{сж}}$ — прочность пород на сжатие, МПа; σ_0 — прочность условной породы, равная 30 МПа; m — коэффициент стойкости пород (см. табл. 1); γ — удельный вес пород, МН/м³; H — глубина расположения выработки, м; q_6 — несущая способность (отпор) боковых элементов крепи, установленной в данной выработке, МН/м²; ρ — эмпирический коэффициент, зависящий от прочности пород почвы на сжатие: при прочности пород на сжатие до 40 МПа — 0,3; 40–60 МПа — 0,22; более 60 МПа — 0,11.

Допустимые смещения пород почвы, если это не нарушает вентиляционный режим выработки, в выработках, оборудованных рельсовым транспортом, составляют 200 мм, а в выработках с конвейерным транспортом — 400 мм.

С учетом этих данных и значений, полученных по формуле (1.13), можно оценить возможное состояние выработки, а используя данные табл. 5 — целесообразность ремонта или дополнительных мероприятий по предупреждению пучения.

Вероятность пучения может быть прогнозно оценена по формуле

$$B_p = \frac{nm \sigma_{\text{сж}}}{\gamma H}, \quad (1.14)$$

где B_p — расчетное значение ширины выработки в черне, при которой породы почвы находятся в условиях предельного равновесия, м; n — коэф-

фициент, характеризующий направление выработки относительно напластования (по простиранию $n=1,22$; под углом к простиранию — 1,4, вкрест простирания — 1,6).

Сопоставление расчетного значения ширины выработки с проектным вчерне (B_{ϕ}) дает оценку возможности пучения, которое неизбежно при $B_p \geq B_{\phi}$.

В слабых породах ($\sigma_{сж} \leq 40$ МПа) хорошие результаты прогноза вероятности пучения дает зависимость [11]

$$B_p = 0,71/(\gamma H/m \sigma_{сж} - 0,2)^{\frac{3}{4}}, \quad (1.15)$$

если принять за допустимую величину пучения пород почвы — 0,2 м.

Вывалообразование. Выпадение в горную выработку отделившейся от массива части пород или полезного ископаемого оказывает динамическое воздействие на поддерживающую конструкцию (крепь). В силу кратковременности действия значительной массы породы на крепь она деформируется, что часто сопровождается самопроизвольным погашением выработок (завалами). Ликвидация завалов по трудоемкости работ, их продолжительности, повышенной опасности является наиболее сложным видом работ по обеспечению эксплуатационного состояния выработок.

Сопоставляя приведенные данные с несущей способностью различных конструкций крепи [7] и расчетными значениями ожидаемых нагрузок на постоянную крепь [4], можно отметить, что примерно в 40 % случаев нагрузка на крепь от вывала превышает ее несущую способность, выбранную с учетом ожидаемых нагрузок, полученных расчетным путем, в том числе и с применением инженерных методов. Это вызывает необходимость учета (своего рода — проверочный расчет) возможной нагрузки от вывала при выборе конструкции крепи и ее параметров. Известные положения учета возможной нагрузки от вывала [12] дают заниженные результаты, что в определенной мере объясняется применением только одной (сводчатой) формы вывалообразования.

Для предупреждения деформирующего действия вывала были проведены исследования, направленные на прогнозную оценку возможности его образования и возникающей при этом нагрузки.

Вывалообразование возможно в результате развития трещинообразований при ведении горных работ (в том числе и очистных), воздействии внешних факторов (ведение массовых взрывных работ, выброс породы, горный удар и т.п.), а также некачественного крепления выработок.

Нагрузка, создаваемая вывалом, характеризуется его формой и высотой в направлении оси вывала. Ось вывала AC (рис. 14) — линия, проходящая через его центр тяжести. В зависимости от ее направления относительно горизонтальной плоскости (угол β) следует разделить: косонаправленный вывал (рис. 14, а) — $\beta = 31 \div 60^\circ$ и прямой вывал (рис. 14, б) — $\beta = 61 \div 90^\circ$. Вывал с $\beta < 30^\circ$ (пологий) встречается редко. Отдельные случаи таких вывалов связаны с некачественным ведением горных работ,

главным образом буровзрывных, но существенного влияния на состояние выработок они не оказывают. Их влияние проявляется при ремонтах, связанных с выпуском породы (если они выполняются без предварительного укрепления пород) и необходимости закладки и образовавшихся при этом пустот. Однако в процессе развития полного вывала, возможно его отрицательное действие (за счет разрыхления пород) на боковые элементы крепи.

Сопоставление деформационного состояния боковых элементов крепи и массы пологого вывалообразования (оценка проводилась при ремонте штрека гор. 758 м шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" и полевого штрека гор. 970 м шахты им. Н.А. Изотова, ПО "Артемуголь") позволяет оценить деформирующие усилия, как соответствующие 20–25 % веса пород, заключенных в вывалообразовании. При косонаправленном вывале на крепь действует 50–75 % веса пород, заключенных в пределах его границ.

С точки зрения деформационного состояния крепи направленность вывалообразования практического значения не имеет.

Однако этот показатель окончательно не изучен, и предположение, что косонаправленный вывал (может быть и пологий) в меньшей степени влияет на устойчивость крепи, недостаточно обоснованно. Поэтому для снижения погрешности проверочный расчет крепи на устойчивость от воздействия вывала (учитывая динамический характер его проявления) следует вести, предполагая возможность прямого вывалообразования.

Параметры вывалообразования — направленность, высота h_1 , ширина B_1 и длина по продольной оси выработки — зависят от горно-геологической характеристики породного массива, характера воздействия на него горных работ, качества их выполнения и поэтому единого критерия не имеют.

На данном этапе можно констатировать, что направленность вывалообразования характеризуется направленностью трещинообразования, что, в свою очередь, характеризуется зонами повышенных напряжений.

Так, в оближенных выработках преимущественно наблюдаются косо-

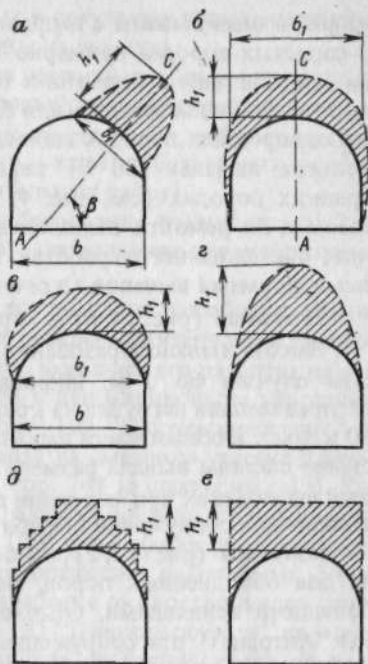


Рис. 14. Формы вывалообразования:

а — при косонаправленном вывале; б — при прямом вывале; в, г, д, е — при прямом вывале для различных горно-геологических условий (B , h и т.д.)

направленные вывалы с направлением оси в сторону смежной выработки. В слоистых породах примерно 70 % вывалов характеризуется направлением оси, близким к нормали и только до 30 % вывалов имеют ось, направленную по напластованию или близкую к нему. В слабых и средней крепости однородных породах наблюдаются преимущественно прямые вывалы. Пологие вывалы (80 %) зафиксированы в однородных относительно крепких породах (см. рис. 4). Анализ паспортов восстановления выработок и их ремонта, выполняемого с выпуском породы, а также результаты обследований выработок позволяют сделать заключение, что основными формами вывалов (в сечении выработки) являются:

сводчатая (рис. 14, в) — характерная для однородных сухих пород.

Высота вывалообразования h_1 обычно не превышает 1,5 м, в большинстве случаев до 1 м. Ширина $b_1 = 0,3 \div 1,2B$. Наибольшая равномерно распределенная нагрузка на крепь при данной форме вывала не превышает 30 кН/м², а общая масса вывала — 4–8 т на 1 м длины выработки. Превышение ширины вывала размера B преимущественно наблюдается в пластовых выработках при залегании в кровле слабых и средней крепости пород, а также при сооружении выработок по контакту разнопрочных пород;

конусная (рис. 14, г), наиболее распространенная, особенно характерна для обводненных пород. Высота конусного вывала характеризуется большими величинами, обычно более 2 м. На шахте "Комсомольская" ПО "Антрацит" при сооружении квершлага гор. 985 м в трещиноватых песчаниках высота конусных вывалов составляла 3,2 — 6,8 м; на шахте "Комсомолец Донбасса" ПО "Шахтерскантрацит" высота конусных вывалов на участке действующего вентиляционного квершлага гор. 418 м составляла 6–9 м и т.д. Ширина конусного вывала обычно не превышает размер B . Наибольшая равномерно распределенная нагрузка на крепь при данной форме вывала достигает 120 кН/м², а общая масса вывала, приходящаяся на 1 м длины выработки — 50 т;

ступенчатая (рис. 14, д) — характерна для слоистых пород при толщине слоев до 0,5 м и слабой связи между ними. С несущественным допущением эта форма может быть отнесена к конусной, но она имеет характерную особенность: нестабильность, значительное распространение по длине выработки, что затрудняет выполнение восстановительных работ. Ширина ступенчатого вывала обычно не превышает размера B , а высота — 3 м. Наибольшая нагрузка на крепь при этой форме вывала достигает 50 кН/м², а общая масса вывала, приходящаяся на 1 м длины выработки — 12 т;

призматическая (рис. 14, е) — характерна для трещиноватых пород (в том числе — в зонах геологических нарушений) и относительно слабых пород, расположенных под слоем крепких пород. Ширина вывалообразования составляет $(0,5-1,2)B$, а высота до 8 м. Наибольшая равномерно распределенная нагрузка на крепь при этой форме вывала составила 140 кН/м², а общая масса вывала, приходящаяся на 1 м длины выработки — 60 т.

По характеру поведения образованных в результате вывала породных обнажений вывала могут быть подразделены на два вида:

стационарные — вновь образованные породные обнажения, относительно устойчивые, форма и размеры вывалообразования стабильные;

развивающиеся — породные обнажения неустойчивы, наблюдается развитие их деформаций, возможны повторные вывалообразования, особенно при производстве ремонта (восстановительных работ).

По длине выработки размер вывалообразования изменяется от 2 до 25 м. Наиболее часто (до 80 % вывалов) эта величина характеризуется значениями 2—10 м.

При развивающихся вывалах размер его по длине выработки обычно не стабилен и производство любого вида ремонта, связанного с заменой крепи или отдельных ее несущих элементов, вызывает его развитие на значительную длину. Так, при разборе завала в вентиляционном квершлагге гор. 418 м шахты "Комсомолец Донбасса" ПО "Шахтерскантрацит" на участке длиной 15 м произошел новый завал на смежном участке длиной 25 м. При расширении штрека пласта h_{10} гор. 741 м шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" наблюдалось развитие вывала в направлении, противоположном направлению ремонта. При этом общая протяженность участка ремонта составила 50 м при первоначально намечаемых 30 м. При ремонте бетонной крепи в горной выработке околоствольного двора гор. 916 м шахты им. Ф.Э. Дзержинского ПО "Дзержинскуголь" на участке протяженностью 10 м возникло аварийное состояние крепи во всей длине выработки (224 м).

Таким образом, при развивающемся вывалообразовании его размер по длине выработки практически не прогнозируется. Особое значение при развивающихся вывалообразованиях и необходимости ремонта имеет усиление крепи на смежных с ремонтируемым участках выработки или укрепление массива (возможно и сочетание этих мероприятий). Методические положения решения этого вопроса рассмотрены в гл. 4.

Исследование вывалообразования позволило установить основные параметры, определяющие условия работы постоянной и временной (забойной) крепей.

Обработка результатов шахтных наблюдений, в том числе анализа объемов породы (массы вывалообразования), выпускаемой при ремонтах в действующих выработках, методами математической статистики позволила получить общую эмпирическую зависимость, отражающую связь между нагрузкой на крепь от вывала и технической характеристикой среды. При одинаковом общем виде этой функции коэффициенты, входящие в нее, будут различны для выработок с различными шириной, формой обнажения кровли, текстурой пород, направлением относительно напластования, а в случае временной крепи — способом сооружения.

Для оценок равномерно распределенных нагрузок на крепь (H/m^2) от предполагаемого вывалообразования в период эксплуатации выработки рекомендуется следующая зависимость:

$$P_{\text{выв}} = \delta \gamma_1 B \left(a \frac{\gamma H}{m \sigma_{\text{сж}}} - b \right), \quad (1.16)$$

где δ — коэффициент формы кровли (при плоском обнажении — 1, при криволинейном — 0,7); B — ширина выработки в черне, м; a — коэффициент текстуры пород: однородные породы — 1; слоистые породы — 4,5; трещиноватые — 5; b — коэффициент характеризующий направление выработки относительно напластования: вкrest простирания — 1,1, под углом к простиранию — 1,05, по простиранию — 1; m — коэффициент стойкости (из табл. 1); γ — удельный вес пород, МН/м³; γ_1 — удельный вес деформированных пород, равный 0,017 МН/м³; H — глубина расположения выработки, м; $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа.

При оценке нагрузки от вывалообразования на крепь наклонной выработки значение глубины следует принимать большее.

В забойной части выработки нагрузка на временную крепь вызывается вывалообразованиями, возможная величина которых достаточно точно может быть оценена зависимостью:

$$P_3 = \delta \gamma_1 B \left(\frac{\gamma H}{\sigma_{\text{сж}}} - K \right), \quad (1.17)$$

где K — коэффициент, характеризующий способ проведения выработки, для комбайнового — 0,3; с применением буровзрывных работ — 0,25.

Влияние способа проведения выработки на устойчивость породных обнажений данной выработки наблюдается в течение 8—12 мес. после ее проведения. В последующий период эксплуатации выработки способ ее проведения, характер развития и величины смещений пород на состояние выработки практического влияния не оказывают, в том числе и при поддержании выработки только за счет применения крепи, независимо от режима ее работы.

Расчетные значения возможной нагрузки на постоянную и временную крепь достаточно близки к фактическим, отклонения не превышают 10 %, что позволяет рекомендовать указанные зависимости для практического применения по прямому назначению, а также для оценки возможного объема пород, выпускаемых при ремонте, и дополнительных работ по ликвидации образовавшихся при этом пустот.

Оценку возможности вывалообразования в конкретных горно-геологических и технических условиях следует производить по критерию устойчивости (см. п. 1.7) или по изложенной ниже методике прогнозной оценки смещений пород кровли.

Смещения пород кровли и боков выработки. Инструментальные наблюдения за смещением породных обнажений в выработках различного назначения и направления относительно напластования пород проводились в широком диапазоне горно-геологических и технологических условий, встречающихся на шахтах Донбасса. Прочность пород на сжатие в пределах

участков закладки замерных станций изменяли от 35 МПа (шахта им XXII съезда КПСС, ПО "Стахановуголь") до 140 МПа (шахта им. К.И. Поленкова, ПО "Макеевуголь"), глубины расположения выработок 418 м (шахта Комсомолец Донбасса, ПО "Шахтерскантрацит") — 1208 м (шахта им. Бажанова, ПО "Макеевуголь"). Характер развития смещений пород кровли и боков в выработку в начальный период (см. рис. 2) в значительной степени зависит от прочности и строения пород, режима работы постоянной крепи, способа проведения выработки и качества проходческих работ.

Особую важность при выборе способов поддержания и, в первую очередь, вида постоянной крепи имеет прогнозная оценка ожидаемых смещений пород.

Сопоставление результатов инструментальных наблюдений за смещениями пород и результатов, полученных по различным методикам прогноза возможных их величин, показывает, что наиболее близкие к фактическим расчетные значения дает методика ДонУГИ [13], скорректированная введением коэффициента стойкости.

Эта методика является аналитико-экспериментальной, в которой структура расчетной зависимости определяется аналитически с использованием теории размерностей и механики сплошной среды, соответствует механизму явления и связывает параметры крепи (несущую способность, податливость) с глубиной заложения выработки и прочностью вмещающих пород. Аналитическая зависимость корректировалась эмпирическими коэффициентами, значения которых находились по результатам инструментальных наблюдений.

Смещения пород в соответствии с принятым механизмом явления (расчетная схема Р. Феннера—А. Лабасса) связаны с образованием вокруг выработки зон неупругих деформаций. Крепь с жестким режимом работы, возводимая вблизи проходческого забоя, не может ни сопротивляться этим смещениям, ни препятствовать им. Ниже показано, как увеличение несущей способности крепи влияет на уменьшение сечения выработки:

Несущая способность крепи, кН/м ²	50	100	200	300
Остаточное сечение, %	62	68	72	79

Увеличение несущей способности в 6 раз увеличило остаточное сечение всего на 17 %.

Податливая крепь "уходит" от смещений, способствуя образованию зоны неупругих деформаций. Вместе с тем податливая крепь должна создавать достаточный подпор смещающимся породам, иначе неограниченное образование зоны неупругих деформаций может привести к нарушению эксплуатационного состояния выработки.

Согласно методике ДонУГИ, величина смещений пород со стороны кровли выработки при угле залегания пород 35° может быть определена по зависимости:

$$U_{кр} = 0,1 B \left[e^{\frac{\gamma H - 10 \left(\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_0} \right)^2 q_{кр}}{m \sigma_{сж}}} - 1 \right], \quad (1.18)$$

а при угле залегания более 35° :

$$U_{кр} = 0,12 B \left(\frac{\gamma H}{m \sigma_{сж}} - 0,28 \right), \quad (1.19)$$

где $U_{кр}$ — смещения пород кровли, см; σ_0 — предел прочности условий породы, равный 30 МПа; $q_{кр}$ — несущая способность (отпор) крепи, МН/м².

Величина смещения пород со стороны боков выработки

$$U_б = 0,07 h \left(e^{\frac{0,85 \gamma H - 15 (\sigma_{сж}/\sigma_0)^2 q_б}{m \sigma_{сж}}} - 1 \right), \quad (1.20)$$

где $\sigma_{сж}$ — прочность пород на сжатие, МПа; $q_б$ — несущая способность (отпор) боковых элементов крепи, кН/м².

Для большинства горно-геологических условий поддержания горизонтальных и наклонных выработок

$$U_б = (0,6-0,8) U_{кр}. \quad (1.21)$$

Анализ результатов инструментальных наблюдений и прогнозных оценок величин смещений пород в выработку позволили установить их зависимость от направления выработки относительно напластования. Направление характеризуется расположением выработки по отношению к простиранию пород. При этом для унификации возможного расположения выработки в породном массиве рекомендуется принимать: *по простиранию* — угол, образуемый продольной осью выработки и линией простирания породной толщи $0-30^\circ$; *под углом к простиранию* $< -31-60^\circ$; *вкрест простирания* — $61-90^\circ$.

В указанных пределах изменение угла направления выработок относительно простирания пород вызывает незначительные изменения в состоянии выработок, характеризуемого изменением затрат на поддержание до 2–4 % (меньшее 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. Зависимость величин смещения пород в выработку (характеристика устойчивости), так же как и нагрузки на крепь (необходимая несущая способность крепи) от направления выработки относительно напластования, представлена в табл. 6.

Расположение выработки относительно простираия (напластования) пород	Относительное увеличение смещений по- род (нагрузок на крепь) при залегании:		
	пологом	наклонном	крутонаклон- ном и крутом
Вкрест простираия	1	1	1
Под углом к простираию	1,15	1,2	1,3
По простираию	1,2	1,3	1,6

В условиях наклонного и особенно крутонаклонного и крутого залегания преобладающие смещения (при относительно однородных породах) направлены близко к нормали. При этом в условиях пологого и наклонного залегания (шахты им. А.Ф. Засядько, гор. 529 м; им. Челюскинцев, гор. 800 м, ПО "Донецкуголь", им. А.Г. Стаханова, гор. 985 м, ПО "Красноармейскуголь") абсолютные величины смещений (в соответствующих условиях) практически одинаковы. В условиях крутого залегания (шахты "Кочегарка", гор. 970 м, им. Н.А. Изотова, гор. 870 м, ПО "Артемуголь"; им. XXII съезда КПСС, гор. 913 м, ПО "Стахановуголь") при аналогичных условиях (примерно одинаковы глубина расположения выработок, прочность и строение вмещающих пород, форма поперечного сечения и размеры выработок) абсолютные смещения пород на 10–12 % превышают значения, полученные в условиях пологого и наклонного залегания.

В условиях крутонаклонного и крутого залегания пород в наклонных выработках наблюдается явление "сползания" пород, (см. п. 1.7), вызывающее необходимость ремонта, а в ряде случаев восстановления.

Инструментальными наблюдениями установлены величины смещений (мм), которые воспринимаются различными конструкциями крепи без потери их работоспособности, т.е. без нарушения эксплуатационного режима работы данной выработки

бетонная крепь	100 – 120
металлобетонная крепь	60 – 80
набрызгбетонная крепь	100
металлическая жесткая крепь	80
металли	
смешанная рамная крепь	60

При бетонной крепи смещения пород до 120 мм вызывают появление косонаправленных трещин (непересекающихся), что практического влияния на работоспособность этого вида крепи не оказывает. Более того, появление отдельных трещин как бы способствует переходу крепи из жесткого в шарнирный режим работы, обеспечивая выравнивание нагрузок по периметру.

При металлобетонных креплениях величины смещений 60–80 мм вызывает отслоение бетона и появление в нем трещин, однако несущая способность крепи при этом сохраняется.

При установке металлических элементов без забутовки и практически одновременном возведении бетона (разрыв во времени выполнения этих работ 3–5 суток) опасные деформации крепи уже наблюдаются при величинах смещений 40–50 мм.

Приведенные результаты могут быть использованы при оценке конструкции крепи для конкретных горно-геологических и технических условий поддержания выработок, в том числе и при прогнозной оценке возможных смещений, а также выбора способов охраны в случае необходимости их применения.

Важным результатом инструментальных исследований является оценка величин смещений, характеризующих начало формирования вывалообразования в зависимости от прочности пород. Это положение позволяет оценить возможность образования вывала в данных условиях и время начала этого процесса. Последнее позволяет обосновать необходимость дополнительных мероприятий (например, укрепление пород) и время их выполнения.

Исследования проводились в широком диапазоне условий (шахты им. А.Ф. Засядько, гор. 529 м; им. М.И. Калинина, гор. 758 и 1070 м; шахтоуправление "Октябрьское", гор. 741 и 995 м; им. А.А. Скочинского, гор. 1200 м; ш/у им. газеты Социалистический Донбасс, гор. 705 и 814 м (ПО "Донецкуголь"); им. А.Г. Стаханова, гор. 986 м (ПО "Красноармейскуголь"); Кочегарка, гор. 750 и 860 м; им. Артема, гор. 860 и 980 м; им. Изотова, гор. 870 и (ПО "Артемуголь"); им. Ильича, гор. 710 м (ПО "Стахановуголь"); "Ворошиловградская" № 1, гор. 451, 530 и 703 м (ПО "Ворошиловградуголь"); "Чайкино", гор. 651 м; им. К.И. Поченкова, гор. 915 м (ПО "Макеевуголь"); "Комсомольская", гор. 960 м (ПО "Антрацит"); "Комсомолец Донбасса", гор. 311 м (ПО "Шахтерскантрацит"); "Суходольская", гор. 532 м (ПО "Краснодонуголь"); "Нагольчанская № 1–2", гор. 690 м (ПО "Антрацит"); "Кременная", гор. 760 и 838 м; "Новодружеская", гор. 840 и 920 м; "Привольнянская", гор. 840 и 950 м; им. Г.Г. Капустина, гор. 740 м; им. Д.Ф. Мельникова, гор. 668 и 730 м; им. 60-летия Советской Украины, гор. 516, 590 и 660 м; "Матросская", гор. 525 м (ПО "Лисичанскуголь"); "Тошковская", гор. 486 м; "Горская", гор. 700 и 800 м (ПО "Первомайскуголь"), при этом фиксировались смещения, при которых наблюдалось развитие пересекающихся трещин, отмечалось скачкообразное (весьма интенсивное) развитие нагрузок на крепь, а при ремонте значительные выпуски пород, характеризующие вывалообразование.

Ниже приведены величины критических смещений U в выработку однородных пород, при которых возможно вывалообразование в зависимости от прочности σ :

σ , МПа	40	40–60	>60
U , мм	140	120	90

В слоистых породах (толщина слоев до 0,5 м) $U=100$ мм при $\sigma \leq 60$ МПа и 80 мм при $\sigma > 60$ МПа.

Оценка возможности и времени вывалообразования производится следующим образом. По формулам (1.8) и (1.9) определяется величина ожидаемых смещений, затем с учетом характеристики пород принимают величину критических смещений и, определив значение коэффициента влияния фактора времени (отношение критических и расчетных смещений), с использованием зависимостей (1.12) оценивается время начала формирования вывала. Сопоставление результатов этого расчета со сроком службы выработки позволяет установить необходимость учета нагрузки на крепь от вывалообразования и выполнения дополнительных мероприятий.

Пример. Штрек гор. 748 м шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" шириной 4,5 м пройден по слоистым породам с прочностью на сжатие от 41 (глинистые сланцы) до 56 (песчанистые сланцы) МПа. Средневзвешенная прочность вмещающих пород – 50 МПа; $\gamma = 0,024$ МН/м³. Определить возможность вывалообразования, время его образования и ожидаемую нагрузку на крепь, если срок службы выработки 9 лет, породы увлажненные ($m=0,9$).

Решение. 1. Для указанных условий $U_{кр}=100$ мм.

2. Расчетные смещения пород оцениваются по зависимости (1.18)

$$U_{кр} = 0,1 \cdot 4,5 \left(e^{\frac{0,024 \cdot 748}{0,9 \cdot 50}} - 1 \right) = 0,276 \text{ м} = 276 \text{ мм.}$$

3. Значение коэффициента фактора времени определится из (1.11)

$$K_t = 100/276 = 0,362.$$

4. Определяем время возможного вывалообразования из (1.12), решая относительно t , принимая время в месяцах

$$0,362 = 1 - \exp(-0,093 \sqrt{500} \sqrt{t}),$$

$$t = 0,362 \text{ мес.}$$

5. Возможная равномерно распределенная нагрузка на крепь от вывала

$$P_B = 0,7 \cdot 0,017 \cdot 4,5 \left(e^{\frac{0,024 \cdot 748}{0,9 \cdot 50}} - 1 \right) = 41 \text{ кН/м}^2.$$

Замерные станции, заложенные в данной выработке, зафиксировали критические смещения через 10 дней. При ремонте выработки на каждом метре ее длины была выпущена порода весом 194 кН, что при ширине выработки 4,5 м соответствовало равномерно распределенной нагрузке на крепь от вывала 43 кН/м².

В табл. 7. приведены расчетные и фактические значения вывалов для различных условий заложения выработок.

Приведенные в табл. 7 результаты (по шахтам: им. Калинина, "Южнотондонбасская" № 3, "Красная Звезда" (ПО "Донецкуголь"), "Глубокая", "Чайкино-Глубокая" (ПО "Макеевуголь") и др.) показывают реальность практического использования предлагаемой методики и корректность получаемых при этом результатов.

Строение и предел прочности пород, МПа	Глубина заложения выработок, м	Расчетные смещения кровли выработок, мм	K_f	Время образования вывала, мес	Удельная нагрузка от вывала. кН/м ²	
					расчетная	фактическая
Однородные						
< 40	342	166,0	0,843	15,2	22	17
	407	162,8	0,860	13,1	18,2	16
	746	275,0	0,509	1,46	69	73
40–60	624	218,0	0,560	1,71	38,2	54
	758	177,1	0,677	2,47	23,3	21
	1070	343,8	0,349	0,64	61,7	47
> 40	758	147,7	0,609	2,60	13	9
	882	119,9	0,751	2,79	11	8
	988	137,0	0,657	1,41	6,4	4,1
Слоистые						
< 60	680	412,4	0,242	0,32	61	58
	748	276,0	0,362	0,58	41	43
	1070	366,0	0,273	0,235	57,8	52
> 60	758	143,3	0,536	1,07	15,9	14
	882	170,1	0,471	0,64	16,5	12,5
	1049	160,0	0,500	0,62	1,1	8

1.5. Факторы, влияющие на состояние породного массива и выработки

В ряде работ [6, 9, 14 и др.] приводится анализ причин деформаций породного массива и выработок. Обобщая результаты анализа причин, вызвавших деформации, в качестве основных можно выделить *несоответствие технической характеристики крепи*, в том числе и режима работы условиям ее применения. Следует иметь в виду, что ни одна из жестких конструкций крепи не может воспринять смещения пород, величина которых превышает 120 мм. Именно поэтому возведение жесткой крепи вблизи забоя, т.е. в зонах интенсивных и неравномерных смещений породных обнажений, приводит к их деформации и требует ремонта. Несоответствие направления наибольших смещений направлению податливости крепи приводит к интенсивным деформациям последней (см. рис. 12), а использование их в выработках, расположенных под слоем крепких пород (рис. 15), сопровождается полной деформацией. В этих условиях требуется не просто ремонт, а восстановление выработок.

Деформации крепи увеличивают неравномерность смещений пород в выработку, что ухудшает деформационное состояние массива.

Качество ведения горных работ (в том числе и крепление) играет существенную роль в последующем состоянии выработки и массива, так как в значительной степени определяет характер распределения на-



Рис. 15. Деформации металлической податливой крепи в капитальном уклоне гор. 1200 м шахты им. А.А. Скочинского ПО "Донецкуголь"

грузки на крепь и смещений пород по периметру выработки.

Анализ инструментальных наблюдений (см. п.1.2) показывает, что фактическая несущая способность крепи в среднем составляет 60 % от технической, изменяясь в пределах 20–80 %.

Ни в одном случае не было отмечено соответствия этих величин, а это не только повышенные деформации крепи, но и необоснованный (бросовый) перерасход крепежных материалов.

Низкое качество проходческих работ не только снижает устойчивость забойной части выработки, но и отрицательно влияет на последующее эксплуатационное состояние.

Неровности породного контура выработки вызывают возникновение зон повышенных напряжений и, как следствие, участков повышенной нарушенности; возникают новые неровности и т.д.

Анализ влияния скорости проходческих работ на последующее состояние выработок (при сроке эксплуатации 3 года и более) позволил установить их непосредственную связь (рис. 16). Независимо от режима работы постоянной крепи при относительно небольших скоростях проходческих работ стоимость поддержания выработок (в % от стоимости крепления) возрастает в 3–5 раз, что объясняется повторными нарушениями уже частично установившегося равновесного состояния породного массива. При скорости проходческих работ более 90 м/мес наблюдается, хотя и в меньших объемах (в 1,5–2 раза), возрастание затрат на поддержа-

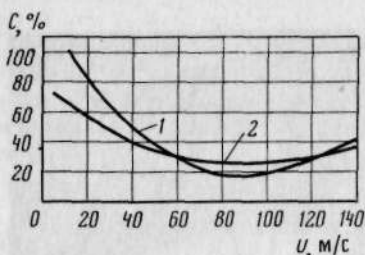


Рис. 16. Зависимость стоимости поддержания выработок C от скорости проходческих работ при режиме работы крепи:

1 — жестком; 2 — податливом

ние. Последнее может быть объяснено только качеством ведения горных работ. Анализ двенадцати скоростных проходок (во всех случаях с применением буровзрывных работ (БВР), постоянная крепь — металлическая податливая, скорость сооружения выработки — 120–140 м/мес) показывает, что при общем примерно равном числе переборов (увеличение их не превышало 10–12 %) абсолютная величина их (амплитуда — расстояние от проектного контура до образованного породного обнажения) в среднем была увеличена на 40–45 %, а в трех случаях — на 100–120 %.

Исследованиями Донецкого политехнического института установлено, что основное отрицательное влияние на устойчивость породных обнажений имеет не число нарушений (при равных амплитудах), а их амплитуда. Так, напряженное состояние в окрестностях неровности с амплитудой 0,5 м в 2–2,5 раза, выше, чем по остальной части периметра, имеющей шесть неровностей с амплитудами 0,1–0,2 м. При увеличении амплитуды неровности до 1 м различие в напряженном состоянии составляет 4–4,5 раза по сравнению с остальным периметром, имеющим шесть неровностей с амплитудами до 0,2 м.

При комбайновом способе проведения выработки указанная зависимость менее выражена. Однако общее число анализируемых выработок недостаточно для конкретных выводов. Можно только отметить, что при комбайновом способе проведения забойная часть выработки более устойчива, неровности практически отсутствуют (кроме условий сооружения выработок в зонах геологических нарушений, т.е. при повышенной трещиноватости пород), а при длительной эксплуатации данной выработки (2 года и более) характер и величины смещений в выработку аналогичны случаю сооружения ее с применением БВР.

Повторные нарушения установившегося равновесного состояния породного массива наиболее неблагоприятны для эксплуатационного состояния выработок. Они могут быть вызваны сооружением выработки вблизи поддерживаемой, ведением очистных работ, т.е. развитием горных работ.

По характеру взаиморасположения горных выработок, в том числе и очистных, в пространстве и во времени исключить воздействие этого фактора практически невозможно. Можно говорить только о снижении его отрицательного влияния, но этого достичь только за счет крепи нельзя.

Для этого необходимо искусственное управление породным массивом, т.е. применение способов охраны. Повторное нарушение установившегося равновесия наблюдается и при ведении ремонта; особенно это характерно для выработок, уже длительное время эксплуатируемых.

При длительных перерывах в процессе проведения или относительно малых скоростях проведения (до 40 м/мес) отрицательное влияние на последующее эксплуатационное состояние, особенно при сроках их поддержания более 3-х лет, наблюдается в выработках, проводимых с применением БВР независимо от вида постоянной крепи.

Непрекращающееся развитие смещений породного массива, что обычно наблюдается в зонах тектонических нарушений, характеризующихся повышенными напряжениями, или в пределах участков породного массива, находящегося под вышерасположенными целиками, до определенного времени характеризуется монотонным развитием и обычно сопровождаются вывалообразованиями, что требует длительной остановки выработки на период ее восстановления. В слабых с большим содержанием глинистых примесей, а в случае повышенной влажности и средней крепости породах, непрекращающиеся смещения характеризуются пластическим течением, противостоять которому с помощью постоянной крепи невозможно. В этих условиях способы укрепления пород результатов не дают, индивидуальное применение способов разгрузки (кроме предварительной надработки) малоэффективно. Эксплуатационное состояние выработок может быть обеспечено "выпуском" породы через специальные проемы в крепи, что требует дополнительных работ по ее уборке, а в отдельных случаях и отделением пород от массива, или применением комбинированного способа охраны, сочетающего разгрузку (искусственное рыхление) и последующее укрепление пород (см. п. 3.7).

Воздействие внешних факторов таких, как выбросы пород, ведение массовых взрывов, относительно кратковременно, но обычно сопровождается деформациями крепи и породных обнажений на значительных по длине участках выработки и требует выполнения больших по объему ремонтных, в том числе и восстановительных работ.

Обводненность пород. Основными водоносными горизонтами в каменноугольной толще Донбасса являются трещиноватые песчаные сланцы. Глинистые сланцы и угольные пласты практически не водоносные.

Средний коэффициент водообильности составляет 2,1 с колебаниями по районам 1,3–5, а по отдельным шахтам 0,5–13. Приток воды в шахту не является стабильным во времени и подвержен сезонным колебаниям. В 87,5 % шахт бассейна приток воды менее 200 м³/ч, максимальный приток достигает 860 м³/ч.

Шахтные воды в основном являются агрессивными с четко выраженной щелочной или кислотной реакцией. Однако это положение при проектировании и сооружении горных выработок обычно не учитывается. В техническом проекте строительства шахты лишь иногда приводятся данные по общекислотной агрессивности шахтных вод, оцениваемых

содержанием водородных ионов (pH), хотя этого явно недостаточно. В результате растут затраты на поддержание выработок.

Для оценки степени агрессивности шахтных вод используются строительные нормы (СН 249–83), согласно которым различают следующие виды агрессивности среды: временная жесткость (HCO_3^-) – агрессивность выщелачивания; содержание водородных ионов (pH) – общекислотная; содержание свободной углекислоты ($\bar{CO}_2$) – углекислая; содержание сульфатов (SO_4^{2-}) – сульфатная; содержание ионов магния (Mg^{2+}) – магниевая.

Руководствуясь строительными нормами, можно установить агрессивные свойства воды по отношению к типу применяемого цемента; выбрать цемент (например, при укреплении пород или применения монолитных крепей), обеспечивающий водостойкость бетона в данной среде; обосновать необходимость гидроизоляции крепи, когда агрессивность вод превышает установленные нормы.

Применение защитных мероприятий повышает начальные затраты на крепление (по материалу) в среднем на 12 %, но в 2–4 раза увеличивает срок службы данной крепи. Так как каждое перекрепление составляет 80 % и более первоначальных затрат, экономия от учета агрессивности среды будет достаточно высокой. Следует учитывать, что обводненность снижает прочностные характеристики пород, что отрицательно влияет на общую устойчивость породных обнажений. Согласно нашим исследованиям, потеря прочности обводненных пород составляет 5–30 % (см. табл. 1). Однако эти исследования не имели всеобъемлющий характер. Известны случаи, когда при насыщении водой прочность сланцев уменьшается в 1,5–2 раза.

Рассмотренные факторы являются обобщающими. Например, качество ведения горных работ включает: качество БВР, правильность установки несущих элементов крепи, качество забутовки закрепного пространства и т.п.

Не исключается совместное воздействие нескольких факторов, что не только повышает деформируемость породного массива и ухудшает эксплуатационное состояние выработки (их системы), но и затрудняет решение вопроса времени производства и характера ремонта, так как воздействие даже одиночного фактора весьма неоднозначно в различных горно-геологических и технических условиях.

1.6. Особенности геомеханических процессов в условиях геологических нарушений

Опыт строительства и эксплуатации шахт в Донбассе показывает, что более 15 % горных выработок проводят и поддерживают в сложных условиях, обусловленных наличием геологических нарушений (примерно 80 % таких выработок приходится на пластовые). Нарушенность шахто-

пластов возрастает в направлении с запада (Новомосковский угленосный район) на восток (Гуково-Зверевский угленосный район), при этом протяженность выработок, поддерживаемых в зонах геологических нарушений, изменяется с 8 % (ПО "Павлоградуголь") до 22 % (ПО "Гуковоуголь").

Восточные угленосные районы Донбасса характеризуются многообразием видов геологических нарушений. Особый интерес в этом плане представляет Гуково-Зверевский район, занимающий одно из ведущих мест в бассейне по добыче антрацитов. Его промышленное значение определяется большими запасами качественных энергетических углей.

Характерными нарушениями являются надвиги, сбросы, взбросы, флексурные складки, размывы, раздувы, пережимы, расщепления и перегибы пласта. Следует отметить, что встречаются сочетания геологических нарушений разных видов. Так, например, разрывным нарушениям часто сопутствуют флексурные складки, а размывам — пережимы, раздувы и расщепления пласта.

В зонах влияния геологических нарушений отмечается снижение скорости проходки в 2—3 раза и увеличение затрат на проведение и ремонт выработок в 1,5—2,5 раза, что обусловлено, главным образом, значительными вывалообразованиями с высотой до 4 м в забойной части выработки, связанными с интенсивной трещиноватостью породного массива.

Из общего объема геологических нарушений наиболее значительными являются разрывные нарушения (табл. 8).

В условиях разрывных нарушений поддерживается примерно 50 % горных выработок, в том числе 68 % пластовых, пройденных в геологических нарушениях, а удельный вес разрывных нарушений в затратах на ремонт достигает 70 %.

Таблица 8

Вид геологического нарушения	Доля в общем объеме, %	Часть деформированных выработок в объеме поддерживаемых, %	Доля пластовых выработок в общем объеме со- оружаемых и поддерживаемых, %
Расщепления пласта	11,4	66	85
Размывы	15,2	32	88
Пережимы	17,0	32	90
Перегибы	3,6	58	46
Флексурные складки	3,8	63	40
Разрывные нарушения,	49	86	68
в том числе:			
надвиги	9,6	91	66
сбросы	36,7	82	70
взбросы	2,7	79	59

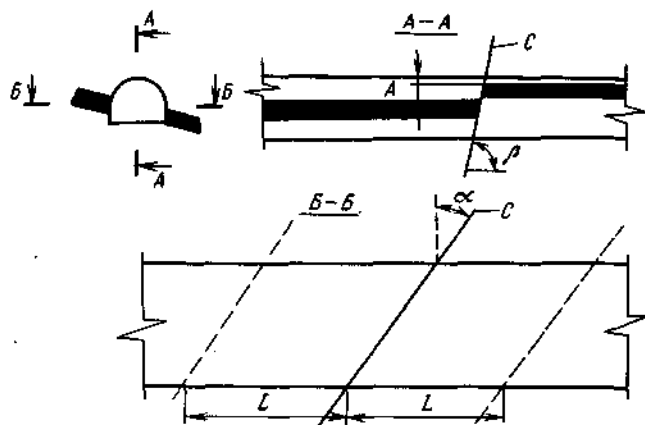


Рис. 17. Общая схема разрывного нарушения

Разведка угольных месторождений дает общие сведения о тектоническом строении участков. При этом разрывные нарушения с амплитудой до 5 м не фиксируются, а информация о нарушениях с амплитудой 5–10 м носит предположительный характер. Поэтому мелкоамплитудные нарушения не учитываются при подготовке шахтных полей, в результате чего большой объем выработок подвергается их влиянию. В этой связи практический интерес представляет оценка влияния разрывных нарушений с амплитудой до 10 м на условия проведения и поддержания выработок, в первую очередь, пластовых.

Разрывные нарушения характеризуются следующими параметрами (рис. 17): амплитуда A (стратиграфическая) — расстояние между перемещенными точками маркирующего слоя, измеренное по перпендикуляру; сместитель C — трещина, по которой произошло смещение; угол падения сместителя β — вертикальный угол, образованный сместителем и горизонтальной плоскостью; линия сместителя L_c — линия пересечения сместителя с поверхностью земли; угол встречи нарушения с линией подвигания забоя α — угол между линией сместителя и нормалью к выработке; L — зона влияния нарушения. Размеры зон влияния разрывных нарушений (участки повышенной нарушенности массива) в значительной степени зависят от амплитуды нарушения и угла встречи нарушения от линии подвигания забоя и определяют протяженность участков выработок, в пределах которых необходимо применять дополнительные мероприятия, направленные на повышение устойчивости породных обнажений.

В этой связи были проведены шахтные исследования по оценке степени нарушенности породных обнажений по обе стороны от линии сместителя. Обработка результатов наблюдений производилась с помощью структурных диаграмм. На рис. 18 представлены (для примера) розыдиаграммы трещиноватости по откаточному штреку № 617 шахты "Октябрьская" (ПО "Туковуголь") в зоне влияния сброса с амплитудой 3 м. Исследования показали, что по обе стороны от сместителя наблюдается

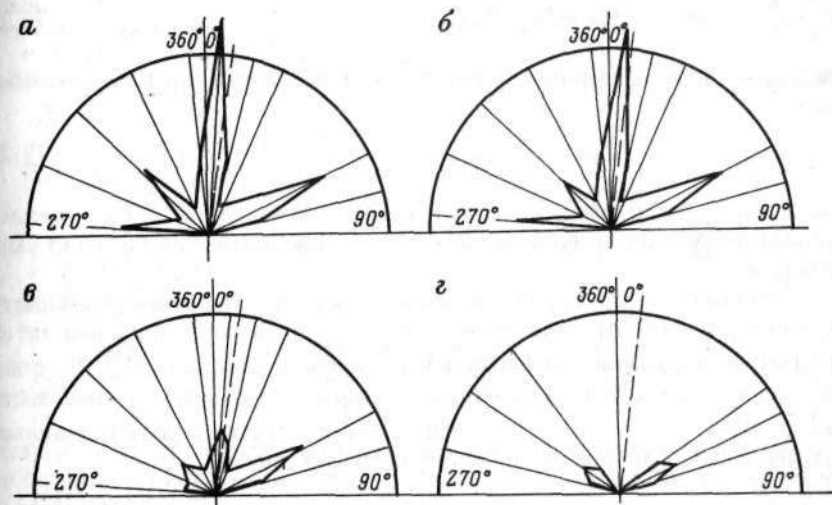


Рис. 18. Роза-диаграммы трещиноватости по откаточному штреку № 614 шахты "Октябрьская" в зоне влияния взброса с амплитудой 3 м на расстоянии от сместителя:

а — 2 м; б — 12 м; в — 22 м; г — 42 м

значительная трещиноватость угля и вмещающих пород. Причем, это происходит как за счет увеличения числа систем трещин, так и за счет увеличения числа трещин в системе. Преобладающая система трещин, имеющая наибольшее число хорошо выдержанных по простиранию и углу падения трещин, ориентирована параллельно плоскости сместителя с увеличением частоты с 4 м^{-1} (20 м от сместителя) до 20 м^{-1} на расстоянии 3 м от него. Это трещины имеют ширину раскрытия 2–20 мм, многие из них заполнены кальцитом. Вторая группа трещин направлена перпендикулярно к сместителю. Изменение частоты этих трещин в 3–4 раза меньше, ширина раскрытия — не превышает 10 мм. Менее выраженная и менее интенсивная система трещин, направленная под углом к сместителю. Их раскрытие не превышает 3–4 мм, а прослеживаются они на расстоянии до 20 м от сместителя.

Протяженность участков повышенной трещиноватости, прилегающих к сместителю, зависит от амплитуды нарушения. С увеличением амплитуды нарушения увеличивается размер зоны его влияния. Характер изменения интенсивности трещиноватости (по данным исследований в выработках шахт: "Алмазная", Гуковская, Ростовская, Центральная, Донецкая ПО "Туковуголь" [15]) по обе стороны от сместителя идентичен.

Количественную оценку изменения нарушенности (трещиноватости) породных обнажений вблизи разрывных нарушений можно производить по показателю нарушенности

$$\Pi_H = S_{\text{тр}}/S_{\text{об}}, \quad (1.22)$$

где $S_{\text{тр}}$ — площадь трещин породных обнажений боков и кровли выработки, м^2 ;

$$S_{\text{тр}} = \Sigma l_{\text{тр}} \Delta C_p, \quad (1.23)$$

где $\Sigma l_{\text{тр}}$ — суммарная длина трещин на обнажении, м; ΔC_p — средняя ширина раскрытия трещин, м; $S_{\text{об}}$ — площадь обнажения по длине выработки, м^2 .

Установлено, что трещиноватость породных обнажений уменьшается по мере удаления от сместителя. Поэтому, учитывая, что у сместителя показатель нарушенности имеет максимальные значения (Π_H^{max}), с помощью множественного регрессионного анализа установлена зависимость между Π_H^{max} , амплитудой нарушения и горно-техническими условиями. Эта зависимость аппроксимируется уравнением вида:

$$\Pi_H^{\text{max}} = 0,026 A + 0,11 (\gamma H / \sigma_{\text{сж}})^2 - 0,009, \quad (1.24)$$

где A — амплитуда нарушения, м; γ — удельный вес пород, МН/м^3 ; H — глубина заложения выработки, м; $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа.

Исследованиями характера изменения показателя нарушенности по мере удаления от сместителя установлено, что на определенных расстояниях (в зависимости от амплитуды нарушения) он принимает значения, примерно равные фоновой трещиноватости — 0,0015.

Приняв значение $\Pi_H = 0,0015$ за границу зоны влияния нарушения и задавшись значением Π_H^{max} , соответствующим определенной амплитуде, можно определить размер зоны влияния нарушения (L), отчего необходимо знать характер изменения показателя нарушенности в пределах зоны.

Для установления характера изменения показателя нарушенности от границ зоны влияния до сместителя по каждой амплитуде производился регрессионный анализ и определялась зависимость Π_H от l (расстояние) от границы зоны до исследуемой точки). Математический анализ этих зависимостей показал, что характер изменения показателя нарушенности в пределах зоны влияния нарушения практически не зависит от амплитуды и описывается уравнением вида:

$$\Pi_H = 0,09 e^{0,0625 l} - 0,0074. \quad (1.25)$$

Размер зоны влияния нарушения определяется из выражения (1.25) при подстановке вместо Π_H значения Π_H^{max} , соответствующего нарушен-

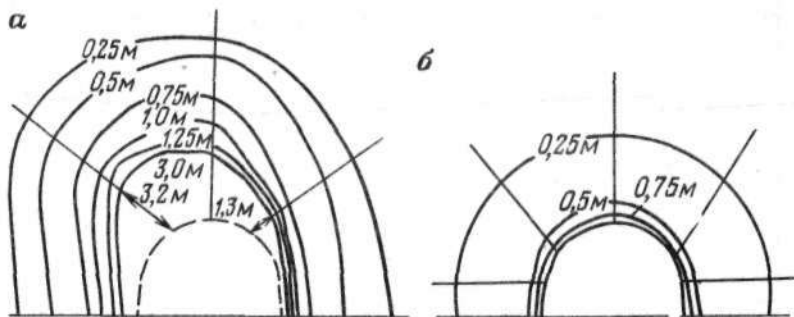


Рис. 19. Эпюры трещиноватости массива вокруг выработки:

а — в зоне влияния сброса с амплитудой 3,1 м на расстоянии 0,9 м от сместителя;
б — на контрольном участке

ности у сместителя, и решении его относительно l , которое в данном случае будет соответствовать размеру зоны влияния нарушения в одну сторону от сместителя (L).

$$L = 0,16 \ln \left(\frac{\Pi_n^{\max} + 0,0074}{0,009} \right) \quad (1.26)$$

Размер зоны влияния нарушения оценивается по нормали к сместителю. При пересечении нарушения выработкой под некоторым углом размер зоны определяется по формуле (1.26) делением L на $\cos \alpha$ (см. рис. 17).

Характер проявления горного давления при проведении выработки предопределяется степенью нарушенности вмещающего ее массива. Учитывая, что разрывные нарушения обуславливают деформацию породного массива, прилегающего к сместителю, проведены исследования по оценке нарушенности (трещиноватости) пород вокруг выработки в зависимости от амплитуды нарушения и расстояния до сместителя. Оценка нарушенности массива производилась реометрическим способом в сочетании с просмотром скважин оптическим перископом РВП-456.

Результаты проведенных исследований (рис. 19) позволяют сделать вывод о том, что вокруг выработки, сооружаемой в зоне влияния разрывных нарушений, имеются две характерные области:

нарушенных пород, размеры которой зависят от амплитуды нарушения и расстояния до сместителя, и *фоновой трещиноватости*, в которой не сказывается влияние нарушения.

В свою очередь, в первой области выделяются две зоны: вероятного обрушения пород и интенсивной трещиноватости. Размеры зоны вероятного обрушения находятся в зависимости от амплитуды нарушения и расстояния до сместителя. Зона интенсивной трещиноватости непосредственно примыкает к первой зоне.

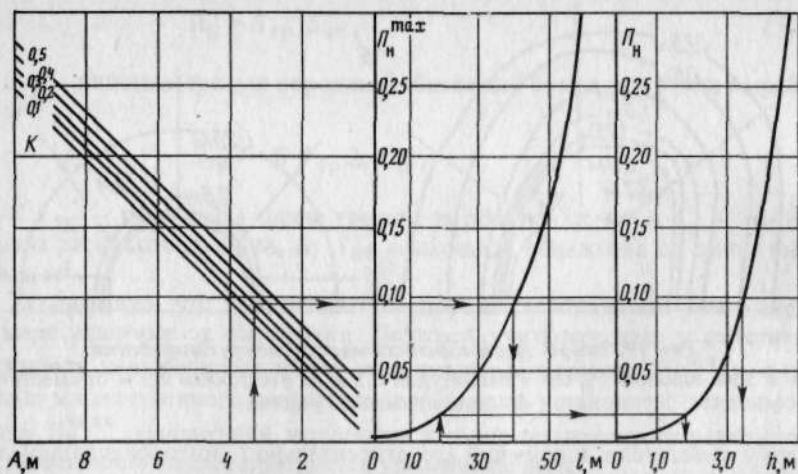


Рис. 20. Номограмма для определения размеров зон влияния разрывных нарушений, интенсивности нарушения массива и высоты возможного вывала в их пределах

Ее размеры не зависят от параметров нарушения и составляют 1,0–1,25 м. Наличие этих зон предопределяет основную форму проявления горного давления при сооружении выработки — вывалообразование.

Процесс вывалообразования в зонах разрывных нарушений можно разделить на два этапа: — *первичные* (обрушения пород до момента установки постоянной крепи, которые происходят в пределах зоны вероятного обрушения и ограничиваются ее размерами) и *вторичное* (обрушения, происходящие за пределами зоны вероятного обрушения, проявляющиеся в виде отслоений и отдельных вывалов. Высота обрушения во многом зависит от размера первичного обрушения и качества установки постоянной крепи, но не выходит за границу зоны интенсивной трещиноватости.

Аппроксимацией экспериментальных данных получена зависимость для определения высоты возможного вывала h_B (м) в пределах зоны влияния нарушения:

$$h_B = \ln \Pi_H + 5,7. \quad (1.27)$$

Для более удобного пользования формулами (1.24, 1.25, 1.26, 1.27) построена номограмма (рис. 20), позволяющая определить размеры зоны влияния нарушения, количественно оценить степень нарушенности массива в пределах зоны и определить высоту возможного вывала пород.

В номограмме за точку отсчета принята граница зоны влияния нарушения, соответствующая значению фоновой трещиноватости. Задаваясь значениями амплитуды нарушения (A) и характеристикой среды (γH)

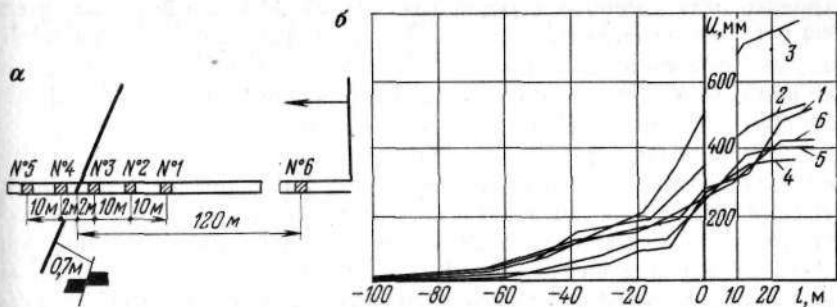


Рис. 21. Схема заложения замерных станций (а) и график смещений породного контура U в зоне влияния сброса с амплитудой 0,7 м в зависимости от расстояния до лавы l (б):

1, 4 – уклон; 2, 5 – промежуточный штрек; 3, 6 – линия сместителя

($\sigma_{сж}$), определяется значение $\Pi_n^{\max}$. Точка пересечения значения $\Pi_n^{\max}$ с графиком изменения интенсивности трещиноватости соответствует положению линии сместителя. Следовательно, расстояние от точки пересечения до оси ординат равно размеру половины зоны влияния нарушения, а текущие значения Π_n в пределах этого участка соответствуют нарушенности массива в любой точке от границы зоны до сместителя. Значению $\Pi_n^{\max}$ у сместителя также будет соответствовать максимальное значение высоты возможного вывала (h_v). Для определения значений высоты вывала в пределах зоны влияния нарушения от условной линии сместителя откладывается расстояние до исследуемой точки и устанавливается соответствующее ей значение показателя нарушенности. Точка пересечения этого значения с графиком распределения высоты вывала по зоне укажет искомую величину.

Например, выработка пройдена на глубине 500 м в породах с объемным весом $\gamma = 0,025 \text{ МН/м}^3$ и прочностью на одноосное сжатие 40 МПа (т.е. $\gamma H / \sigma_{сж} = 0,3$) и пересекает сброс с амплитудой 3,4 м под прямым углом. Пользуясь номограммой, определяем, что размер половины зоны влияния нарушения будет равен 38 м. Показатель нарушенности у сместителя имеет максимальное значение высоты возможного вывала $h_v = 3,4 \text{ м}$. На расстоянии 18 м от сместителя $\Pi_n = 0,017$, а высота возможного вывала – 1,8 м (пластовый штрек пл. l_6 шахты 50 летия Октября, гор. 675 м (ПО "Гуковуголь"). Фактические результаты: высота вывала 1,9 м; зона влияния – 36 м).

Для оценки характера деформирования выработки в пределах зоны влияния нарушения под воздействием очистных работ проводились инструментальные наблюдения за смещениями породных обнажений выработки. Результаты наблюдений по промежуточному штреку № 216 шахты им. 50-летия Октября ПО "Гуковуголь", пересекающему сброс с амплитудой 0,7 м, представлены на рис. 21. На участке исследований было обо-

рудовано пять замерных станций (рис. 21, а): № 1, 2 и 3 до сместителя, № 4 и 5 — за сместителем. Контрольная замерная станция № 6 располагалась за пределами зоны влияния на расстоянии 120 м от сместителя. Следует отметить, что для всех замерных станций основная доля влияния очистных работ имеет место за 8–20 м до подхода лавы и после ее прохода на 12–25 м (рис. 21, б). Характер смещений породного контура выработки на замерной станции, расположенной у границы зоны влияния нарушения, аналогичен смещениям на контрольном участке. Однако абсолютные значения величин смещений в зоне влияния нарушения выше (580 мм) чем за ее пределами (350 мм). Наиболее интенсивная деформация контура выработки отмечена непосредственно у сместителя, где смещения пород составили 720 мм.

После перехода лавой нарушения изменения величин смещений впереди очистного забоя происходят крайне медленно и только на расстоянии 10 м начинается заметный их рост.

Величина смещений на этом участке значительно меньше, чем на таком же удалении от сместителя в другую сторону и меньше значений, зафиксированных на контрольном участке. Эта особенность деформирования породного контура выработки в разных участках зоны влияния нарушения объясняется следующим. В окрестности очистного забоя как по простиранию, так и по падению образуются области повышенных концентраций напряжений. Основной причиной образования этих областей является передача веса зависающих пород на нетронутую часть породного массива. Разрывное нарушение представляет разрыв сплошности слоев кровли, поэтому при подходе забоя лавы к сместителю зона опорного давления не переходит за него, а вес пород, зависающих над выработанным пространством, передается на участок выработки, заключенный между линией забоя и сместителем. Это и приводит к повышенным смещениям контура выработки по сравнению с участками, расположенными за пределами влияния нарушения. В момент перехода нарушения лавой, независимо от типа пород кровли по обрушаемости, само наличие сместителя исключает зависание пород над выработанным пространством. В результате этого при движении очистного забоя от сместителя нарушения, из-за отсутствия зависающей консоли или крайне незначительных ее размеров (в пределах рабочего пространства лавы), распространение зоны опорного давления впереди движущегося забоя наблюдается на расстоянии в 2–3 раза меньшим, чем при движении забоя лавы к нарушению. По мере дальнейшего движения от сместителя к границам зоны влияния нарушения на этих участках выработки происходит постепенное увеличение величин смещений породного контура до значений, соответствующих контрольному участку (350–400 мм). Аналогичные результаты получены на замерных станциях, оборудованных в той же выработке в зоне влияния сброса с амплитудой 3,1 м.

Исследования позволили установить особенности проведения и поддержания выработок в зонах влияния разрывных нарушений: первичное

вывалообразование в зоне вероятного обрушения, следствием чего является увеличение сечения выработки и отсутствие непосредственного контакта крепи с породным обнажением (отсутствия системы "крепь—порода"). В свою очередь, это вызывает обрушение пород в зоне интенсивной трещиноватости, что приводит к неравномерному приложению нагрузки на крепь, увеличивает смещения породного контура выработки и является одной из причин деформирования крепи. Кроме того, при проведении выработок в зонах влияния разрывных нарушений за счет вывалообразования резко увеличивается объем убираемой породы, ухудшается качество крепления и возрастает его трудоемкость.

Исследования показали, что область нарушенных пород вокруг выработки и вывал имеют близкую к параболической форму, а размер вывала по ширине соответствует ширине выработки в проходке.

Для обеспечения устойчивости породных обнажений выработок, пройденных в зонах влияния разрывных нарушений, необходимо предотвратить вывалообразование в зоне вероятного обрушения. Это достигается укреплением приконтурного массива, которое может производиться непосредственно в призабойной части (последующее укрепление), впереди забоя (предварительное укрепление), либо нанесением набрызгбетонного покрытия сразу после обнажения пород (образование системы "крепь—порода").

Последующее укрепление пород неприемлемо в данных условиях, так как вывалообразование в зоне вероятного обрушения происходит до момента установки постоянной крепи.

Предварительное укрепление является наиболее рациональным для предотвращения вывалообразования. Однако его применение затрудняется усложнением технологии проведения выработки и отсутствием эффективных средств контроля толщины укрепленного слоя пород. Поэтому наиболее приемлемым способом предотвращения вывалообразования является нанесение набрызгбетонного покрытия сразу после обнажения пород. Это позволит предупредить вывалообразование, укрепить приконтурный массив пород и создать систему "крепь—порода" в начальный период проведения выработки.

Набрызгбетонное покрытие вместе с укрепленным слоем пород препятствует расслоению пород в зоне интенсивной трещиноватости. Для определения укрепляющего эффекта набрызгбетона оценивается проникающая способность смеси $V_{см}$ в зависимости от показателя нарушенности Π_H :

$$V_{см} = 2,1 \Pi_H - 0,017. \quad (1.28)$$

Эта зависимость дает объективный учет укрепляющего эффекта набрызгбетонного покрытия при расчете его параметров.

С использованием теории изгиба прямоугольных пластин получена зависимость для определения необходимой для конкретных условий толщины набрызгбетонного покрытия (фактически временной крепи

выработки в пределах зон разрывных нарушений).

$$d = \frac{B}{4} \sqrt{\frac{2\gamma B (\ln \Pi_H + 5,7)}{3 S_{кр} \sigma_p}} - \frac{2,1 \Pi_H - 0,017}{\Pi_H S_{об}} \quad (1.29)$$

где d — толщина набрызгбетонного покрытия, м; B — ширина выработки в проходке, м; $S_{кр}$ — площадь обнажения кровли на 1 м ее длины, м²; $S_{об}$ — площадь обнажения пород кровли и боков выработки на 1 м ее длины, м²; σ_p — прочность набрызгбетона на растяжение, МПа.

Натурные исследования, проведенные в условиях шахты им. 50-летия Октября (ПО "Туковуголь"), показали эффективность вышеизложенных рекомендаций при прочности вмещающих пород 40–110 МПа, амплитуде геологических нарушений 0,3–9,8 м и глубине ведения горных работ до 1000 м.

Расчетная толщина набрызгбетонного покрытия с учетом его укрепляющего эффекта в зависимости от нарушенности вмещающего выработку (их систему) массива в вышеуказанных условиях изменяется в пределах 2–10 см; фактическая, предупреждающая вывалообразование — 5–10 см.

1.7. Оценка устойчивости породных обнажений и возможных нагрузок на крепь

1.7.1. Прочностная характеристика пород. Для прогноза устойчивости горных выработок на больших глубинах, расчета нагрузки на крепь и смещений пород в выработку необходимо знать прочностные характеристики горных пород, прежде всего предел прочности на одноосное сжатие и закономерности его изменения.

Наиболее устойчивые боковые породы угольных пластов приурочены к районам развития метаморфизированных углей (марки T и A), наименее устойчивые — к районам менее метаморфизированных (марки D и G).

Прочность горных пород на одноосное сжатие (шахты Донбасса) при естественных условиях проведена в табл. 9.

Прочность горных пород на растяжение в условиях Донбасса обычно находится в пределах 10–20 % от прочности на одноосное сжатие.

Согласно опыту работы, боковые породы пластов, являющиеся среднеустойчивыми в очистных забоях, в подготовительных выработках часто бывают неустойчивыми.

В пределах одного слоя пород наблюдается изменение прочностных характеристик от 10 до 20 %, в среднем по Донецкому бассейну — 12 %.

Распределение пород (%) в разрабатываемых пластах представлено в табл. 10.

На глубинах до 800 м основная часть горных выработок сооружается и поддерживается в породах с прочностью на одноосное сжатие 20–80 МПа

Таблица 9

Район	Марка угля	Прочность горных пород на одноосное сжатие, МПа			
		Глинистые сланцы	Песчанистые сланцы	Песчаники	Известняки
Юго-Западная часть Дон-басса	Г; Д	25–37	35–36	50–70	70–80
	Ж; К	25–60	32–80	77–150	100–135
	Т; А	25–51	24–83	83–150	100–180
Центральный	ПЖ; К	57,5	70	136	–
	КЖ				
Восточная часть Дон-басса	А :	48–63	67–75	120–125	–
(в т. ч. Ростовской обл.)	Ж; ОС	33	43	80	–

Таблица 10

Расположение относительно пласта	Распределение породы (%) в пластах			
	Глинистые сланцы	Песчанистые сланцы	Песчаники	Известняки
Кровля	76	13	6	5
Почва	65	31	4	0

Таблица 11

Глубина ведения горных работ, м	Содержание пород (%) прочностью на одноосное сжатие, МПа						
	< 20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	> 120
< 600	9,4	30,2	24,6	29,2	5,5	0,7	0,4
601–800	2,8	35,7	39,6	13,4	8,1	0,25	0,15
801–1000	1,8	23,6	24,5	21,5	24,5	2,1	2,0
1001–1200	1,8	24,3	29,5	24,7	16,0	1,7	2,0
1201–1400	3,3	8,3	31,0	30,0	25,0	1,5	0,9
> 1400	1,6	5,6	29,0	41,0	21,0	1,25	0,55

(80–85 %), на глубинах 800–1200 м – до 90 % выработок сооружаются в породах прочностью на одноосное сжатие 20–100 МПа, на больших глубинах (табл. 11) 90 % выработок поддерживаются в породах прочностью на одноосное сжатие 41–100 МПа.

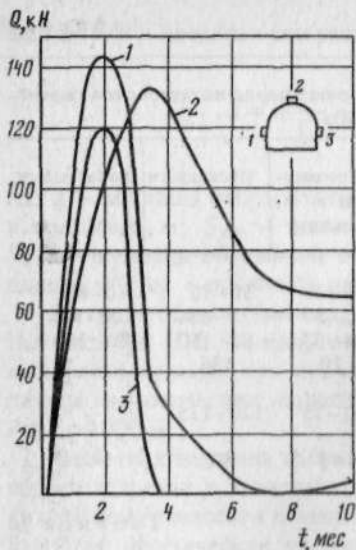


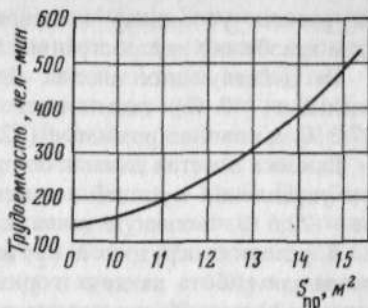
Рис. 22. Характер развития нагрузки на крепь в выбросоопасных песчаниках ($\sigma_{сж}=140$ МПа) шахты им. К.И. Печенкова ПО "Макеевуголь" гор. 915 м от времени: 1, 2, 3 — места расположения динамометров в сечении выработки

Такое положение характеризует ухудшение условий поддержания горных выработок с увеличением глубины ведения горных работ.

При проведении выработок по крепким породам наблюдаются выбросы пород. Они приурочены к крепким газонасыщенным песчаникам, залегающим на глубинах более 700 м. Первый выброс породы в горизонтальной выработке произошел в августе 1955 г. (гор. 750 м шахты Кочегарка ПО "Артемуголь"), в последующие годы число выбросов непрерывно увеличивается. Интенсивность нагрузки, характеризующаяся массой породы, отдельной от массива, находится в пределах 25–2100 т. При строительстве шахты им. А.А. Скочинского (ПО "Донецкуголь") зафиксировано 2700 выбросов интенсивностью нагрузки 60–1200 т. Перед выбросом обычно наблюдается интенсивное нарастание нагрузки на крепь (рис. 22). Наиболее опасными по внезапным выбросам породы являются песчаники пласта n_7^B в Донецко-Макеевском районе. Внезапные выбросы вызывают практически полную деформацию выработок и необходимость ремонта, трудоемкостью, отнесенной к 1 м² площади поперечного сечения, обычно более 6 чел.-смен при стоимости работ более 120 руб.

1.7.2. Характеристика выработок. Соотношение отдельных видов выработок характеризуется следующими данными: квершлаг и полевые штреки — 8,7 %, выработки околоствольных дворов — 0,7 %, пластовые штреки — 42 %, бремсберги — 3,4 %, уклоны — 12,1 %, прочие выработки — 33,1 %. Рамной (арочной) крепью на шахтах Донбасса поддерживается более 70 % выработок, из них 79 % имеют форму поперечного сечения — арочную с криволинейным очертанием породных обнажений. Следует отметить, что в последние годы наблюдается рост протяженности

Рис. 23. Зависимость трудоемкости крепления от площади поперечного сечения выработки в проходке.



выработок с плоским обнажением кровли. Это связано со стремлением наиболее полно использовать благоприятные горно-геологические условия (например, расположение выработки под слоем крепких пород), а также снизить объем выдаваемой горной массы, так как коэффициент использования сечения выработки с плоскими породными обнажениями на 15–20 % выше, чем в выработках другой конфигурации поперечного сечения. При монолитной крепи основной формой является сводчатая (пониженные, трехцентровые своды).

По площади поперечного сечения выработки шахт Донбасса распределяются следующим образом:

Площадь поперечного сечения в свету, м ²	Протяженность, %
≤ 8	22,4
8,1–12	73,8
> 12	3,8

Средняя площадь поперечного сечения протяженных выработок в настоящее время составляет 8,14 м², в том числе вскрывающих и подготавливающих — 9,9 м². Наблюдаемое увеличение площади поперечного сечения связано с глубиной горных работ, что в свою очередь повышает смещение горных пород и усложняет поддержание выработок, снижая их устойчивость. С увеличением площади поперечного сечения выработок возрастает требуемая несущая способность крепи и трудоемкость крепления (рис. 23).

На шахтах Донецкого угольного бассейна имеется более 700 типоразмеров сечений выработок, что вызывает большие затруднения при их проектировании и проведении.

В пределах одного околоствольного двора приходится сооружать 50–60 различных по сечению выработок. Это не только усложняет процесс сооружения, но и отрицательно влияет на последующее поддержание выработок, так как переходы от одного сечения к другому обычно бывают резкими, что способствует концентрации на этих участках повышенных напряжений и интенсивной деформации породных обнажений и крепи.

Именно на участках перехода от одного сечения к другому (при про-

чих равных условиях) наблюдаются начальные деформации, которые затем неизбежно распространяются по длине выработок.

На действующих шахтах Донбасса применяется этажная (60 %) и панельная (40 %) схемы подготовки; сплошные (40,7 %), столбовые (27,3 %) и комбинированные (32 %) системы разработок.

Выемка пластов лавами по простиранию является основной (81,5 %). При управлении кровлей в очистных забоях применяют полное обрушение — 72,6 %, частичную закладку — 24,8 % и плавное опускание — 2,6 %.

В условиях крутого и крутонаклонного залегания характерна одновременная работа на двух горизонтах. Продолжительность работы горизонта 9–11 лет. Шахты-новостройки обычно имеют основные горизонты на глубинах 600–1400 м. Протяженность выработок на момент сдачи шахты в эксплуатацию составляет 45–80 км, или 500–1100 тыс. м³. Протяженность выработок, проводимых одним забоем, достигает 2,5 км.

На действующих шахтах на 1000 т годовой добычи в среднем проводят 14 м выработок (ПО "Павлоградуголь" — 7,9 м, ПО "Артемуголь" — 27,7 м). Перспектива развития Донецкого угольного бассейна связана с увеличением глубины ведения горных работ и интенсивным развитием новых угленосных районов, характеризующихся относительно слабыми породами (см. табл. 9). Это усложнит поддержание горных выработок.

1.7.3. Общая оценка устойчивости выработок. Вопрос прогнозной оценки устойчивости породных обнажений в проектируемой выработке является весьма актуальным, так как обосновывает принимаемые на стадии проектирования технические решения по ее поддержанию. Однако работ в этом направлении проводится недостаточно, они носят разобщенный характер, что обуславливает локальность их объективного применения, либо определенные трудности в их использовании.

В условиях глубоких шахт Донецкого бассейна удовлетворительные результаты дает оценка устойчивости, в основу методики которой положен критерий устойчивости K_y :

$$K_y \approx \gamma H / f_T m \sigma_{сж}, \quad (1.30)$$

где m — коэффициент стойкости пород (см. табл. 1); f_T — коэффициент тектонической характеристики данного участка породного массива (п. 1.2).

В зависимости от значения K_y возможное состояние выработки может быть сведено в пять групп:

1. *Весьма устойчивое* ($K_y \leq 0,2$). Деформации породного контура практически отсутствуют. Расчет горного давления и смещений пород может не производиться. Смещения пород при длительном (более 5 лет) поддержании выработок не превышает 50 мм, интенсивность смещений не более 5 мм/мес. Возможно малоинтенсивное трещинообразование. При этом трещины сонаправлены, глубина распространения их в массив 0,2–0,25 м. Применение грузонесущей крепи ее вызывается необходимостью, достаточно использование набрызгбетона толщиной 3–5 см, цель

которого — защита породных обнажений от действия "агентов выветривания". Набрызгбетон может быть использован и в качестве временной крепи, т.е. возводиться непосредственно в забойной части выработки.

2. *Устойчивое* ($0,2 < K_y \leq 0,3$). Возможна деформация до 10 % площади породных обнажений (без почвы). В глубину массива деформация распространяется до 0,5 м. При расчете возможной нагрузки на крепь могут использоваться методики М.М. Протодяконова и М. П. Цимбаревича. Проверочных расчетов на возможную нагрузку от вывала производить не следует. Величина смещений пород в выработку обычно не превышает 100 мм, в выработках, пройденных по простиранию, — 120 мм, интенсивность до 10 мм/мес. В этих условиях имели место отдельные случаи вывалообразований, однако масса их не превышала 50 кг.

Временная крепь может не рассчитываться, достаточно применение поддерживающей крепи. Способы охраны обычно не применяются, однако полностью исключить возможность их применения нельзя. В условиях крутонаклонного и крутого залегания пород неравномерность смещений по периметру выработки достигает 10–12 раз, что, несмотря на относительно малую их конечную величину, может привести к образованию локальных участков повышенных деформаций. В этой связи в указанных условиях может оказаться полезной односторонняя разгрузка породного массива, или локальное укрепление пород.

3. *Частично устойчивая* ($0,3 < K_y \leq 0,4$). Возможна деформация до 50 % породных обнажений при распространении в глубь массива до 1 м. Расчет горного давления (нагрузки на крепь) производится по инженерным методикам, возможно применение метода Р. Феннера—А. Лабасса. Обязательна проверка на возможную нагрузку на крепь от вывала пород, так как величина смещений в выработку достигает 200–250 мм (в отдельных случаях до 300 мм), интенсивность смещений 25–50 мм/мес (в отдельных случаях до 75 мм/мес).

Обязательно применение грузонесущей крепи. В случае применения способов охраны, использование которых обычно целесообразно, возможно применение облегченной крепи.

Необходимо производить расчет возможной нагрузки на временную крепь, т.е. в забойной части выработки, в которой не исключается возникновение вывалообразования.

4. *Неустойчивое* ($0,4 < K_y \leq 0,5$). Деформируется более 50 % породных обнажений с распространением в глубину массива на 1,0 м и более. Расчет горного давления следует производить только инженерными методами, обязательна проверка на возможную нагрузку на крепь от вывала. Временную крепь необходимо обязательно рассчитывать. Величина смещений пород в выработку достигает 500 мм, интенсивность смещений до 100 мм/мес (в отдельных случаях 150–200 мм/мес), а развитие трещин в породном массиве наблюдается на расстоянии от контура выработки до 3–4,5 м, что при длительном поддержании выработок вызывает вывалообразование с распространением обрушений на указанное рас-

стояние в глубину массива. В этих условиях применение способов охраны является обязательным.

5. *Весьма неустойчивое* ($K_y > 0,5$). Деформируются все породные обнажения с распространением в глубь массива на 2 м и более. Деформации наблюдаются уже в начальный период сооружения выработок (величины смещений пород в выработку обычно более 500 мм, интенсивность смещений — 150 мм/мес и более). Применение способов охраны обязательно. В большинстве случаев приходится использовать усиленную крепь или применять комбинированные способы охраны. Положительные результаты дают предварительные (до сооружения выработки) способы охраны (предварительная надрработка и предварительное укрепление пород).

Рассмотренная методика оценки устойчивости выработок имеет ряд недостатков: не учитывает форму поперечного сечения и направление выработки относительно напластования, способа ее сооружения, и срок использования выработки по прямому назначению. Попытка учета этих показателей введением поправочных коэффициентов положительных результатов не дала, так как целенаправленных исследований в этом направлении не проводилось.

Учитывая важность прогнозной оценки устойчивости выработок, которая дает объективные предпосылки для решения вопросов их поддержания с учетом срока службы, исследовательские работы в этом направлении следует отнести к разряду важнейших.

1.7.4. **Оценка возможности плоского обнажения пород.** Целесообразность сооружения выработок с плоским обнажением пород кровли и боков (прямоугольная или трапециевидная форма поперечного сечения) обуславливается более эффективным использованием площади поперечного сечения в свету и стремлением снизить степень нарушенности прилегающих к выработке крепких пород. Последнее обуславливает более высокую устойчивость породных обнажений, особенно в наклонных выработках. Однако возможность применения плоских обнажений характеризуется их устойчивостью не только в период эксплуатации, но и в начальный момент сооружения выработок. Это зависит от размеров выработки, глубины ведения горных работ, характеристики породного массива. При несоответствии этих условий наблюдаются интенсивные вывалообразования до возведения постоянной крепи, что снижает скорость проходческих работ и увеличивает их трудоемкость, т.е. по условиям геомеханического состояния породного массива характеризует нецелесообразность применения выработок с плоскими обнажениями пород.

Для оценки возможности применения в конкретных условиях формы поперечного сечения с плоскими породными обнажениями рекомендуется методика, основанная на положениях предельных пролетов, предложенных проф. В.Д. Слесаревым. Анализ состояния выработок с плоским обнажением кровли позволил скорректировать предложенную В.Д. Слесаревым зависимость для расчета первого предельного пролета и рекомендовать ее к применению в следующем виде:

$$B_p = \frac{150}{H} \sqrt{\frac{4m \sigma_p h}{3\gamma}}, \quad (1.31)$$

где B_p — расчетная ширина выработки, при которой породы кровли будут находиться в устойчивом состоянии, м; H — глубина расположения выработки, м; γ — удельный вес пород, МН/м³; σ_p — прочность пород на растяжение, МПа; h — толщина слоя пород, непосредственно залегающих в кровле (по нормам к напластованию), м; m — коэффициент стойкости пород (табл. 1).

При $B_p > B_{\phi}$ (проектная ширина выработки вчерне) применение формы поперечного сечения выработки с плоским обнажением кровли допустимо.

Для расчета при отсутствии достоверных геологических данных о текстуре породного массива можно пользоваться значениями h : песчаник, известняк — 1,5 м, песчаные сланцы — 1 м; песчано-глинистые и глинистые сланцы — 0,5 м.

Пример. Оценить возможность применения выработки прямоугольной формы поперечного сечения проектной шириной вчерне 3,5 м при $H=1000$ м; $m=0,8$; $\gamma=0,025$ МН/м³; $\sigma_p=15$ МПа при залегании в кровле песчаных сланцев ($h=1$ м).

$$B_p = \frac{150}{1000} \sqrt{\frac{4 \cdot 0,8 \cdot 15 \cdot 1,0}{3 \cdot 0,025}} = 3,74 \text{ м}$$

Так как $B_p=3,74 > B_{\phi}=3,5$ м, принятие указанной формы допустимо. Но при условии залегания в кровле глинистых сланцев ($h=0,5$ м). $B_p=2,7 \text{ м} < B_{\phi}=3,5$ м, необходимо применение выработки с криволинейным очертанием кровли, так как принятие прямоугольной формы будет сопровождаться обрушениями пород кровли сразу же после их обнажения.

Достаточно корректные результаты рассмотренная зависимость дает и при оценке допустимой высоты обнажений пород в боках выработки при крутом залегании пород.

В этом случае расчетное значение h сопоставляется в трапециевидных выработках с величиной $h_v/\sin \alpha$ (h_v — высота выработки вчерне, м; α — угол залегания пород, градус).

1.7.5. Оценка устойчивости пород почвы наклонных выработок. В наклонных выработках, наряду с выше рассмотренными геомеханическими процессами, наблюдается сползание пород почвы, что вызывает нарушение эксплуатационного состояния данной выработки в целом. Возможность этого явления оговорена Правилами безопасности [16], согласно которым при угле наклона выработки (α) 30° и более постоянную крепь возводят по всему периметру выработки. При пучении пород их сползание уже возможно при $\alpha=20^\circ$ и более.

Для оценки возможности сползания пород почвы и необходимых усилий (T_0) по его предупреждению принята следующая схема процесса (рис. 24) и основанная на ней методика. При пучении пород почвы образуется призма ($ABCD$) высотой U_n (величина смещений определяется

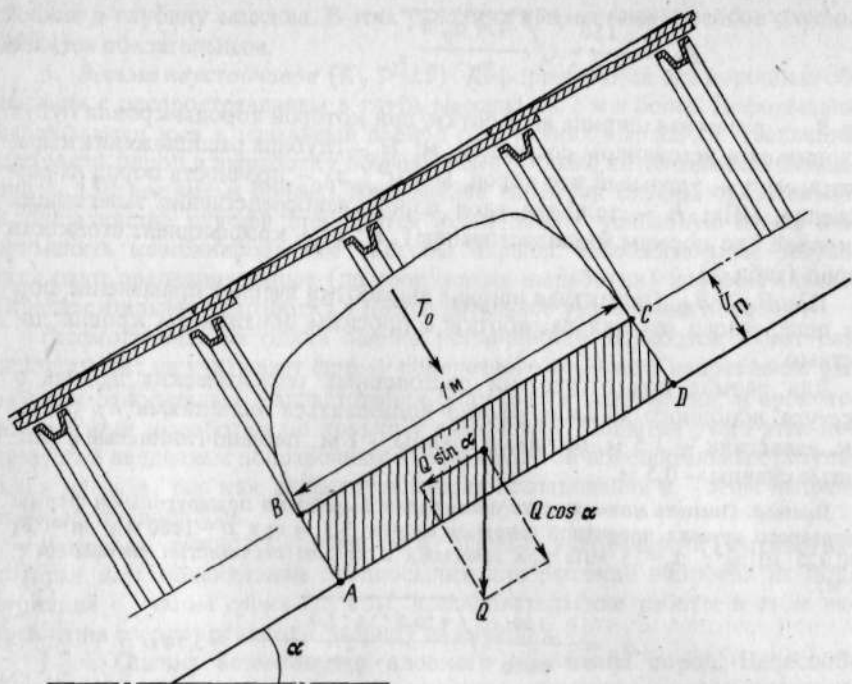


Рис. 24. Схема прогнозной оценки возможности сползания пород почвы

по формуле 1.13) и шириной $B_{вч}$ (ширина выработки в черне). Вес призмы Q на участке длины выработки, равном 1 м, определится из выражения:

$$Q = U_{п} B_{вч} \gamma, \quad (1.32)$$

где γ — удельный вес пород почвы, МН/м^3 .

Сдвинуть призму $ABCD$ стремится сила $Q \sin \alpha$, направленная вдоль выработки, ей противостоит усилие $Q \cos \alpha f$ (f — коэффициент трения породы 0,268–0,577).

При условии равновесия:

$$Q \sin \alpha \leq Q \cos \alpha f \quad (1.33)$$

сползаний пород почвы наблюдаться не будет.

В противном случае для предупреждения сползания пород почвы необходимо приложить дополнительное усилие T_0 (МПа), величина которого определится из отношения:

$$Q \sin \alpha = Q \cos \alpha f + T_0 f. \quad (1.34)$$

Решая относительно T_0 , найдем:

$$T_0 = \frac{Q (\sin \alpha - \cos \alpha f)}{f} \quad (1.35)$$

Использование приведенной методики целесообразно только в условиях интенсивного или весьма интенсивного пучения пород почвы (см. табл. 5). При отсутствии пучения (оценка может производиться по зависимости 1.14) или его величины до 200 мм сползание пород почвы обычно не наблюдается.

1.7.6. Методика оценки нагрузки на крепь. В СССР находят применение расчетные методы оценки нагрузки на крепь горизонтальных и наклонных выработок со стороны кровли проф. М.М. Протодяконова, по периметру выработки проф. П.М.Цимбаревича, метод Феннера—Лабасса—Вестергардена, учитывающие образование зоны неупругих деформаций и отпор, создаваемый крепью. Однако наиболее широкое применение получили аналитико-экспериментальные методы (инженерные методы), основанные на прогнозной оценке смещений пород [13].

Инженерные методы оценки нагрузки на крепь, кроме оценки нагрузки на крепь от вывалообразования (см. п. 1.4), фактически определяют необходимую для данных горно-геологических и технических условий несущую способность (отпор) крепи, которая совместно с породами в пределах зоны неупругих деформаций должна обеспечить равновесие системы "крепь—порода". Поэтому выбор крепи производится путем последовательного подбора ее несущей способности и сопоставлением остаточных смещений (см. формулы 1.18 и 1.19) с технической возможностью данной конструкции.

При податливом режиме работы крепи расчетная зависимость вида:

$$q_{\Pi} = 8\gamma \sqrt{r U_x^2} \quad (1.36)$$

где γ — удельный вес пород в направлении определяемого отпора крепи, МН/м^3 ; r — полупролет выработки в направлении определяемого отпора крепи ($B/2$ или $h/2$); где B — ширина выработки вчерне, м; h — высота выработки вчерне, м; U_x — расчетные смещения пород в направлении определяемого отпора крепи (м), находятся из зависимостей (1.18) и (1.19) при $q=0$.

В пластовых выработках необходимо учитывать дополнительные смещения, вызванные выемкой угля из пласта. Эти смещения зависят от мощности угольного пласта (m) и способа защиты выработки от влияния очистных работ.

По данным инструментальных наблюдений, проведенных в пластовых штреках при пологом и наклонном залегании пород, дополнительные смещения составляют (0,15–0,4) м (см. табл. 4) и фиксируются на расстоянии 10–25 м за линией очистного забоя.

Таблица 12

Состояние крепи	Стоимость ремонта, % стоимости крепи	Возможная нагрузка на крепь, % технической несущей способности крепи	Возможность выполнения ремонта
Удовлетворительное	< 10	< 50	В период эксплуатации
Неудовлетворительное	10 – 50	50–100	В ремонтные смены
Аварийное	> 50	> 100	Полная остановка выработки

Дополнительные смещения в пластовых выработках должны учитываться при оценке необходимого отпора крепи и величины ее технической податливости.

При жестком режиме работы крепи необходимый ее отпор оценивается по зависимости:

$$q_{ж} = 0,2\sigma_0 \gamma H / m \sigma_{сж}^2 \quad (1.37)$$

Наряду с расчетными методами определения нагрузок на крепь можно пользоваться косвенным методом, основанным на сопоставлении деформированного состояния крепи (любой конструкции) с затратами на ее ремонт, в процентах от начальной стоимости крепи. В свою очередь деформированное состояние крепи сопоставляется с ее несущей (технической) способностью.

Этот метод является приближенным, но он дает возможность общей оценки исследуемого процесса, что важно при обследовании выработок. При косвенном методе оценки нагрузки на крепь возможное состояние ее подразделяется на три группы (табл. 12); при этом учитывается организационная возможность производства ремонта.

Имея обобщенный материал по данным обследований выработок, мы получим реальную возможность конкретизировать место и объем инструментальных наблюдений, дать общую оценку применения той или иной конструкции крепи в конкретных горно-геологических и технических условиях и, что особенно важно, решить вопрос о возможности индивидуального применения крепи для поддержания выработки.

Сопоставление данных табл. 12 с данными, характеризующими необходимость применения дополнительных мероприятий по обеспечению эксплуатационного состояния выработки (см. табл. 27), дает хорошую сходимость (несмотря на независимый характер их получения), что показывает их объективность.

В основу критерия, оценивающего состояние крепи в выработке, положены стоимостные показатели (затраты) на ремонт в соотношении к начальной стоимости крепи.

Этот критерий является наиболее объективным, так как независимо от формы и площади поперечного сечения выработки, вида и конструкции крепи, он характеризует объем необходимого ремонта (в стоимостном выражении) практически для любых условий. В результате того, что все применяемые для поддержания горных выработок конструкции крепей (кроме податливых) следует относить к ограниченно-податливым (см. п. 1.4.3), то использование зависимости (1.36) для сопоставления с фактической несущей способностью крепи (блочной тюбинговой, бетонной) позволяет объективно решить вопрос приемлемости данной конструкции крепи и необходимости дополнительных мероприятий (см. п. 2.5).

Глава 2. ОПЫТ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

2.1. Основные виды крепи, объем их применения и состояние

2.1.1. Классификация крепи. По конструктивным и технологическим признакам крепи горных выработок следует подразделять на: рамные (в том числе сплошные), монолитные (в том числе — сборные: тюбинговые и блочные) и анкерные. Несущие элементы могут изготавливаться из одного крепежного материала (металл, бетон и пр.) или большего числа (обычно двух) — смешанные. Особое место занимают комбинированные крепи, которые сочетают различные по характеру взаимодействия с породным массивом конструкции (например, металлическая арочная и анкерная крепи, или анкерная, используемая в качестве временной и постоянная бетонная или набрызгбетонная крепи). По характеру взаимодействия с породным массивом крепи следует подразделять на:

ограждающие, не входящие в непосредственный контакт с массивом и защищающие выработку от возможного обрушения пород. К этому виду обычно относят временные (выдвижные) крепи. Однако в зависимости от качества проведения выработки, в ряде случаев, рамные и сборные постоянные крепи фактически являются также ограждающими, так как не входят в контакт с породой по всему периметру (бока и кровля) выработки и практического воздействия на него не оказывают, т.е. фактически не обеспечивают управление массивом;

поддерживающие (грузонесущие) — входят в контакт с массивом и в определенной мере воздействуют на него. Это в основном монолитные крепи (бетонная и металлобетонная), а в случае качественного возведения и рамные, независимо от режима их работы;

укрепляющие — увеличивают несущую способность массива, предупреждая развитие трещинообразований и, как следствие, вывалообразований, а в ряде случаев — снижая начальную нарушенность пород.

Укрепляющие крепи (анкерные, набрызгбетонные и комбинированные, в которые составной частью входят вышеуказанные) наиболее эффективно создают систему "крепь—порода", в силу чего более полно реализуют процесс управления состоянием массива.

Особо следует отметить виды крепей по степени перекрытия породных обнажений в выработке:

незамкнутые (открытые) — перекрывают кровлю и бока выработки; *замкнутые* (закрытые) — перекрывают породные обнажения по всему периметру выработки и почву. Замкнутые крепи получили развитие в горизонтальных выработках, как средство борьбы с пучением пород почвы выработок. В ряде случаев они применяются по техническим причинам (размещение стационарного оборудования, предупреждение повышенной обводненности выработки и пр.), главным образом, в камерах околоствольных дворов.

При прочих равных условиях замкнутые крепи на 30–35 % более трудоемкие и материалоемкие, чем незамкнутые, а общие начальные затраты средств при их использовании увеличиваются на 40–42 %. Эти крепи весьма трудоемкие при ремонте, стоимость которого обычно превышает начальные затраты на ее возведение.

Опыт применения замкнутых крепей в условиях пучащих пород почвы выработок показывает, что только при слабоинтенсивном пучении (см. табл. 5) они отвечают своему основному назначению. В условиях интенсивного и тем более весьма интенсивного пучения замкнутые крепи — неработоспособны.

В выработках с углом наклона 30° и более применение замкнутых крепей обусловлено стремлением предупредить сползание пород почвы и повысить устойчивость крепи.

2.1.2. Объемы применения и состояние крепи. Анализируя общее состояние крепи и обеспечение при этом эксплуатационного состояния выработок шахт Донбасса, следует отметить, что наиболее работоспособными являются укрепляющие незамкнутые крепи. Эти виды, кроме вышеуказанного, наименее материалоемкие, малоотходные и, что очень важно, технологичные, допускают наибольшую степень механизации работ по возведению крепи и ее ремонту.

В условиях шахт Донецкого угольного бассейна для поддержания выработок различного назначения и срока службы применяют 96 видов крепи [6]. Однако большинство из них имеют ограниченное (в пределах одного-двух участков суммарной протяженностью 30–150 м) применение, в том числе и опытное. Объемы применения в действующих выработках основных видов крепи (на 1 января 1986 г.) и общие данные по их состоянию приведены в табл. 13.

При новом строительстве шахт или горизонтов объемы применения отдельных видов крепи составляют: бетонная — 14 %, деревянная — 3 %, металлическая податливая — 72 % (в подготовительных выработках 91,3 %), металлобетонная — 10 %, комбинированные — 2,4 %. Металли-

Таблица 13

Вид крепи	Объем применения, %	Деформированы, %	Отремонтировано, % к деформированным
Бетонная	5,9	35	28
Металлобетонная	8,6	56	40
Металлическая жесткая	5,3	90	60
Металлическая податливая	52,3	40	60
Сборная железобетонная	6,4	72	30
Смешанная	7,6	32	40
Комбинированная	1,8	—	—
Анкерная	0,8	—	—
Набрызгбетонная	0,8	—	—
Деревянная	7,0	30	25
Прочие	3,5	52	10
В том числе:			
незамкнутые	96	49	36
замкнутые	4	90	20

ческая жесткая крепь практически не применяется. Объем применения замкнутых крепей вырос до 6 % [7].

2.1.3. Общая характеристика применяемых и перспективных конструкций постоянной крепи. Снижение объемов использования деревянной крепи вполне обоснованно, так как благоприятными условиями ее применения являются сухие хорошо проветриваемые выработки со сроком службы до 3—5-ти лет и при относительно небольших нагрузках. Однако полностью отказываться от этого крепежного материала не следует, так как специфика вспомогательных выработок, в том числе и в условиях действующих шахт, реализует целесообразность применения деревянной крепи. Следует также иметь в виду, что в связи с интенсификацией горных работ примерно 20—25 % пластовых подготовительных выработок имеют срок службы до 5-ти лет (независимо от условий залегания разрабатываемых пластов и применяемых систем разработок), а в условиях крутонаклонного и крутого залегания до трех лет.

Весьма перспективной является *бетонная крепь*. Бетон как строительный материал эффективен. Он недефицитен и относительно недорогой, имеет достаточно высокую прочность (15—50 МПа), долговечен. Достоинством также является возможность высокой степени механизации крепления. Бетонная крепь по режиму работы относится к жестким крепям, но может воспринимать смещения до 100—120 мм. Деформации крепи связаны с появлением в своде и стенках трещин, которые могут привести к сколам и возможным вывалам бетона.

Как показали шахтные наблюдения за состоянием бетонной крепи, а также инструментальные наблюдения за развитием смещений пород и нагрузок на крепь, трещинообразование в своде и стенках крепи не вызывает потерю несущей способности. Непересекающиеся трещины создают

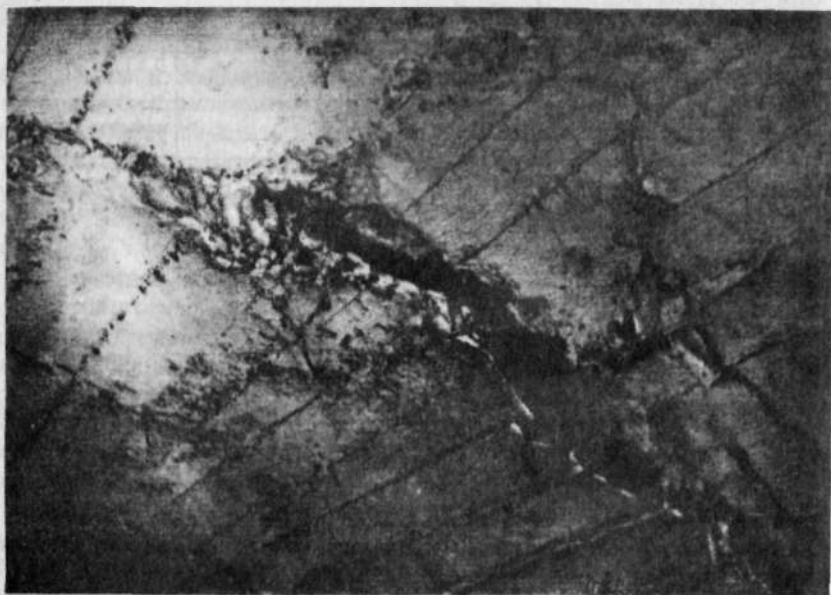


Рис. 25. Характер деформации бетонной крепи грузовой ветви клетового ствола гор. 758 м шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь"

"шарнирность" и способствует выравниванию нагрузки по периметру, и крепь длительное время обеспечивает поддержание выработки в эксплуатационном состоянии (рис. 25).

Опасность потери несущей способности может возникнуть при развитии пересекающихся трещин, что наблюдается при расстоянии между сквозными трещинами до 30 см. Сопоставление величин смещений породных обнажений выработки и деформационного состояния бетонной крепи показывает, что опасные деформации (образование несвязных блоков) появляются при величинах смещений пород в выработку 120 мм и более.

Чтобы увеличить преддеформационный срок службы бетонной крепи, ее следует возводить с отставанием от проходческого забоя на 20 м и более. При ограниченных по длине выработках или длительных перерывах в проходческих работах отставание возведения крепи от работ по выемке породы во времени должно быть не менее месяца.

В этом случае значительную часть смещений породного контура выработки воспринимает временная крепь, условия работы бетонной крепи улучшаются.

Затраты труда на возведение и последующее удаление стационарной опалубки составляют при бетонной крепи 35—40 % от затрат на крепление. Это отрицательно сказывается на скорости проведения выработок и, в определенной мере, ограничивает применение бетонной крепи.

Разработанная КузНИИШахтостроем передвижная опалубка практи-

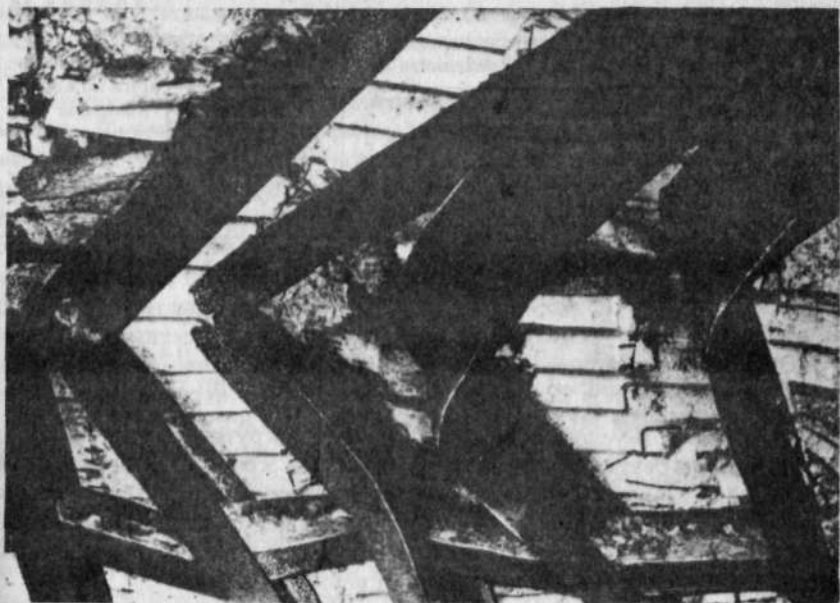


Рис. 26. Деформации кольцевой крепи из двутавра № 24 в откаточном квершлага гор. 880 м шахты "Кировской" ПО "Донецкуголь"

чески ликвидирует отмеченный выше недостаток и обеспечивает возможность расширения объемов применения бетонной крепи.

Возможный объем применения бетонной крепи в выработках, находящихся вне зоны непосредственного влияния очистных работ, с учетом обеспечения их эксплуатационного состояния реально составляет 30–32 %.

Металлобетонная крепь с арматурой из жестких или ограниченно-податливых арок (в том числе и замкнутых) рекомендована к применению в неустойчивых породах, характеризующихся интенсивным вывалообразованием. Жесткие арки обычно изготовляют из двутавра № 20 и более, податливые — из СВП № 22 и более. Металлические элементы этой конструкции крепи возводят в забойной части выработки, выполняя функции временной крепи. Бетон возводят с отставанием на 20 м и более. Такая технология возведения крепи при жестких арках не обеспечивает совместности работы металла и бетона, так как до возведения последнего металлические арки имеют значительные деформации (рис. 26).

Металлическая податливая крепь имеет наибольшее распространение, в том числе и при новом шахтном строительстве. Преимуществами этих конструкций является возможность управлять нагрузками на крепь путем регулирования ее податливостью. Однако это достигается только при соответствии направления податливости крепи и наибольших смещений пород. При соблюдении этого условия крепь практически не деформируется при смещениях пород 300–400 мм (трехзвеньевая) и до 1000 мм

Таблица 14

Номер спец-профиля	Площадь сечения выработки в свету, м	Увеличение площади сечения выработки, вчерне, %	Предельная нагрузка на арку, кН				Податливость арки по вертикали, мм	
			трехзвенную		пятизвенную		трехзвенной	пятизвенной
14	7,0	20	120	(-)	(-)	(-)	300	-
17	7,9	20	140	(260)	-	-	300	400
19	9,2	25	160	(280)	(125)	220	350	-
22	11,2	25	180	(300)	(145)	240	350	600
27	15,5	30	200	(350)	(160)	280	400	700
33	18,3	30	220	(400)	(175)	320	400	1000

(пятизвенная). В условиях крутонаклонного и крутого залегания пород положительные результаты дает четырехзвенная крепь АПК-3; и АПК-4, разработанная Донецким политехническим институтом [6]. Эта конструкция обеспечивает боковую податливость в пределах 0,6 от вертикальной (при СВП-33-350 мм). Боковая податливость обычной трехзвенной податливой крепи — 0,3, пятизвенной — 0,15 от вертикальной.

Применение трех- и пятизвенной крепи в условиях, отличных от пологого залегания, снижает несущую способность крепи на 60 %, а управляемую податливость — на 40 %. Обязательным требованием при установке податливой крепи является подрывка пород кровли по форме крепи на высоту не менее 0,5 м.

Результаты исследований преддеформационной характеристики металлической податливой крепи (условия пологого залегания) из спецпрофиля СВП-14-33 приведены в табл. 14.

Превышение указанных в табл. 14 значений нагрузок и податливости обычно нарушало эксплуатационное состояние выработки и требовался ремонт. В этой связи приведенные данные могут использоваться для предварительного выбора податливой или жесткой металлической крепи при оценке возможности обеспечить эксплуатационное состояние выработки без дополнительных мероприятий.

Несмотря на относительно большие нарушения (деформировано 20—48 %), что объясняется несоответствием условий применения этой крепи ее технической характеристике, металлическая податливая крепь является перспективной, однако применение ее следует ограничивать выработками, находящимися в зонах непосредственного влияния очистных работ.

Обязательным условием обеспечения работоспособности крепи является установка стяжек (обычно из уголка 60х60х6 мм) между смежными рамами из расчета одна стяжка на один несущий элемент, а в наклонных выработках (при угле наклона 10° и более) — две стяжки на один несущий элемент. Расклиновка рам должна в обязательном порядке произ-

водиться в замках крепи. Невыполнение этих требований снижает фактическую несущую способность крепи примерно на 20–25 %, а ее податливость — на 15–20 %.

Важное значение имеют качество и вид затяжки межрамного пространства. Широкое распространение получили деревянные и железобетонные затяжки (сетчатые и прутковые практически не применяются). Значимость их заключается в удержании забутовки в заданном положении, что способствует более равномерному приложению нагрузки на крепь. Несоблюдение этого уровня снижает несущую способность крепи и ее податливость на 20 % и более. Хорошие результаты дает рулонная стеклотканевая затяжка конструкции ВНИИОМШСом. Затяжку ВПР-10 изготавливают из стеклоткани на основе жгутового или саржевого плетения, связующих — лаков и эмалей на основе термопластических смол. Затяжку выпускают в виде рулонов длиной до 50 м и шириной от 700 до 1600 мм. Несущая способность затяжки 0,05–0,06 МПа. Масса 1 м² затяжки до 1 кг, стоимость — 2,6 руб.

Перекрытие стеклотканевой затяжкой осуществляется полосами вдоль выработки с нахлесткой по периметру и по длине. Применение этой затяжки позволяет снизить стоимость и трудоемкость крепления выработок на 8–10 %. Экономический эффект от применения 1 м² стеклотканевой затяжки по сравнению с железобетонной составляет 1,8–2,3 руб.

Сборные монолитные крепи применяют в относительно ограниченном объеме горных выработок (до 7 %), расположенных вне зоны непосредственного влияния очистных работ, при новом шахтном строительстве. Сборные монолитные крепи изготавливают из штучного камня (бетонных блоков) и тюбингов.

Основными достоинствами сборных крепей (тюбинговой; блочной) являются заданная податливость за счет применения прокладок или относительного перемещения элементов, восприятие нагрузки, не деформируясь, сразу после установки, высокая степень возможной механизации.

Блочная бетонная крепь является многошарнирной конструкцией и состоит из клиновидных неармированных камней с углом конусности 15–20°. Масса блока 300–400 кг, длина по внутреннему контуру принята 800 мм; по оси выработки — 500 мм, толщина 300, 400, 500 мм в зависимости от размеров выработки и необходимой несущей способности.

Между блоками (по периметру выработки) укладывают прокладки толщиной 30–40 мм, которые обеспечивают не только податливость, но и равномерную нагрузку конструкции. В качестве прокладок используют дерево, синтетические материалы, смолы спрессованные с опилками, и др.

Блоки стен и свода имеют сквозные отверстия, которые предназначены для возведения крепи, при необходимости они могут быть использованы для тампонажа закрепного пространства, навески кабелей и труб. Фундаментные блоки имеют специальную форму и используются при воз-

ведении крепи для укладки швеллерных балок, по которым перемещается крепеукладчик.

Для обеспечения работы сборных крепей требуется тщательная забутовка закрепного пространства. Размер забутовочного материала (обычно дробленая порода) не должен превышать $1/3$ размера закрепного пространства, величина которого наиболее целесообразна в пределах 100—150 мм.

Повышению несущей способности и долговечности блочной крепи способствует подача в закрепное пространство вяжущего (цементно-песчаного раствора состава 1:3; 1:5 по весу). Производить тампонирующие следует с отставанием от забоя на 40 м и более, чтобы в наибольшей мере использовать податливость крепи, которая составляет в вертикальном направлении 300—350 мм; в горизонтальном — 200—250 мм. Расчетная несущая способность блочной крепи конструкции Донгипрошахта — 550—650 кН/м², при равномерной (по периметру) нагрузке — до 1000—1200 кН/м²; фактическая — 300—500 кН/м², т.е. является достаточно высокой, что характеризует крепь как перспективную для применения в капитальных выработках.

Арокная тюбинговая гладкостенная крепь (КТАГ) конструкции ВНИИОМШСа имеет незамкнутую форму и состоит из тюбингов и полутюбингов. Тюбинг имеет вид цилиндрической плиты, усиленной по внешнему периметру ребрами (при установке ребра направлены в сторону массива). В тюбингах предусмотрены петли для удобства сборки. Ширина тюбинга 1000 мм, масса до 500 кг. Разработано и выпускается семь типоразмеров для площадей сечения выработки в свету 7,9—18,2 м². Радиальные ребра тюбингов в торцевой части имеют, с одной стороны, цилиндрическую выпуклость с радиусом 200 мм, с другой — аналогичную вогнутость с радиусом 240 мм, благодаря чему осуществляется шарнирное соединение тюбингов по криволинейной поверхности, и крепь приспособляется к возможной неравномерной нагрузке.

Полутюбинги предназначены для перевязки горизонтальных швов сплошную установленных смежных арок и возможности использования данного типоразмера тюбингов в выработках разной площади сечения (периметра). Число тюбингов в арке 5—7 (не считая обычно одного полутюбинга).

Расчетная несущая способность крепи 150—200 Па. Технологичность, достаточно высокая несущая способность характеризует этот вид крепи как перспективный для применения в капитальных выработках.

В Кузбассе прошла испытания с положительными результатами разработанная КузНИИШахтостроем сборная железобетонная тюбинговая крепь с податливой забутовкой, выполненной из бумажных или полиэтиленовых мешков, заполненных пенобетоном или породной мелочью. Положительные результаты при промышленных испытаниях показали блочные крепи БК (конструкции НИИОГРа) и ГБК (конструкции ИГМ им. Г.А. Цулукидзе АН ГрССР), которые имеют расчетную несущую способность

0,15–0,25 МПа. Однако эти крепи в условиях Донбасса не применяются, а по своим характеристикам не превышают рассмотренные БКА (БКЗ) и КТАГ.

Сборные монолитные крепи по своей характеристике (в том числе — податливости и шарнирности), технологичности, технико-экономическим показателям могут явиться эффективной заменой металлобетонных крепей, учитывая хорошую сочетаемость этих крепей с дополнительными мероприятиями (способами охраны).

Анализ перспективы развития горных работ в условиях Донбасса показывает, что возможный объем применения сборных монолитных крепей 20–22 %, т.е. эффективно может быть увеличен в 2,5–3 раза.

Успешно прошла испытания и внедрена на шахтах ПО "Карагандауголь" и ПО "Красноармейскуголь" крепь из бетонных двухклинчатых блоков ОПК конструкции ВНИИОМШСа для капитальных горных выработок. Крепь может иметь незамкнутую арочную и замкнутую кольцевую форму сечения. В комплект крепи входят: бетонные двухклинчатые блоки верхнего свода (9–15 штук), обратного свода (3–7 штук), фундаментные переходные блоки (2 штуки) и податливые прокладки (10–24 шт.). Монтаж крепи осуществляется шаблоном-крепеукладчиком. Крепь может быть использована в выработках площадью поперечного сечения в свету 7,4–17,2 м². Расчетная несущая способность крепи — до 96 МПа, максимальная вертикальная податливость — 300 мм. Максимальная масса блока — 460 кг.

На шахте "Никулинская" комбината Мосбассшахтострой внедрена крепь из крупноразмерных клиновых блоков КБ в капитальных горных выработках, проводимых щитовыми комплексами диаметром 5,2 м в неустойчивых породах. Она состоит из гладкостенных блоков, сопрягаемых в кольцо цилиндрическими поверхностями. Продольная и поперечная устойчивость крепи достигается наличием в блоках паза и гребня для соединения смежных колец в сочетании с размерами и формой элементов. Монтаж блочного кольца из 6 блоков производится внутри оболочки хвостовой части блокоукладчика щита. Несущая способность крепи — 0,45 МПа. Масса блока — 1280 кг. Применение крепи КБ позволило увеличить скорость проведения выработки на 13 %, уменьшить трудозатраты на 11 %, сократить расход металла на 30 %.

Комбинированные крепи представлены сочетанием анкерной или набрызгбетонной крепи, которые возводят в забойной части выработки и выполняют функции временной поддерживающей крепи и монолитной (в том числе сборной) или рамной (металлическая податливая) постоянных крепей. Опыт применения комбинированных крепей (хотя объем их использования — 1,8 % — недостаточный) показывает их эффективность, заключающуюся в возможном снижении материалоемкости на 15–20 %, увеличении преддеформационного времени (межремонтного периода) в 1,5–2 раза и достаточно высокой технологичности.

Временные крепи в комбинированных конструкциях воспринимают

до 30 % смещений пород и нагрузок на постоянную крепь при длительном поддержании выработки.

К недостаткам комбинированных крепей относят организационные осложнения, связанные с необходимостью дополнительного оборудования (для возведения временной крепи) и более четкой организации труда.

На данном этапе практически невозможно однозначно оценить соотношение достоинств и недостатков комбинированных крепей, но совершенно очевидна необходимость более широкой их промышленной проверки.

На шахтах ВПО "Кузбассуголь" хорошо зарекомендовала себя комбинированная крепь АМК конструкции КузНИИшахтостроя, которой закреплено 17 км горных выработок. Она состоит из арок металлической податливой крепи, между которыми в зависимости от условий работы крепи устанавливают металлические распорные или железобетонные анкера. Для специальных межрамных металлических подхватов крепь и анкера соединяются в единую грузонесущую систему, за счет чего обеспечивается их совместная работа.

Применение крепи АМК для крепления капитальных и подготовительных горных выработок позволяет в 1,6 раза снизить расход металла на 1 м выработки и увеличить несущую способность крепи в 1,7 раза по сравнению с металлической арочной крепью с железобетонной затяжкой при увеличении сметной стоимости проведения выработки не более чем на 2,46 руб/м³ в свету.

Набрызгбетонная крепь представляет собой смесь, состоящую из цемента, инертных заполнителей и воды, которая наносится на породные обнажения выработки направленным потоком сжатого воздуха, создавая поддерживающую конструкцию.

Нанесенный способом набрызга слой бетона обладает высокой прочностью, которая на 10–12 % выше прочности опалубочного бетона, и хорошим сцеплением (адгезией) с породой. Такой бетон, заполняя трещины и неровности на породном контуре выработки, уменьшает площадь обнаженной поверхности и сглаживает неровности, которые могут быть причиной опасных концентраций напряжений. Благодаря этому, напряженное состояние пород по периметру выработки становится более равномерным и однородным.

Затвердевший набрызгбетон создает систему "крепь–порода", составляя единое целое с породами, вмещающими выработку.

В зависимости от горно-геологических условий и назначения выработки набрызгбетонную крепь применяют как в самостоятельном виде, так и в сочетании с различными усиливающими элементами (анкерами, металлической сеткой и т.п.). Толщина набрызгбетонного покрытия изменяется от 2 до 20 см.

До настоящего времени набрызгбетонную крепь в качестве постоянной преимущественно применяли в условиях крепких устойчивых пород.

Однако в каменноугольных шахтах Великобритании набрызгбетон используют для крепления штреков, пройденных по пласту угля. На шахте "Южнодонбасская" № 3 ПО "Донецкуголь" набрызгбетоном был закреплен участок конвейерного квершлага, пройденного по глинисто-песчаным сланцам с $f=4\div 6$. Следует отметить, что при столбовой системе разработки выемочные штреки могут быть закреплены набрызгбетонной крепью. Это значительно сократит затраты средств и времени на подготовку фронта очистных работ. Если в дальнейшем горное давление в этих выработках будет увеличиваться, можно устанавливать дополнительную металлическую крепь или производить дополнительный набрызг.

К основным недостаткам набрызгбетонной крепи относят потери готовой смеси при ее нанесении в результате отскока от поверхности выработки, а также неровность внутреннего контура выработки, что ухудшает ее эстетический вид. Однако эти недостатки легко устраняются при совершенствовании технологии буровзрывных работ и средств механизации возведения набрызгбетонной крепи или применении проходческих комбайнов.

К достоинствам набрызгбетонной крепи, кроме вышеуказанных, следует отнести: весьма высокую эффективность применения в качестве усиления практически любой постоянной крепи; сохранение работоспособности при высокой степени нарушенности (в том числе и сквозными трещинами); предупреждение вывалообразования (см. п. 2.1.4); высокую эффективность применения при ремонте монолитных конструкций постоянной крепи. Крепь воспринимает смещения пород до 100 мм без нарушения сплошности. Очень важным достоинством набрызгбетонной крепи является укрепляющий эффект. Материал крепи проникает в трещины породного массива на глубину до 200 мм, создавая вокруг выработки монолитную породную оболочку.

Все это характеризует набрызгбетонную крепь как перспективную для широкого применения в выработках различного назначения и срока службы, как самостоятельной крепи, а также элемента комбинированных конструкций. Этот вид крепи имеет наиболее высокую степень механизации как фактическую, так и возможную. Благодаря этому и конструктивным особенностям (отсутствуют работы по возведению фундаментов временных поддерживающих конструкций и пр.), набрызгбетонные крепи обеспечивают снижение трудоемкости работ на 15—20 % и соответствующее повышение скорости проведения выработок.

Анкерную (штанговую) крепь применяют как в качестве самостоятельной крепи (в породах средней крепости и крепких при ожидаемых смещениях не более 100 мм), так и в комбинировании с другими крепями. С точки зрения принципа взаимодействия анкерной крепи с массивом можно выделить три характерные схемы.

Первая схема (метод "сшивки") заключается в том, что тонкослоистые породы с помощью анкеров скрепляются в единую балку, благодаря чему увеличивается сопротивление слоев изгибу.

Вторая схема (метод "подшивки") характерна тем, что анкеры подшивают слои слабых пород к вышележащему слою прочной породы. Слои слабых пород могут быть мощностью до 1,5–2 м, прочный слой должен иметь достаточную мощность и прочность для закрепления глубинных замков, а анкеры должны выдерживать вес всей подшитой толщи.

При третьей схеме прочные, разбитые трещинами породы сшиваются в более монолитную систему; в случае дальнейшей деформации при перемещении заклиниваются между собой, обеспечения повышения устойчивости породных обнажений выработки.

Конструкции анкеров классифицируются по: *материалу* (деревянные, металлические, железобетонные, полимерные, комбинированные); *характеру закрепления в шпуре* (замковые с закреплением в забойной части шпура — металлические, деревянные, с закреплением по всей длине шпура или значительной ее части — железобетонные, полимерные); *конструкции замка* (клинощелевые, распорноклиновые, распорноконусные, с закреплением по всей длине шпура); *возможности извлечения* (неизвлекаемые, частично извлекаемые, извлекаемые).

Для рассмотренных выше схем взаимодействия анкерной крепи с массивом, конструкции анкера с закреплением в забойной части шпура целесообразны при первой схеме; с закреплением по всей длине шпура — при второй и третьей схемах. Это связано с тем, что при первой схеме отмечаются различные смещения по всей длине анкера и в случае закрепления по всей длине анкер может быть разорван.

Наиболее простыми по конструкции являются металлические или деревянные клинощелевые анкеры, которые применялись в крепких породах, а также в условиях горнохимических рудников. Металлические анкеры с распорноклиновыми замками состоят из стержня, на одном конце которого имеется клиновья головка, а на другом — резьба под натяжную гайку. Закрепление анкера в шпуре производится завинчиванием натяжной гайки. Анкеры с распорноклиновыми замками более просты в установке и контроле за их состоянием по сравнению с клинощелевыми, имеют более широкий диапазон (по горно-геологическим условиям) эффективного применения. Эти конструкции фактически извлекаемые или частично извлекаемые. Однако опыт эксплуатации выработок, поддерживаемых в том числе и только анкерной крепью, показывает практическую невозможность извлечения анкеров, поэтому данный показатель во внимание принимать не следует.

Хорошие результаты показывают патронированные анкеры (полимерные). Они просты в установке, на их последующую работоспособность изменение степени обводненности пород влияния не оказывает.

Комплект крепи состоит из металлического стержня с комплектом контурного замка и пластикового патрона, разделенного ломкими перегородками на 2–3 отделения, в которых помещаются компоненты твердеющей смеси. Патрон подается в шпур стержнем, снабженным опорной площадкой, предупреждающей выход смеси из шпура до затвердения.

Стержень, раздавливая патрон, перемешивает компоненты, которые, вступая в реакцию, твердеют и закрепляют стержень в шпуре. Время перемешивания до 40 с., твердения 2—4 мин.

Хорошие практические результаты показывает смесь, состоящая из гипса (6—25 частей), сухого песка или измельченного кварца (20—44 части), силиката натрия (жидкое стекло 25—50 частей) с модулем 2,5—3.

Анкерные крепи с закреплением по всей длине шпура состоят из металлических стержней и закрепителя из быстротвердеющего химического состава на основе синтетических смол или быстротвердеющих смесей на цементной основе (железобетонные анкера).

Наряду с описанными конструкциями анкеров применяют трубчатые, закрепляемые в шпуре взрывом небольшого заряда. Такую конструкцию можно применять и в слабых пластичных породах. Для лучшего закрепления анкера в трубку после взрыва можно залить цементный раствор.

В слабых трещиноватых породах анкерные крепи устанавливают с подхватами, изготовленными из металлической полосы, швеллеров, спецпрофиля и т.п. и затяжками.

Длина анкеров для условий Донбасса составляет 2,0—2,5 м, плотность установки определяется из условий 0,5—1,2 м² площади поверхности выработки на один анкер.

Результаты шахтных исследований несущей способности анкерной крепи, полученные путем вытягивания анкеров из шпуров после их закрепления (табл. 15), могут быть использованы при составлении паспортов крепления.

Применение анкеров для предупреждения пучения обычно положительных результатов не дает, но значительно усложняет работы по ликвидации его последствий.

В наклонных выработках анкерная крепь предупреждает сползание пород почвы, при установке их с наклоном в сторону восстания — на 15—20°.

Таблица 15

Вид анкера	Предельная нагрузка на анкер (кН) при коэффициенте крепости пород f			Рекомендуемое число анкеров на 1 м ² обнажений	
	4	4—6	6	кровля	бок
Деревянный	10/7,5	10/7,5	10/7,5	2/3	1,5/2
Металлический	12/7,5	20/10	20/15	1—1,5/1,5	0,75—1/1
Железобетонный	25	30	25	0,75—1	0,5—0,75
Полимерный**	30	35	35	0,75	0,5

* В числителе — для сухих пород, в знаменателе — для обводненных.

** Значения даны для обводненных пород.

Сопоставление вышеприведенных данных с данными, полученными расчетными методами, показывает, что фактические данные на 15 % и более ниже, чем расчетные.

Достаточно высокая несущая способность, относительно низкие стоимость и материалоемкость, технологичность анкерной крепи свидетельствует о перспективности. В условиях Донбасса до 20 % выработок, в том числе и пластовых, характеризуются условиями для эффективного применения анкерной крепи (в том числе и как самостоятельного вида крепи).

2.1.4. Временные крепи. При проведении горизонтальных и наклонных горных выработок пространство между забоем и постоянной крепью поддерживается временной крепью, которая должна обеспечивать надежную защиту призабойного пространства от возможных обрушений пород (или предупреждать эти обрушения) и при этом улучшать условия последующего поддержания выработок, т.е. создавать благоприятные условия для работы постоянной крепи.

В соответствии с Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах отставание постоянной крепи (кроме каменной, бетонной или железобетонной) от забоев выработок не должно быть более 3 м. Для постоянной жесткой крепи отставание, предусматриваемое проектом, составляет не менее 15–20 м.

В призабойных участках выработок фиксируется до 40–50 % случаев травматизма за счет обрушения пород. Распределение обрушений по процессам проходческого цикла характеризуется следующими данными: приведение забоя выработки в безопасное состояние — 10 %; бурение шпуров — 17 %; уборка породы — 15 %; крепление — 50 %; прочие работы — 8 %.

Наибольшее число обрушений происходит во время установки крепи. Это объясняется, главным образом, несовершенством конструкций временных крепей и необходимостью их удаления при возведении постоянной крепи, из-за чего проходчики работают в раскрепленном пространстве. В практике горного дела применяют различные виды временных крепей.

По условию перемещения временных крепей вдоль выработки выделяют *немеханизированные* крепи, которые перемещаются вручную, и *механизированные*.

По конструктивным особенностям и принципу взаимодействия с породными обнажениями временные крепи могут быть разделены по аналогии с постоянными на три основные группы: оградительные, поддерживающие и укрепляющие.

Оградительные временные крепи не препятствуют смещению пород. Их основное назначение — предупредить попадание отделившейся породы в рабочее (призабойное) пространство выработки.

Конструктивно оградительные крепи делят на консольные (выдвижные) и передвижные.

Консольные выдвижные крепи получили широкое

распространение, занимая 80 % в общем объеме применяемых временных крепей при рамной постоянной крепи.

Эти крепи состоят из выдвигаемых опор, прикрепленных к установленным элементам постоянной крепи и настила. По форме настила они могут быть плоскими и шатровыми (двухопорными или трехопорными). Длина защитной консоли обычно не превышает 2–3 м, что требует установки постоянной крепи в призабойном пространстве, т.е. в зоне интенсивных смещений пород. Это создает неблагоприятные условия для работы постоянной крепи, тем более, что нагруженные консольные временные крепи могут вызвать перекосы несущих элементов постоянной крепи. Работы по возведению консольной крепи и ее передвижке обычно выполняют вручную в незащищенном рабочем пространстве.

Нормативная кратность использования подвижных крепей равна 10, т.е. один комплект должен использоваться на участке выработки длиной 15–20 м.

Фактическая же кратность использования консольной крепи не превышает 4–5, что в 2 раза и более ниже нормативной. Этот показатель отрицательно характеризует сопротивляемость крепи взрывным нагрузкам.

Передвижные оградительные крепи промышленного распространения не получили ввиду большой стоимости, высокой трудоемкости и сложности передвижения.

Поддерживающие крепи входят в непосредственный контакт с породой и могут обеспечивать распор до 80 кН. К рассматриваемой группе временных крепей относятся: стоечно-инвентарные, рамные и подвесные.

Рамные крепи, занимающие 14 % в общем объеме временных крепей, представлены жесткими арками двутаврового профиля и податливыми арками из СВП. Обычно они служат составным элементом постоянной металлической и металлобетонной крепи. Временные податливые рамные крепи устанавливают с увеличенным шагом, обычно кратным шагу постоянной крепи.

Достоинство временных рамных крепей — упрощенная технология крепления в целом. Однако они имеют существенный недостаток: установленные вблизи проходческого забоя рамы подвергаются воздействию взрывных работ и неравномерного горного давления, что вызывает их деформации до момента возведения постоянной крепи.

Работы по возведению временной рамной крепи производят в незащищенном пространстве и выполняют обычно вручную. Возможна частичная механизация работ за счет применения крепеукладчиков. Испытывая повышение деформации, рамная временная крепь создает неблагоприятные условия для работы постоянной крепи, тем самым снижая ее работоспособность.

Подвесная (бесстоечная) крепь состоит из плоских или арочных верхняков и подвесок (анкеров или штырей), при помощи которых верхняки крепят к породе. С отставанием от забоя на 5–10 м

устанавливают стоечные элементы. Эта крепь рассчитана на многократное использование, но из-за сложности разъединения подвесок с верхняками (при начавшемся процессе смещения пород) этот вид временной крепи обычно оставляют в качестве усиливающего элемента постоянной.

Область применения подвесных временных крепей ограничена наличием устойчивых и ненарушенных пород в боках и кровле выработки. Крепь характеризуется повышенным расходом материалов и высокой трудоемкостью установки, так как работы выполняются вручную.

Крепь имеет высокую взрывостойкость и может воспринимать нагрузку 40–60 кН. При активной длине анкерных подвесок более 1 м она частично создает систему "крепь–порода".

К *укрепляющим временным креплям* относят анкерную и набрызг-бетонную крепи. Эти временные крепи могут применяться и в качестве постоянных.

Анкерная крепь, "сшивая" слои пород или "подшивая" их к устойчивым породам основной кровли, препятствует их расслоению и обеспечивает развитие сил внутреннего трения. Эта крепь использует несущую способность породного массива и повышает устойчивость пород при статических и динамических (ведение взрывных работ) нагрузках. Крепь может применяться как индивидуальная, т.е. отдельные анкера не связаны между собой поддерживающими элементами, так и связная. В последнем случае применяют металлические верхняки или сетку. Связную анкерную крепь применяют при значительной природной или технологической трещиноватости породного массива, когда возможны обрушения пород на участках между анкерами.

Достоинством крепи является хорошая взрывостойкость, а также возможность облегчения конструкции постоянной крепи (увеличение шага крепи, уменьшение крепи и пр.). Недостатком ее следует считать относительно высокую трудоемкость крепления, которая производится обычно в незащищенном рабочем пространстве.

Временная набрызгбетонная крепь может являться составной частью постоянной крепи, независимо от ее конструкции. Это позволяет в целом снизить затраты на крепление. Например, при рамных конструкциях постоянной крепи временная набрызгбетонная крепь может использоваться в качестве затяжки. Наиболее целесообразно ее применение при постоянной набрызгбетонной или бетонной крепи. Временная набрызгбетонная крепь (в силу специфики крепежного материала и технологии возведения) связывает отдельные части массива, заполняет трещины и пустоты, в результате чего выравнивается и снижается концентрация напряжений по контуру выработки. Крепь обеспечивает создание системы "крепь–порода" уже в начальный момент проведения выработки. Трудоемкость ее возведения сравнительно низкая. Возведение крепи производится из закрепного пространства, что повышает безопасность работ.

Недостатки временной набрызгбетонной крепи — большая запыленность воздуха (до 100–150 мг/м³) и значительные потери материала при

Крепи	Несущая способность крепи, кН/м ²	Стоимость материала, руб/м	Стоимость монтажных работ, руб/м	Общая стоимость, руб/м	Трудозатраты, чел.-ч	Степень механизации %
Оградительная:						
консольная						
плоская	1-3	7,0	1,82	8,82	0,75	6
консольная						
шатровая	10-15	10,12	2,9	13,02	1,2	5
Поддерживающая:						
стоечно-инвентарная						
(комплект)	40	82-85	2,4	84,4-89,4	3,6	-
рамная	80	4,6-8,04	1,8-2,34	6,4-10,38	4-6	12
подвесная	50	13,74-17,54	5,02-5,76	18,76-23,3	2,5-3,0	8
Укрепляющая:						
анкерная индивидуальная	100	11,13	2,87	14	1,5-2,0	40
анкерная						
связная	100	22,23	8,44	30,67	2,3-3	40
набрызгбетонная	30-50	8,84	1,7	10,54	0,3-0,4	70

набрызге (до 30 %) — в значительной степени могут быть устранены совершенствованием средств механизации ее возведения.

Анализ конструкций рассматриваемых временных крепей, технико-экономические показатели которых приведены в табл. 16, позволяет сделать вывод, что наиболее полно требованиям, предъявляемым к временным крепям, отвечает набрызгбетонная крепь.

Достоинства временной набрызгбетонной крепи:

создание уже в начальный момент проведения выработки системы "крепь—порода", что улучшает условия последующего поддержания горных выработок;

обеспечение благоприятных условий работы постоянной крепи, так как созданная ровная поверхность способствует равномерному распределению напряжений по внешнему периметру постоянной конструкции, практически полностью исключает появление местных концентраций напряжений;

обеспечение надежной защиты породных обнажений от выветривания, в результате чего они длительный срок сохраняют свои свойства неизменными;

омоноличивание пород, что снижает, а в ряде случаев полностью прекращает поступление воды из окружающих пород в призабойное пространство;

• высокая степень механизации (ручной труд сохраняется только на вспомогательных работах, что в общем объеме не превышает 30 %).

Кроме того, временная набрызгбетонная крепь позволяет отделить (по месту производства работ) процесс возведения постоянной крепи от прочих операций проходческого цикла, что способствует росту степени механизации процесса крепления и увеличивает скорость проведения выработок.

Условия работы временной набрызгбетонной крепи существенно отличаются от условий работы постоянной набрызгбетонной крепи. Эти отличия, в основном, состоят в том, что временную набрызгбетонную крепь возводят в зоне интенсивного проявления горного давления и она подвержена воздействию взрывных нагрузок, при этом срок службы ее ограничен. Крепь должна быстро вводиться в эксплуатацию, поэтому к ней предъявляется ряд дополнительных требований: высокая прочность набрызгбетона в раннем возрасте; достаточная несущая способность крепи; хорошая сопротивляемость взрывным нагрузкам и высокая прочность сцепления с горными породами в раннем возрасте.

Наиболее рациональным для временной крепи составом набрызгбетонной смеси является: Ц:П (цемент—песок) = 1:3 с добавлением в качестве ускорителя схватывания фтористого натрия в количестве 4 % от массы цемента или силиката натрия в количестве 6 % от массы цемента. Этот состав смеси позволяет получить набрызгбетон с высокой ранней

Таблица 17

Вид добавок	Прочность образцов на сжатие (МПа) через, ч						
	1	3	6	12	24	48	72
NaF	0,75	1,23	1,85	2,84	3,68	4,88	6,21
Na ₂ SiO ₃	0,90	1,48	2,40	3,60	4,50	5,96	8,1
Без добавок	—	—	—	0,18	0,86	1,53	3,12

прочностью (табл. 17), что обеспечивает надежную защиту призабойного пространства выработки от возможных обрушений пород.

Для создания системы "крепь—порода" в начальный период проведения выработок временная набрызгбетонная крепь должна обладать сцеплением с породой уже в раннем возрасте. Устойчивость этой системы зависит не только от прочности набрызгбетона и породы, но и от величины сцепления между ними и глубины проникновения набрызгбетона в трещины приконтурного массива пород. При отрыве набрызгбетона от породной поверхности разрушение, в основном, происходит не по контакту его с породой, а по бетону, что подтверждает реальность создания системы "набрызгбетон—порода" сразу после возведения крепи. Величина сцепления через 1 ч после возведения крепи равна 0,17–0,18 МПа и зависит от типа пород, что объясняется проникновением набрызгбетона в мельчайшие трещины и неровности породы, наличие которых зависит от ее строения.

Учитывая, что при временной крепи возможным видом постоянной может быть также набрызгбетонная, были проведены исследования сцепления между постоянной и временной набрызгбетонной крепью в зависимости от вида деформаций последней. Анализ результатов исследований (табл. 18) показал, что деформации временной крепи в виде вывалов и сколов практического влияния на величину сцепления не оказывают, а деформации в виде трещин увеличивают сцепление, в среднем, на 30 %.

Таблица 18

Время испытаний, ч	Сцепление с временной набрызгбетонной крепью, МПа		
	недеформированной	деформации в виде трещин	деформации в виде вывалов и т.п.
1	0,74	1,09	0,86
2	1,6	1,25	1,14
3	1,31	1,73	1,34
7	1,86	2,32	1,79
28	2,62	3,5	2,81

Глубина проникновения набрызгбетона в трещины составляет 16–20 см и зависит от его состава и ширины раскрытия трещин. К параметрам временной набрызгбетонной крепи относятся ее толщина и срок службы.

Толщина временной набрызгбетонной крепи (m) определяется из условия равновесия ее при нагружении вывалом породы и работе на срез:

$$d = n Q / \Pi \sigma_{ср}, \quad (2.1)$$

n — коэффициент перегрузки, равный 1,5–2; Q — вес вывала породы, H ; Π — периметр вывала породы по контуру выработки, m ; $\sigma_{ср}$ — предел прочности набрызгбетона на срез, $Па$.

Срок службы временной набрызгбетонной крепи (сут)

$$t = 9 + 1,2 \cdot 10^3 \frac{d b}{a} [1 - 0,116 \sigma_{сж} / \gamma H + 0,34 \cdot 10^{-2} (\sigma_{сж} / \gamma H)^2] + 9,93 d \sigma_{сж} / \gamma H, \quad (2.2)$$

где b — ширина раскрытия трещин в породном массиве на контуре выработки, определяющая глубину укрепления приконтурного массива пород, $см$ ($0,05 \leq b \leq 1,0$); d — толщина крепи, $см$; γH — напряженное состояние массива, $Па$; a — ширина выработки, $см$; $\sigma_{сж}$ — прочность пород на одноосное сжатие, $Па$.

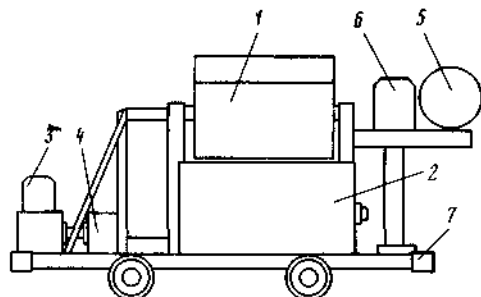
Проведенные исследования позволили установить область применения временной набрызгбетонной крепи: капитальные горные выработки, проводимые при наклонном или пологом залегании пород в условиях, характеризующихся критерием $\gamma H / \sigma_{сж} \leq 0,5$.

Применяемые в настоящее время машины для набрызгбетонирования типа БМ и ПБМ имеют ряд недостатков, которые в определенной мере ограничивают распространение набрызгбетона: значительное пылеобразование при возведении крепи, большие потери материалов за счет отскока, а также необходимость использовать заполнитель для набрызгбетонной смеси с ограниченной влажностью (до 4 %).

Указанные недостатки относятся ко всем машинам, основанным на сухом способе набрызгбетонирования (затворение сухой смеси водой производится непосредственно перед нанесением ее на поверхность выработки). Устранить их можно, применяя мокрый способ набрызгбетонирования, когда по магистрали к месту нанесения покрытия поступает уже приготовленная бетонная смесь. Этот способ находит все большее применение как в зарубежной практике, так и в СССР.

Однако отечественная промышленность выпускает только набрызгбетонные машины для сухого способа набрызгбетонирования. Поэтому Донецким политехническим институтом совместно с шахтами: Комсомольская (ПО "Антрацит") и им. 50-летия Октября (ПО "Туковуголь") были изготовлены машины для мокрого набрызгбетонирования: с пневматическим приводом ММНБ-1 и с электрическим приводом ММНБ-1э.

Рис. 27. Пневматическая машина для мокрого набрызгбетонирования ММНБ-1



При создании машин были учтены следующие требования: отскок материалов при нанесении набрызгбетона должен быть минимальным и не превышать 3–5 %; концентрация пыли в воздухе при производстве работ не должна превышать допустимой (10 мг/м^3); производительность машины должна обеспечивать минимальные сроки нанесения набрызгбетонного покрытия (20–30 мин); дальность подачи готовой бетонной смеси по смесепроводу должна быть не менее 20 м, чтобы не загромождать машиной призабойного пространства выработки; конструкция машины должна предусматривать возможность введения добавок ускорителей схватывания.

Пневматическая машина для мокрого набрызгбетонирования ММНБ-1 (рис. 27) состоит из верхней бетономешалки 1, соединенной с нижней бетономешалкой 2, к которой подключен растворонасос 3, приводимый в действие пневматическим приводом 4. Машина может работать как на чистом бетоне, так и с ускоряющими добавками, для которых предусмотрен бак 5. Бетонномешалки приводятся в действие пневматическим приводом 6. Все детали машины смонтированы на колесно-рельсовой платформе 7, для чего использована ходовая часть вагонетки ВГ-4. Внутри каждой бетонномешалки имеются смесители шнекового типа.

Верхняя бетонномешалка предназначена для грубого замеса смеси и обеспечения непрерывности работы машины. После грубого замеса смесь через отверстия в днище верхней бетонномешалки поступает в нижнюю, в которой заканчивается дриготовление набрызгбетона. Готовая смесь из нижней бетонномешалки подается растворонасосом в смесепровод, по которому она поступает в сопло. К соплу дополнительно подведен сжатый воздух, с помощью которого смеси придается необходимая скорость для набрызгбетона на поверхность выработки. Одновременно в сопло по другому шлангу подается добавка ускорителя схватывания (в жидком виде). Для обеспечения подачи добавки в сопло в баке для ускорителя схватывания создается избыточное давление сжатого воздуха (0,1 МПа).

В отличие от машины ММНБ-1 машина ММНБ-1э имеет одну бетонномешалку большей производительности и электрические приводы растворонасоса и бетонномешалки. Все узлы машины ММНБ-1э смонтированы на платформе от вагонетки УВГ-3,3 с шириной колеи 900 мм.

**Технические характеристики ММНБ-1 и ММНБ-1э
для мокрого набрызгбетонирования**

	ММНБ-1	ММНБ-1э
Максимальная производительность, м ³ /ч	6	5
Объем верхней бетономешалки, м ³	0,8	—
Объем нижней бетономешалки, м ³	1,1	1,6
Вместимость бака для ускорителя схватывания, л	100	80
Привод	Пневматический	Электрический
Давление воздуха в сети, МПа	0,5±0,1	0,5±0,1
Дальность подачи смеси по горизонтали, м	100	100
Дальность подачи смеси по вертикали, м.	20	20
Ширина колеи, мм	900	900
Размеры: мм		
длина	3680	3575
ширина	1200	1350
высота.	1800	1450

Промышленные испытания временной набрызгбетонной крепи проводились на шахте "Комсомольская" ПО "Антрацит" при проведении ходка в склад ВМ околоствольного двора и главного квершлага (гор. 960 м).

Временную набрызгбетонную крепь возводили сразу после производства взрывных работ и приведения забоя выработки в безопасное состояние на расстоянии 0,5 от забоя. Машина ММНБ-1 при этом была установлена стационарно и не загромождала призабойного пространства выработки, что обеспечивало возможность совмещения процесса возведения крепи с другими операциями проходческого цикла. Затраты труда и средств на возведение крепи составляли 1,44 чел.-ч и 9,8 руб. на 1 м выработки.

Применение временной набрызгбетонной крепи позволило заменить постоянную монолитную бетонную крепь на набрызгбетонную и повысить скорость проведения выработки на 30 %. При проведении квершлага на участке трещиноватых пород применение временной набрызгбетонной крепи практически полностью предотвратило вывалообразования.

Аналогичные результаты получены и при промышленных испытаниях машины ММНБ-1э в выработках шахты им. 50-летия Октября ПО "Гуковуголь". Затраты труда на 1 м выработки при площади поперечного сечения черне 8—14 м² составили 1,4—2,2 чел.-ч., средств — 10,2—17 руб.

2.2. Критерии оценки конструкции крепи.

2.2.1. **Степень механизации возведения крепи.** Проектная протяженность горных выработок современной шахты в Донбассе при сдаче ее в эксплуатацию составляет 45—80 км, или 500—1100 тыс. м³.

Из общего объема поддерживаемых выработок примерно 40 % составляют капитальные выработки, из которых только 80 % эксплуатируются вне зоны активного влияния очистных работ.

Для крепления выработок применяют крепи: деревянные, металлические, каменные, бетонные, железобетонные, смешанные, комбинированные (как исключение).

Процесс крепления является одним из наименее механизированных в проходческом цикле. Если степень механизации буровых работ 75 %, уборка породы — 70 %, взрывные работы — более 50 %, то степень механизации работ по возведению крепи в целом не превышает 10 %. Наиболее механизирован в настоящее время процесс возведения набрызгбетонной крепи, степень механизации — 46 %, а наиболее применяемая металлическая податливая крепь — всего лишь 5 %. Фактическая (возможная) степень механизации возведения различных видов крепи приведена ниже:

металлическая податливая	5 (50)
металлическая жесткая	4 (37)
монолитная бетонная	17 (71)
монолитная железобетонная	3 (27)
сборная железобетонная	10 (40)
набрызгбетонная	46 (95)
анкерная (штанговая)	34 (80)
деревянная	9 (59)*

* — с учетом предварительной заготовки элементов крепи.

Степень механизации в общем виде может быть оценена по зависимости:

$$a = \frac{\Sigma T_{\Pi} + \Sigma K_{\text{М}} T_{\text{ч}}}{\Sigma T_0}, \quad (2.3)$$

где T_{Π} — трудоемкость работ, подлежащих полной механизации (транспортирование, подача к месту установки), чел.-ч; $T_{\text{ч}}$ — трудоемкость работ, подлежащих частичной механизации, чел.-ч; T_0 — общая трудоемкость возведения крепи, чел.-ч; $K_{\text{М}}$ — коэффициент механизации, равный для рамных крепей 0,3, монолитных (в т.ч. сборные) — 0,4.

Возможная *степень механизации* — величина прогнозная, характеризующая перспективность работ по совершенствованию данного вида крепи для снижения трудоемкости процесса возведения и целесообразность ведения работ по созданию соответствующего оборудования. Поэтому она не может использоваться при оценочном выборе той или иной конструкции крепи. Для этого служит (при прочих равных условиях) фактическая степень механизации. Однако этот критерий практически не используется в связи со сложностью его объективной оценки. Например, крепь допускает более высокую степень механизации, но отсутствуют средства ее обеспечения. Характеризовать крепь отрицательно в данном случае нельзя.

2.2.2. Критерий целесообразности. Для оценки применяемого вида крепи используется критерий целесообразности, который включает в себя два показателя: вероятностную надежность крепи и вероятностную эффективность крепи:

$$K_{ц} = V + K_{эф}, \quad (2.4)$$

где V — показатель вероятностной надежности крепи; $K_{эф}$ — показатель вероятностной эффективности крепи.

Показатель вероятностной надежности крепи:

$$V = 1 - H_i, \quad (2.5)$$

где H_i — коэффициент отказа;

$$H_i = m_i / N \leq 1,$$

где m_i — протяженность деформированного участка (выработки), закрепленного данной крепью, м; N — общая протяженность участка (выработок), закрепленных данной крепью, м.

Показатель вероятностной эффективности крепи

$$K_{эф} = C_{\min} / C_i, \quad (2.6)$$

где $C_{\min}$ — стоимость 1 м³ выработки (полная с учетом затрат на поддержание), закрепленной данной крепью, руб.; C_i — стоимость 1 м³ выработки, закрепленной другой крепью в аналогичных условиях, руб.

Оптимальная величина $1,5 \leq K_{ц} \leq 2$. Для получения объективных данных и возможности практического использования критерия целесообразности необходимо периодическое обследование выработок. Периодичность обследования не должна превышать пяти лет. Этот срок достаточно объективно характеризует состояние крепи и достаточен для конкретных оценок технико-экономических показателей поддержания выработок. Эти работы обязательны и являются составной частью проблемы поддержания горных выработок в эксплуатационном состоянии.

2.2.3 Техничко-экономические показатели. К этой группе критериев относятся: извлекаемость и возможность повторного использования крепи; площадь, занимаемая крепью в сечении выработки и характеризующая величину необходимого увеличения размеров выработки вчерне по сравнению с проектными размерами в свету; надежность; стоимость и трудоемкость возведения крепи и ее ремонта; межремонтный период; отношение стоимости крепежного материала, используемого для данной крепи (C_m) к ее технической несущей способности (q_T).

Характеристики перспективных постоянных крепей по этим показателям приведены в табл. 20 и 21. Наибольшую надежность имеют нетрадиционные крепи, достаточно высокая надежность бетонной крепи (следует иметь в виду, что при деформациях непересекающимися трещинами

Таблица 20

Вид крепи	C_m/q_T	Надежность	Увеличение размеров выработки, %	Объем извлечения, %	Отношение объема повторно используемой крепи к объему извлеченной, %
Деревянная	6	0,70	25	20	10
Металлическая податливая	5,15	0,60	20	70	50
Сборная (блочная и тюбинговая)	7,3	0,60	30	—	—
Бетонная	6,15	0,76	30	—	—
Металлобетонная	15	0,40	35	10	—
Набрызгбетонная	3,5	0,90	8	—	—
Анкерная	3,97	0,80	8	10	—

Таблица 21

Вид крепи	Показатели, отнесенные к 1 м ² площади в свету			
	Стоимость крепления, руб.	Трудоемкость крепления, чел.-мин.	Стоимость ремонта, руб.	Трудоемкость ремонта, чел.-мин.
Деревянная	6,4	24,0	9,3	22,5
Металлическая податливая	18,4	32	7,2	20
Сборные (блочная и тюбинговая)	21	41,3	14,2	32
Бетонная	22	46	11,2	18
Металлобетонная	32—52	106	20,9—32,9	40
Набрызгбетонная	6—8	10	—	—
Анкерная	6—8	12	—	—

крепь переходит в шарнирный режим работы, не теряя несущую способность) и деревянной (сказывается ограниченный срок службы выработок, поддерживаемых этим видом крепи).

Низкая надежность у металлобетонной крепи, что может быть объяснено использованием металлических элементов в качестве временной крепи. Это приводит к повышенной их деформации и нарушает совместность работы металла и бетона. Эта же крепь имеет наибольший показатель C_m/q_T , что также характеризует ее низкую работоспособность и эффективность.

Показатель извлечения (повторного использования) характерен

Вид крепи	Межремонтный период поддержания выработок (лет) при направлении их относительно напластования:		
	вкрест	под углом	по простиранию
Деревянная	—	3,0 (3,5)	2,0 (2,5)
Металлическая податливая	4,4 (6,4)	4,0 (5,2)	3,1 (3,0)
Сборные (блочная и тюбинговые)	4,1 (5,2)	3,6	—
Бетонная	4,1 (5,8)	3,1 (4,2)	2,0 (3,1)
Металлобетонная	4,1 (4,6)	—	1,6 (2,2)

Таблица 23

Вид крепи	Межремонтный период (лет) в породах прочностью $\sigma_{сж}$, МПа		
	< 40	40—60	> 60
Деревянная	2,5	3,5	—
Металлическая податливая	3,8	5,2	7,1
Бетонная	3,05	4,1	5,5
Металлобетонная	2,86	3,1	3,4

только для металлической податливой крепи, в силу чего его не следует принимать во внимание при выборе крепи.

По всем показателям, приведенным в таблице, наименее эффективна металлобетонная крепь.

2.2.4. Межремонтный период. Это временной критерий, характеризующий продолжительность работы крепи от момента ее возведения до производства ремонта, необходимость которого обусловлена состоянием выработки (уменьшение размеров, деформированное состояние крепи и пр.), не соответствующим требованиям Правил безопасности.

Знание межремонтного периода позволяет определить целесообразность применения того или иного вида крепи в конкретных условиях и объективно оценить стоимость выработки с учетом срока ее службы. Анализ состояния выработок и характера ремонтов, выполняемых в них, позволил оценить межремонтный период крепи как характеристику ее работоспособности (табл. 22: в скобках указаны данные для пород с $\sigma_{сж}$ более 40 МПа).

Это важное направление работ развития не получило. Как видно из таблицы, степень совместного влияния двух рассмотренных факторов —

30 % и более. Получены только данные по отдельным видам (табл. 23) крепи выработок, пройденных по простиранию и поддерживаемых в условиях пологого падения (шахты: им. Челюскинцев, гор. 800 м; им. М.И. Калинина, гор. 841 м; "Кировская", гор. 880 м; шахтоуправление "Октябрьское", гор. 995 м, все ПО "Донецкуголь").

Влияющими факторами, кроме рассмотренных, могут быть: способ проведения выработки (приведены данные только для буровзрывного способа проведения), при комбайновом способе общее состояние выработки в первые годы ее поддержания лучшее; качество работ; деформационное состояние породного массива до проведения выработки.

В табл. 21, 22, 23 приведены средние показатели, полученные при обработке данных обследований выработок шахт Донбасса (90 % обследованных выработок проводили и поддерживали на глубинах 600 м и более, в том числе 30 % — на глубинах 1000 м и более).

По отдельным районам бассейна, главным образом в зависимости от условий залегания пород, фактические данные отличаются от средних не более 10 %.

Таким образом, эксплуатационное состояние выработки на длительный срок могут обеспечить крепи, соответствующие горно-геологическим условиям, а с точки зрения рассмотренных критериев преимущество имеют податливые и облегченные виды крепей.

2.3. Направление дальнейшего совершенствования крепей.

Конструкции крепей необходимо разрабатывать, ориентируясь на применение прогрессивной технологии ее изготовления. Для этого по возможности шире следует унифицировать крепи, предусмотреть взаимозаменяемость узлов и деталей.

Это, наряду с уменьшением числа типоразмеров крепей, позволит уменьшить трудоемкость возведения, применить механизацию при креплении. Для монолитных крепей уменьшение числа типоразмеров позволяет разработать конструкции унифицированных передвижных опалубок, обеспечить укладку бетонной смеси с помощью бетоноукладчиков.

Эффективность применения металлических податливых крепей в значительной степени зависит от работы податливых элементов. В конструкциях крепи их нужно размещать с учетом направления преобладающих смещений пород. Кроме того, необходимо увеличить несущую способность конструкций замков, что позволит обеспечить устойчивую рабочую характеристику крепи.

Имеющиеся крепи трудоемки, требуют больших затрат ручного труда при их возведении, в большинстве случаев нетехнологичны. Одним из направлений в решении этих вопросов может быть разработка нетрадиционных конструкций. В этом плане заслуживают внимания укрепляющие крепи (анкерная, набрызгбетонная) и крепи с предварительным распором, с помощью которых может быть создана система "крепь—порода"

уже в начальный период проведения выработки. Облегченные конструкции крепей при использовании способов охраны позволят уменьшить материалоемкость крепи и обеспечить эксплуатационное состояние выработок с наименьшими затратами на поддержание.

Особое внимание следует обращать на расширение использования не дефицитных местных материалов, применение новых материалов, которые позволят уменьшить расход металла и полностью исключить применение дерева в конструкциях долговечной крепи.

Учитывая показатели бетона, расширение области и увеличение объема его применения являются реальными условиями снижения затрат на крепление капитальных выработок.

Заслуживают внимания и щитовые крепи, обеспечивающие возможность механизации процесса крепления без особых сложностей, но они находятся только в стадии начальной разработки и, если не будет принято решение о форсировании этих работ, то щитовые крепи для выработок угольных шахт так и останутся на той же стадии своего создания.

Работа по совершенствованию крепи должна вестись с учетом следующих основных требований.

Крепь должна быть технологичной, крепление должно легко сочетаться с другими процессами проведения выработки. Это особенно важно для совмещения операций в призабойной части выработки.

Удельный вес несовмещенных операций за последние 10—12 лет увеличился на 55 % и в настоящее время в среднем составляет 0,7, имея пределы 0,3 (набрызгбетонная крепь), 0,9 (металлобетонные и бетонные крепи с применением стационарной опалубки).

Совместенность операций в значительной степени влияет на коэффициент использования оборудования. Так, при удельном весе несовмещенных операций 0,3 коэффициент использования оборудования достигает 70—75 %, а при 0,9 — только 20 %, увеличивая тем самым долю ручного труда. Это в определенной мере влияет на повышение трудоемкости крепления.

Требованию технологичности наиболее полно отвечает набрызгбетонная крепь и в достаточной мере сборные конструкции (блочная и тюбинговая).

Конструкция крепи должна обеспечивать возможность механизации ее возведения, так как увеличение глубины и интенсификации горных работ сопровождается увеличением площади поперечного сечения выработок, что, в свою очередь, повышает трудоемкость крепления. За последние 15 лет площадь среднего поперечного сечения капитальных выработок увеличилась в среднем на 50 %, что привело к увеличению трудоемкости возведения рамной и опалубочной крепи в 1,5—3,3 раза.

Наиболее механизировано возведение набрызгбетонной и сборных крепей (блочных и тюбинговых).

Метод расчета параметров крепи должен быть научно обоснован. В отличие от несущих конструкций наземных сооружений расчет крепи

горных выработок зачастую производят по аналогии (т.е. практически вообще не производят) или с использованием недостаточно обоснованных инженерных методов. Последние, основанные на обобщении шахтных и частично лабораторных исследований, имеют локальную область возможного применения, что предопределяет их разнообразие. В силу упрощенности и значительных допущений эти методы не всегда дают действенные результаты, что приводит к ошибкам при выборе конструкции и параметров крепи и дополнительным затратам на поддержание выработок. Поэтому разработка научно обоснованного метода расчета является обязательным условием совершенствования крепи.

Крепь должна обеспечить работу системы "крепь—порода". Это условие должно быть выполнено уже в начальный момент проведения выработки и может быть достигнуто путем применения набрызгбетонной или анкерной крепи в качестве временной.

Неоправданно малый объем их применения (в том числе и в качестве постоянной) объясняется психологическим фактором: недоверием к этим прогрессивным видам крепи из-за отсутствия в выработке традиционных поддерживающих конструкций и, кроме того, недостаточным знанием принципов их работы и возможностей.

Крепь должна быть взрывостойкой, так как основным способом проведения горных выработок все еще остается буровзрывной; это требование к крепи, в том числе и временной, является обязательным.

Исследования, проведенные Донецким политехническим институтом, показали высокую взрывостойкость набрызгбетонной крепи, в том числе и временной. Эта крепь без опасных деформаций воспринимает многократное воздействие взрывных работ, при удельном расходе ВВ (типа Т-19) до 4 кг/м^2 площади сечения выработки в черне. Достаточной взрывостойкостью обладает анкерная крепь. Непосредственное влияние взрывных работ по длине выработки наблюдается на расстоянии 10—12 м от забоя выработки (см. п. 1.3.2). В пределах указанных участков выработки в постоянной крепи необходимо предусматривать мероприятия, направленные на повышение устойчивости крепи.

Крепь должна учитывать гидротехническую характеристику пород. Агрессивное воздействие воды на крепежный материал вызывает деформации крепи в той же степени, что и горное давление. Результат анализа мер, принимаемых в строительном производстве для защиты от воздействия агрессивных вод бетонных и железобетонных конструкций, дает основание оценивать агрессивность вод в шахтных условиях согласно строительным нормам СН-249-63. Руководствуясь этими нормами, можно установить агрессивные свойства воды по отношению к применяемому крепежному материалу, выбрать материал, обеспечивающий водостойкость крепи, обосновать необходимость гидроизоляции крепи, когда агрессивность воды выше установленной нормы. С точки зрения обеспечения гидростойкости большое значение имеет однородность крепи, что необходимо учитывать при ее совершенствовании.

Снижение стоимости крепи может быть достигнуто применением местных строительных материалов. И в этом отношении наиболее рациональны набрызгбетонные и сборные монолитные крепи, которые в основных угольных бассейнах страны используют, главным образом, местные строительные материалы. Эффективным направлением в решении этого вопроса является применение малоотходной технологии крепления и снижение материалоемкости, чему в наибольшей степени отвечают на традиционные конструкции крепей и применение мероприятий, повышающих устойчивость породных обнажений и улучшающих условия работы постоянной крепи.

Крепь должна быть простой в исполнении, что обеспечит технологичность крепи и высокую степень ее механизации. При бетонной крепи выполнение этого требования достигается применением передвижных опалубок, которые на 75–80 % снижают трудоемкость и продолжительность вспомогательных (обычно ручных) работ. Кроме набрызгбетонной крепи, этому требованию в достаточной мере отвечают сборные и монолитные крепи.

Крепь должна занимать возможно меньшую площадь сечения выработки, что положительно скажется на общей стоимости и трудоемкости ее возведения и уменьшит выдачу породы.

Следовательно, наиболее перспективными являются набрызгбетонные, анкерные, монолитные и сборные крепи, что позволит значительно снизить расход леса и металла для поддержания выработок. В настоящее время на крепление выработок ежегодно расходуется более 5 млн. м³ леса, более 1 млн. металла и всего лишь 250 тыс. м³ бетона.

При креплении основных выработок угольных шахт Донбасса расход металла и бетона составляет соответственно 80 и 20 %. А в рудной промышленности эти показатели составляют соответственно 22 и 78 %. Таким образом, есть убедительные аргументы замены металлической крепи на бетонные или металлобетонные со снижением расхода металла.

2.4. Методические положения оценки затрат на крепление выработок с учетом срока их эксплуатации. В настоящее время затраты на крепление (C_H) учитываются только по их начальным значениям, включающим большое число показателей, в том числе стоимость крепежного материала, изготовление крепи, ее транспортирование, доставку и установку в выработке. При этом учитываются основные и вспомогательные работы. Аналогичное положение и с оценкой трудоемкости крепления, особенно в заключительной стадии этого процесса.

Но срок эксплуатации выработки по прямому назначению (t_B), периодичность ее ремонта, в первую очередь крепи, $(t_B/t_{HP} - 1)$ при межремонтном периоде (t_{HP}) и производимые при этом затраты (C_P) во внимание не принимаются. Опыт эксплуатации выработок, особенно в условиях глубоких шахт Донбасса, показывает, что затраты средств на поддержание выработок в эксплуатационном состоянии составляют 40–67 % (при деревянной крепи – 145 %) от начальных затрат (см. табл.

21), а труда — 40–76 % (при деревянной крепи — 90 %) при разовом ремонте. При длительном сроке эксплуатации (капитальные выработки) или непосредственном влиянии очистных работ (подготовительные участковые выработки) число необходимых ремонтов увеличивается (см. п. 1.3), соответственно возрастут и затраты на поддержание. Так, в условиях транспортного уклона пласта m_2 (шахта "Чайкино", гор. 651 м, ПО "Макеевуголь") при начальной стоимости крепления 286,2 руб/м, затраты на поддержание за 9 лет эксплуатации составили 656,7 руб/м при стоимости разового ремонта 137 руб/м. В западном коренном откаточном штреке пласта h_7 (шахта им. М.И. Калинина, гор. 758 м, ПО "Донецк-уголь") при начальной стоимости крепления 307,5 руб/м, затраты на поддержание составили 725 руб/м за 15 лет эксплуатации при стоимости разового ремонта — 302 руб/м.

В ходке механической доставки пл. K_8 (шахта им. Челюскинцев, гор. 800 м, ПО "Донецкуголь") затраты на поддержание за 10 лет эксплуатации выработки составили 694 руб/м при стоимости разового ремонта 146,5 руб/м и начальных затратах на крепление 307,5 руб/м.

Таким образом, учет стоимостных (трудовых) показателей только по начальным затратам искажает фактическое положение. Действующая методика учета затрат ограничивает применение дополнительных мероприятий по управлению состоянием породного массива. Мероприятия по охране вызывают дополнительные затраты, которые увеличивают начальные. Но в период эксплуатации выработок при использовании способов охраны затраты на поддержание значительно (на 50–90 %) снижаются (в ряде случаев при относительно небольшом сроке эксплуатации выработки полностью ликвидируются). Так, в откаточном штреке пласта l_5 (шахта "Тошковская", гор. 485 м ПО "Первомайскуголь") для предупреждения пучения пород почвы был применен способ охраны — взрывоцелевая разгрузка. За два года эксплуатации выработки фактический экономический эффект составил 120 руб/м при начальных дополнительных затратах средств 9 руб/м. Общий эффект составил 132 тыс.руб. Аналогичные результаты были получены в северном полевом штреке пл. k_8 , гор. 800 м шахты "Горская" ПО "Первомайскуголь" и в других условиях (см. п. 3.6).

Таким образом, очевидна целесообразность оценки затрат на поддержание выработок с учетом срока их эксплуатации по прямому назначению.

Предлагается учет затрат на поддержание выработки (руб/м) производить по зависимости:

$$C_{кр} = C_n + (t_v/t_{н.п} - 1) C_p, \quad (2.7)$$

где $t_v/t_{н.п}$ — возможное число ремонтов.

Стоимость ремонта C_p включает все виды затрат, связанные с обеспечением эксплуатационного состояния крепи. Аналогичным образом мо-

гут быть оценены ожидаемые затраты на ликвидацию последствий пучения пород почвы. В последнем случае проектом начальные затраты не предусматриваются, однако смещения пород почвы в выработку, нарушая режим работы транспорта и вентиляции, а в ряде случаев и вызывая деформации крепи, требуют производства работ по поддирке почвы. Затраты при этом составляют 16–50 руб/м³ удаляемой породы. Эти данные следует принимать во внимание, решая вопрос применения способа охраны для предупреждения пучения или снижения его величины до определенных пределов (по условиям работы рельсового транспорта допустимая величина пучения – 200 мм).

Использование рассмотренных положений дает объективную оценку необходимых затрат на обеспечение эксплуатационного состояния выработки, характеризует работоспособность данного вида крепи и целесообразность (возможность) применения его в конкретных условиях и реализует широкое применение способов охраны.

2.5. Методические положения расчета параметров крепи.

Положения основаны на сопоставлении результатов инструментальных замеров нагрузок на крепь и деформационного состояния ее. Оценка производилась на момент начала деформаций, которые вызывали изменение проектных форм и размеров данного участка выработки (место установки замерных станций) и сопровождалась отклонениями от требований Правил безопасности.

Исследования проводились в выработках, поддерживаемых металлической податливой крепью, сборной (блоки, конструкции Донгипрошахта и тубинги КТАГ, конструкции ВНИИОМШСа), комбинированными, где временными (а впоследствии – усиливающими) являлись анкерные и набрызгбетонные крепи, а постоянными – металлические податливые, сборные и бетонные крепи.

При анализе использовались результаты оценки несущей способности крепи косвенным методом. В комбинированных конструкциях крепи временные анкерные или набрызгбетонные (толщиной до 5 см) крепи снижают воспринимаемые постоянной крепью нагрузки на 30 %, смещения пород – на 25 %.

В этой связи значения нагрузок и смещений (P_p ; U_p), полученные расчетным путем (см. формулы (1.13), (1.16), (1.17), (1.18), (1.19), (1.20), (1.27), (1.36), (1.37) и непосредственными замерами, при оценке параметров постоянной крепи следует принимать:

$$P_{\phi} = 0,7 P_p; \quad U_{\phi} = 0,75 U_p. \quad (2.8)$$

Методика расчета параметров постоянной крепи следующая:

а. Находится фактическая несущая способность крепи, используя коэффициент работоспособности $K_{p.k}$ (формула 1.8). Значения технической характеристики крепи (q_T и U_T) для металлической податливой крепи принимаются по данным табл. 14.

Сборные крепи	Несущая способность q_T , МПа	Податливость U_T , мм	
		вертикальная	горизонтальная
Блочные	0,55–0,5	300–350	200–250
Тюбинговые	0,15–0,2	250	150

Техническая характеристика в зависимости от типоразмеров блочной и тюбинговой крепи приведена в табл. 24.

Технические характеристики бетонной крепи с трехцентровым сводом в зависимости от его толщины в замке и применяемой марки бетона, полученные в лабораторных условиях (табл. 25) и по фактическим замерам нагрузок на крепь в ее преддеформационный период (табл. 26), хорошо согласуются. При этом приведенные значения несущей способности характеризуют начало деформаций.

После обработки результатов моделирования методами математической статистики получена зависимость для определения уровня разрушающих напряжений (отношение разрушающих напряжений к прочности на одноосное сжатие материала) в процентах:

$$\sigma_y = 15,5 + 0,05 (M - 200) + 0,087 (d_0 - 200). \quad (2.9)$$

Используя зависимость (2.9) для $200 \leq M \leq 300$ и $200 \leq d_0 \leq 260$ мм, можно объективно оценить возможную несущую способность крепи (раз-

Таблица 25

Толщина свода в замке (d_0), мм	Марка бетона	Предел прочности на сжатие материала модели, МПа,	Разрушающая нагрузка, Н	Разрушающее напряжение σ_p , МПа	Уровень разрушающих напряжений, % от прочности материала модели	Предельная несущая способность крепи в натуре, МПа
200	200	0,62	6500	0,093	15	3
	250	0,74	8750	0,120	16,2	4,1
	300	0,81	9500	0,136	16,8	5,1
230	200	0,62	7500	0,107	17,3	3,5
	250	0,74	10500	0,150	19,9	5,0
	300	0,81	11205	0,161	20,3	6,1
260	200	0,62	8250	0,118	19,0	3,80
	250	0,74	12500	0,179	24,2	6,1
	300	0,81	13750	0,197	24,3	7,3

Толщина свода в замке d_0 , мм	Марка бетона М	Несущая способность крепи q_T , кН/м ²	Воспринимаемые вертикальные смещения пород U_T , мм
200	200	4950	100
	250	5000	100
	300	—	100
230	200	5500	110
	250	—	110
	300	7000	110
260	200	8000	120
	250	9000	120
	300	10 000	120

рушающие напряжения в натуре)

$$q_T = \sigma_y M. \quad (2.10)$$

Размеры боковых элементов (d) бетонной крепи рекомендуется принимать: в породах с $\sigma_{сж} < 60$ МПа — $d = 1,2d_0$; $\sigma_{сж} > 60$ МПа — $d = 1,15d_0$.

В табл. 26 приведены значения несущей способности при марках бетона 200, 250 и 300. Это фактические значения, полученные через 1,5–2 года после возведения крепи непосредственными испытаниями бетона.

Наиболее часто применяют крепь с толщиной свода в замке 231–260 мм (65 % обследованных выработок, поддерживаемых бетонной крепью), толщина 261–290 мм используется в 20 % выработок, 170–200 мм — 10 %. Имеют место отдельные случаи возведения крепи с толщиной 300 и 170 мм.

При бетонной крепи (видимо это справедливо и при набрызгбетонной крепи), учитывая непосредственный контакт с породой, влияние неровностей заметно, что позволяет значение коэффициента работоспособности крепи принимать $K_{рк} = 1$.

б) Значения фактической несущей способности сопоставляются с расчетными значениями (P_p ; U_p) нагрузок на крепь и смещений породного контура выработки:

при $P_p(U_p) < q_f(U_f)$ данная крепь может индивидуально применяться для поддержания выработки в рассматриваемых условиях, обеспечивая ее эксплуатационное состояние.

При $P_p(U_p) > q_f(U_f)$ индивидуальное применение данной крепи не обеспечивает эксплуатационное состояние выработки, неизбежен ремонт. В этом случае целесообразно применение другой конструкции крепи или дополнительных мероприятий (методика их оценки приведена в п. 3.2), которые снизят нагрузки и смещения пород на крепь до величин, приемлемых для данной крепи в преддеформационный период.

Достоинство рассмотренной методики — простота и объективность расчета, что ограничивает перерасход крепежного материала, т.е. снижает фактическую материальность крепи, однако объективность ее ограничивается условиями, в которых получены фактические данные, используемые при расчетах.

Расширение этих условий требует целенаправленных, длительных по времени (3–5 лет) исследований.

Фактические данные получены в следующих условиях: глубина расположения выработки 700–1100 м; прочность пород на сжатие — 40–75 МПа, направление выработки относительно напластования — любое, площадь поперечного сечения выработки в свету 7,8–19,2 м², способ проведения — буровзрывной.

Глава 3. СПОСОБЫ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

3.1. 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 по-

перечного 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.

Выбор радиуса закругления выработки может быть в равной степени отнесен к группе разгрузки, так как способствует снижению напряженного состояния данного участка породного массива, и к группе укрепления, так как уменьшает степень нарушенности пород.

Аналогичные примеры можно привести и по ряду других способов. Однако эта условность деления практически не вносит погрешности в оценку направления повышения устойчивости породных обнажений и улучшения условий работы крепи. Способы охраны по основному наиболее результативному признаку можно разделить на 4 группы:

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

3.2. Методические положения выбора способа охраны

Первоначально определяется *необходимость* применения дополнительного мероприятия. Решение этого вопроса рекомендуется производить, используя данные табл. 27, 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.

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 хоро-

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

ших 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. Целесообразность оценивается экономическими (стоимостными и трудовыми) показателями — 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 (табл. 27), используя данные табл. 22, 23 и 24, 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 целесообраз-

ности применения в конкретных горно-геологических и технических условиях дополнительных мероприятий. Поясним эту методику примером:

Пример. Оценить целесообразность применения способа охраны — взрывоцелевой разгрузки для условий полевого штрека, проводимого на глубине 800 м в сухих породах ($\sigma_{сж} = 50$ МПа, удельный вес пород $\gamma = 0,025$ МН/м³), поддерживаемого металлической арочной податливой крепью, при сроке его службы 15 лет и площади поперечного сечения в свету 10 м².

В указанных условиях (см. табл. 27) применение способа охраны необходимо, так как при глубине 800 м фактическая прочность пород, вмещающих штрек 50 МПа (меньше допустимой, которая равна 68 МПа).

По условию принята взрывоцелевая разгрузка — это обоснованно, так как у этого способа возможным для применения условием является:

$$0,5 \leq \gamma H / m \sigma_{сж} \leq 0,8,$$

фактически

$$\gamma H / (m \sigma_{сж}) = \frac{0,025 \cdot 800}{0,8 \cdot 50} = 0,5,$$

где m — коэффициент стойкости, равный 0,8 (см. табл. 1).

Для выполнения дополнительных работ, необходимых при этом способе, применяется проходческое оборудование (буровые установки), используемое при проведении выработки. Дополнительные затраты при этом способе составляют: средств — 7 руб/м; труда — 30 чел.-мин/м (для данных условий).

Из табл. 24 число ремонтов металлической податливой крепи в рассматриваемых условиях составит

$$15 : 5,2 - 1 = 1,8.$$

Из табл. 22 — общая стоимость ремонта равна $7,2 \times 10 \times 1,8 = 118,6$ руб/м, общие трудозатраты на ремонт $14 \times 10 \times 1,8 = 252$ чел.-мин/м.

Сравнивая затраты на ремонт с дополнительными затратами на взрывоцелевую разгрузку, приходим к выводу о целесообразности применения указанного способа охраны выработки в рассматриваемых условиях.

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 взрывоцелевой 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
Взрывоцелевая 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_{ϕ} и нагрузок на крепь P_{ϕ} , используемых при выборе крепи выработок, поддерживаемых с применением указанных способов охраны, следует пользоваться зависимостями:

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

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

3.3. Использование благоприятных горно-геологических и технических условий

3.3.1. 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" (ПО "Донецкуголь") все основные подготовительные выработки пройдены полевыми и расположены в песчаных и глинистых сланцах ($\sigma_{сж} < 60$ МПа).

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 (ПО "Донецкуголь") все основные подготовительные выработки пройдены по песчаникам ($\sigma_{сж} = 90$ МПа и более) 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. 28).

При $K_y > 0,3$ это мероприятие может не дать необходимого результата и для поддержания выработки в эксплуатационном состоянии потребуются 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.

Площадь поперечного сечения в проходке, м ²	Затраты на выемку 1 м ³ 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

3.3.2. 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° 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 [6].

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 однород-

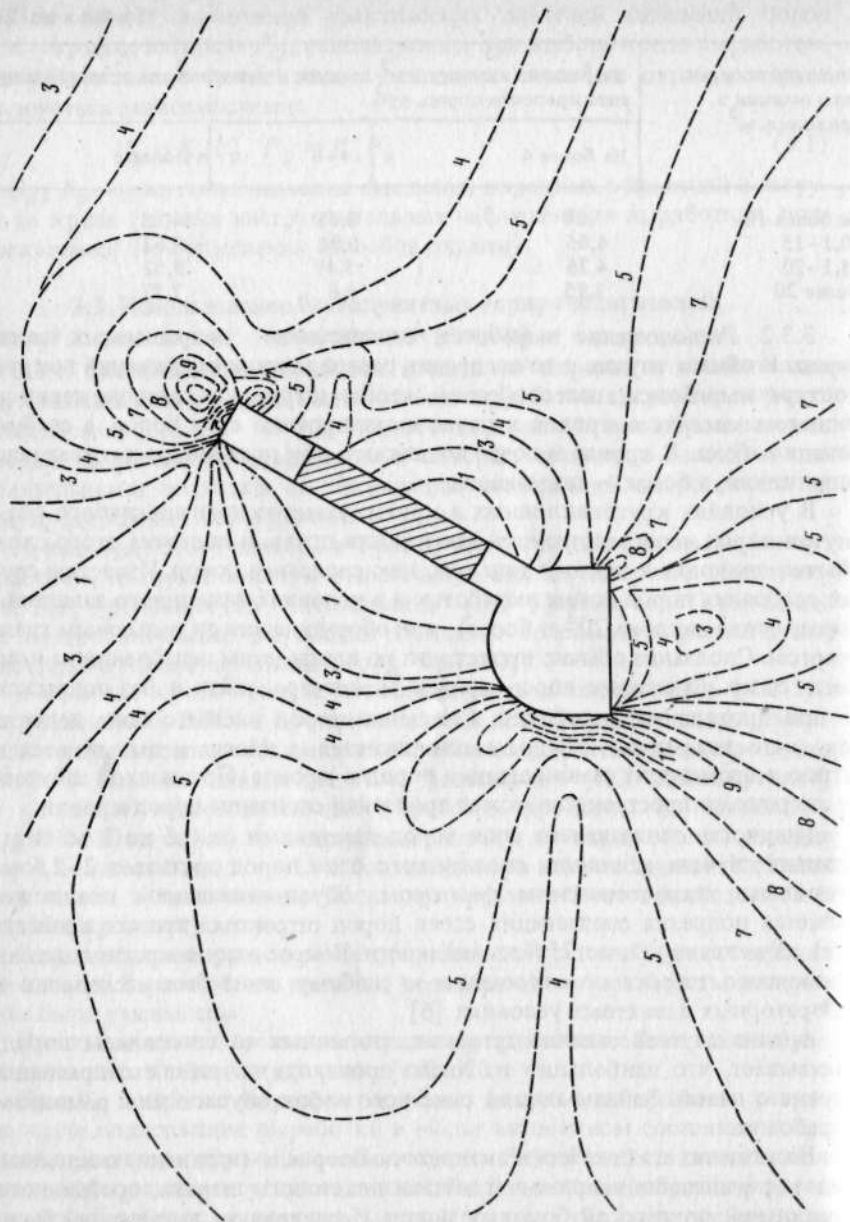


Рис. 28. Характер распределения максимальных касательных напряжений вокруг штрека, пройденного с подрывкой слабого слоя пород непосредственной кровли для однородного массива

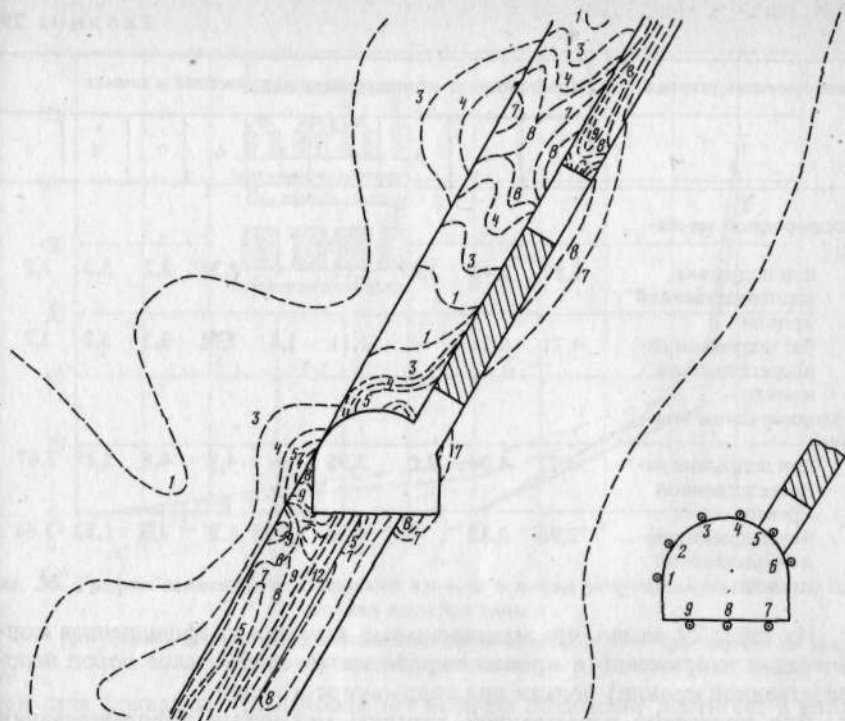


Рис. 29. Характер распределения максимальных касательных напряжений вокруг штрека, пройденного с подрывкой слабого слоя пород непосредственной кровли для неоднородного массива

ных породах. Имитировалась выработка с опережающей печью, что соответствует условию отработки пласта на крутом падении, и неблагоприятному условию с точки зрения поддержания штрека.

На рис. 28. приведены изохромы главных касательных напряжений вокруг штрека в однородном, а на рис. 29 — в неоднородном массиве, пройденном с подрывкой слабого слоя пород.

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.

В табл. 29 приведены значения коэффициентов концентрации главных нормальных напряжений для некоторых точек, показанных на рис. 29.

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	4,04	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

Из табл. 29 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 в опережаю-

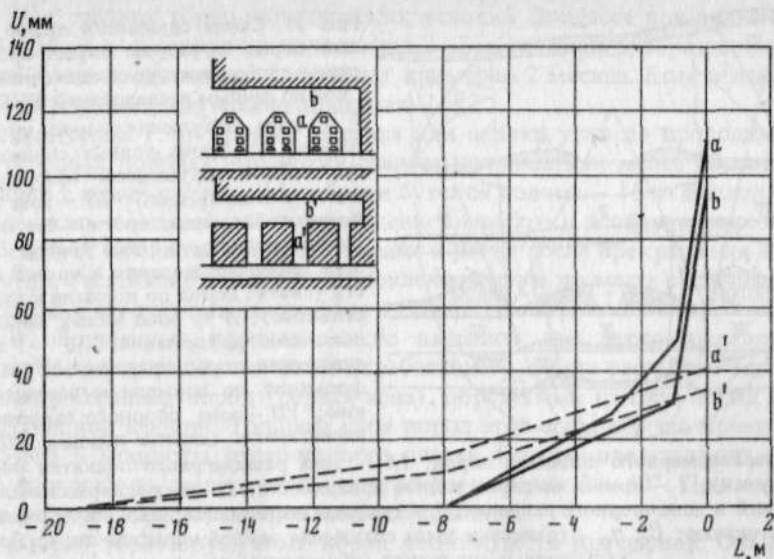


Рис. 30. График зависимости смещений кровли и почвы опережающей печи от расстояния до забоя лавы:

a, b — при охране штрека искусственными целиками; a', b' — при охране штрека угольными целиками

щей печи показали, что наибольших величин сближение достигает в нижней части печи, наименьших — у ее границы (рис. 30). 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.

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 подсекаются 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

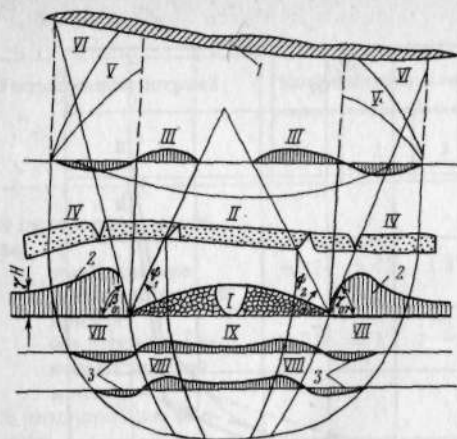


Рис. 31. Схема сдвижения толщи горных пород на разрезе вкрест простирания при выемке угля одиночной лавой по данным исследований ВНИМИ:

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; β_0, γ_0 – граничные углы сдвижения земной поверхности; φ_1, φ_2 – углы полных сдвижений (обрушений) пород

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.

3.3.3. Проведение выработок в обрушенных и уплотненных породах. После выемки пласта подработанная толща пород в пределах зон обрушения *I* и полных сдвижений *II* (рис. 31) разгружается от первоначального давления. 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 [9]. 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*:

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

где *l* – длина отрабатываемой 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 оставленного 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 применения 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 1 м), 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.

3.3.4. Выбор допустимых расстояний между параллельными выработками. Состояние породных обнажений и постоянной крепи выработки независимо от срока службы и назначения в значительной степени зависит от ее расположения относительно других выработок. В зоне взаимовлияния выработок породный массив, вмещающий их, испытывает повышенные напряжения, что увеличивает неравномерности смещений пород по периметру выработки, повышает их продолжительность и интенсивность. Это особенно четко проявляется, если одну из выработок проводят с отставанием от других на 20 суток и более. Под влиянием проходческих работ возникают вторичные смещения пород в массиве и на контуре уже пройденной и закрепленной выработки. Аналогичные явления наблюдаются и при длительных перерывах в проведении выработки.

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, исключаяющим 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 (см. табл.1); 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/м² 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 участ-

ков. Расположение выработок на безопасном расстоянии позволяет снизить затраты на поддержание 1 м выработок в период их эксплуатации, в среднем, на 15–25 руб. в год (шахта им. XXII съезда КПСС ПО "Становоголь", шахтоуправление им. газеты "Социалистический Донбасс" ПО "Донецкуголь"). Предложенная формула применима и для других бассейнов, но при этом, необходимо уточнить зависимость коэффициента K от $\sigma_{сж}$.

Если по ряду причин не удастся располагать выработки на расстоянии, исключающем 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.

3.3.5. Расположение выработок относительно границ угольных целиков
При оконтуривании околоствольных целиков горными работами у их границ возникают зоны опорного давления I (рис. 32), 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, около-

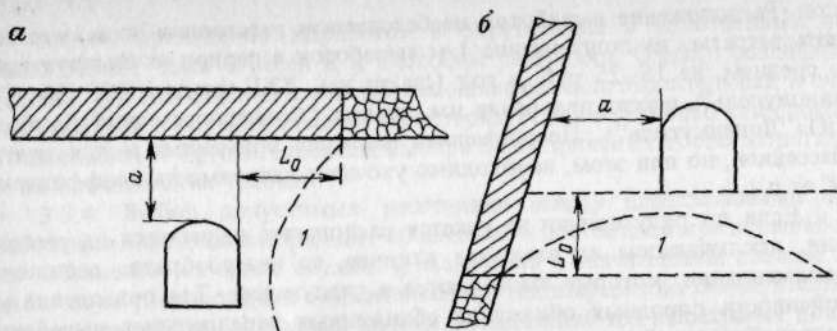


Рис. 32. Схема расположения краевых выработок околоствольного двора относительно границ целиков:
 a – при $\alpha < 18^\circ$; б – при $\alpha > 55^\circ$

ствольных дворов), которые обычно попадают в пределы этих зон. 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 α .

1). $\alpha \leq 18^\circ$ (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:

$$L_0 = 24(1 + 0,001H) + 0,2a, \quad (3.4)$$

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 $10 \text{ м} \leq a \leq 40 \text{ м}$.

Пример. Определить допустимое расстояние краевой выработки от границы целика L_0 , оставляемого в пределах пласта мощностью 1 м, расположенного на глубине 790 м, при $a = 20 \text{ м}$; $\alpha = 10^\circ$. Расчетная глубина расположения пласта $H = 790 + 1 = 791 \text{ м}$.

По формуле (3.4) находим:

$$L_0 = 24(1 + 0,001 \times 791) + 0,2 \times 20 = 42,984 + 4 = 47 \text{ м}.$$

При данных условиях расположение выработки на расстояние 47 м от границы вышерасположенного целика исключает развитие повышенных деформаций и связанные с ними дополнительные затраты на поддержание.

2). $19^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$. 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:

$$L_0 = [24(1 + 0,001H) + 0,2a] \cos \alpha. \quad (3.5)$$

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

Искомый размер L_0 в принципе может регулироваться изменением параметра a . Однако следует иметь в виду, что предел регулирования не превышает 16 %, а параметр a 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). $45^\circ < \alpha \leq 55^\circ$. В этих условиях используется зависимость (3.5), положив $\cos \alpha = 45^\circ$.

4). $\alpha > 55^\circ$ (рис. 32,б). Искомый 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 охраны 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.

3.3.6. 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 ($\parallel$) — 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 ($\perp$) — $61^\circ - 90^\circ$.

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 (см. табл. 6).

При проектировании системы выработок обычно учитывают возможность расположения в прочных породах, удобства транспортной схемы, объемы горных работ. Затраты на последующее поддержание выработок

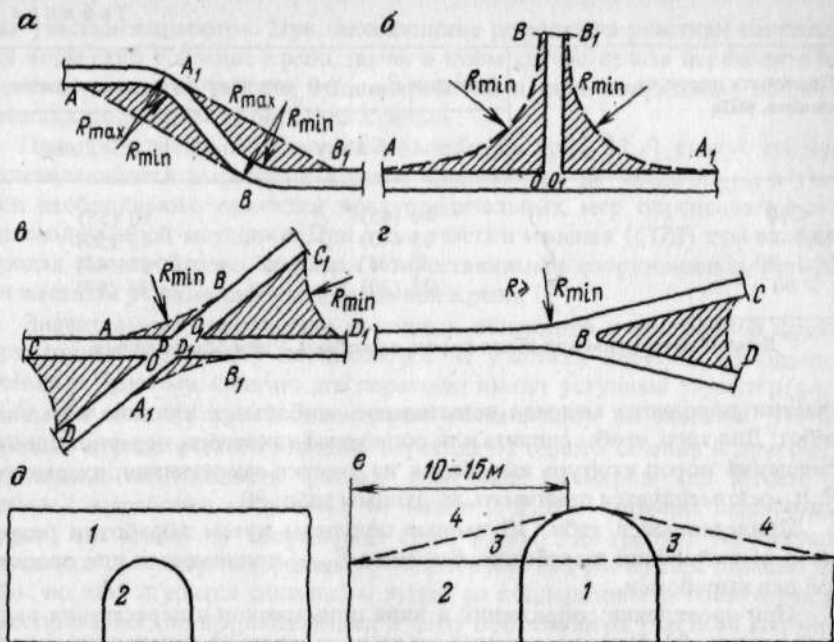


Рис. 33. Зоны повышенных напряжений на участках закругления (а), примыкания (б), пересечения (в), разветвления (г) выработок и участок перехода от одного сечения выработки к другому:

д — применяемый; е — рекомендуемый: 1, 2 — пересекающиеся выработки; 3, 4 — соответственно применяемая и рекомендуемая конфигурации пересечения

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 вкrest простиранья и под углом к простиранью). 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 простиранью, 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. 33) 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

Таблица 30

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.

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. 30.

Приведенные в табл. 30 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. 33, 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 АОВ ($A_1O_1B_1$) и СОД ($C_1O_1D_1$) определяются вписыванием между смежными сторонами примыкающих (пересекающихся) выработок окружности радиусом, равным $R_{\min}$ (табл. 30). Точки касания окружности со сторонами выработок (А, В, О, Д 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 ($C_1O_1D_1$) 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 протяжен-

ные 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 поддерживалось до ремонта податливой крепью.

При проведении разветвленной выработки (рис. 33,г) радиус сторон разветвляющейся выработки должен приниматься не менее $R_{\min}$, а участки 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 вчерне) по длине от сопряжений (рис. 33,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.

3.4. 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.

3.4.1. 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. 34) 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

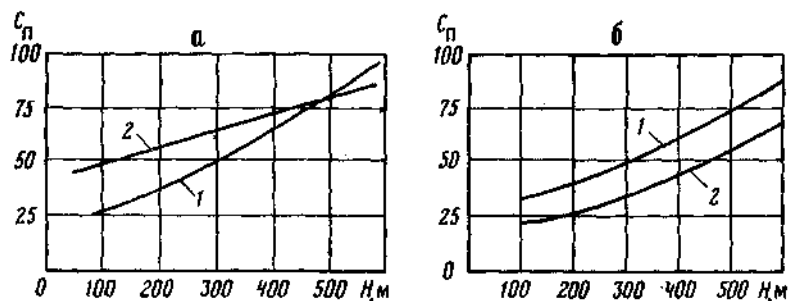


Рис. 34. Зависимость затрат на поддержание выработок C_n от глубины разработки H :

а – в условиях пологого и наклонного залегания; *б* – в условиях крутонаклонного и крутого залегания; 1 – при охране целиками; 2 – при других способах охраны

условиях, на 10–20 % выше, чем при любом другом способе охраны, в том числе при поддержании только за счет применения крепи.

В условиях целесообразного применения предохранительных целиков их ширина может приниматься по данным ВНИИ 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 γ – удельный вес пород, МН/м^3 ; H – глубина расположения пласта от земной поверхности, м; r – полупролет охраняемой выработки, м; m – мощность пласта полезного ископаемого, м; Δm – величина опускания кровли на 1 м выработанного пространства (из табл. 31), м; $\sigma'_{сж}$ – предел прочности полезного ископаемого на сжатие, МПа; α – угол падения пласта, градус.

Величина Δm для пород с $f \leq 4$ равна 0,035, с $f = 4 \div 6$ $\Delta m = 0,032$ и если $f > 6$, то $\Delta m = 0,3$.

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:

$$l_{\text{ц}} = (1,2 - 2) x_{\text{ц}}.$$

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. Следует также учитывать, что оставление предохранительных целиков значительно усложняет условия поддержания (в будущем) выработок нижерасположенных горизонтов. По данным обследования выработок шахт им. газеты "Социалистический Донбасс", им. Абакумова ПО "Донецкуголь", затраты на поддержание выработок под вышерасположенными целиками на 60—70 % больше, чем выработок, находящихся вне зоны влияния этих целиков. Видимо, с учетом развития горных работ и на малых глубинах их ведения оставление предохранительных целиков для охраны выработок может оказаться нецелесообразным.

3.4.2. 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 (1.31)

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

где B — пролет охраняемой выработки, м; γ — удельный вес полезного ископаемого, МН/м³; σ_p — прочность полезного ископаемого на разрыв, МПа; m — коэффициент потери прочности во времени (по данным табл. 1); 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:

$$h_2 = (0,5 - 0,8) h_1. \quad (3.9)$$

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

$$h_2 = 0,5 B \sqrt{\frac{q}{2\sigma_p}}, \quad (3.10)$$

где q — ожидаемая удельная нагрузка на почвенный слой со стороны вмещающих пород, МН/м².

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.

3.4.3. Укрепление пород нагнетанием вяжущего вещества. Условием возможного применения данного способа охраны является $\gamma H / (m \sigma_{сж}) > 0,3$ (γH — 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 м³/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 — $\sigma_{сж}^y$, 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 φ 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:

$$\sigma_{сж}^y = (1 + K_y) \sigma_{сж}. \quad (3.13)$$

Сопоставлением $\sigma_{сж}^y$ с 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 [5] на основании обобщения опытных данных рекомендует пользоваться зависимостью:

$$h_y = K_t(0,2 + 1,6 U) + 0,2, \quad (3.14)$$

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 (значения K_t приведены ниже):

$T_{сут}$	0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 30; 60; 120; 180; 210; 240; 270; 300
K_t	0; 0, 1; 0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,2; 0,3; 0,4; 0,46; 0,54; 0,56; 0,58; 0,59; 0,6.

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 $K_t \geq 0,6$ эффективность укрепления пород (в том числе и по начальным затратам) резко снижается и в большинстве случаев не обеспечивается конечный результат.

Как показал опыт применения способа (шахты: им. А.А. Скочинского; "Южно-Донбасская" № 3 ПО "Донецкуголь", им. А.Г. Стаханова ПО "Красноармейскуголь" и др.), работы по укреплению пород целесообразно проводить с отставанием от забоя на 15–20 м, но не более 60 м (фактический разрыв во времени между работами по проведению выработки и укреплению пород 5–30 сут.).

При этом исключаются помехи проходческим работам; предупреждается интенсивное развитие расслоения пород, что может привести к необоснованному перерасходу материала и значительному увеличению начальных затрат в 2–3 раза, а также к обрушениям пород (шахта им. А.А. Скочинского ПО "Донецкуголь"). При $K_f=0,18\div 0,3$ достигается высокая эффективность способа укрепления пород при длительной эксплуатации выработки.

Недостатком приведенных зависимостей для определения h_y является необходимость на данном этапе прогнозной оценки φ 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 1 м охраняемой выработки на участке ее укрепления:

$$V = 0,3h_y(r + h_y/r), \quad (3.15)$$

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_T) определяется в зависимости от объема забутовки (V_3) по формуле:

$$V_T = 0,3 V_3. \quad (3.16)$$

В практике ведения работ по укреплению пород используют песчано-цементные и цементные растворы; первые — для заполнения пустот в забутовке крепящего 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 ($B:Ц$) 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 m^2 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 после

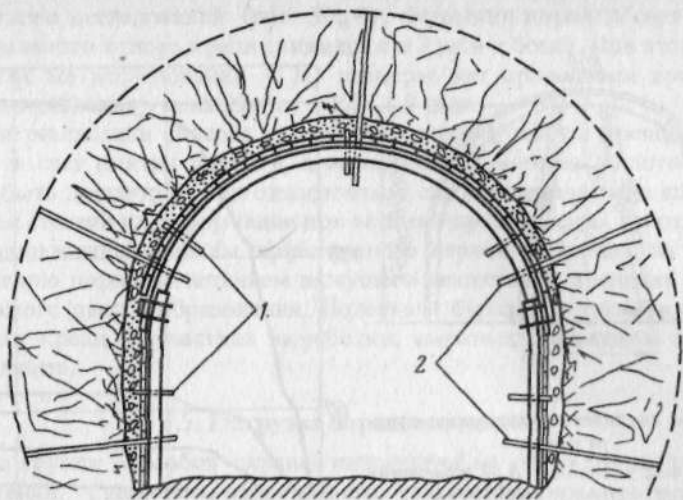


Рис. 35. Схема укрепления пород песчано-цементным раствором:

1 — кондукторы для заполнения пустот и крупных трещин; 2 — кондукторы для нагнетания раствора в средние и мелкие трещины

подачи раствора в породный массив, через 1 сут укрепленная порода начинает работать как монолит, обеспечивая несущую способность 8,5 МПа.

Ускорители схватывания также снижают расход раствора до 15 %. С этой же целью при рамных креях 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. 35) 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 кН/м².

Не рассматривая технологии производства работ по укреплению пород, так как этот вопрос детально изложен во многих публикациях [11, 13], считаем нужным отметить, что 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. По данным Макеевского инженерно-строительного института трудоемкость работ по укреплению пород составляет 0,18 чел.-смен, а прямые нормируемые затраты —

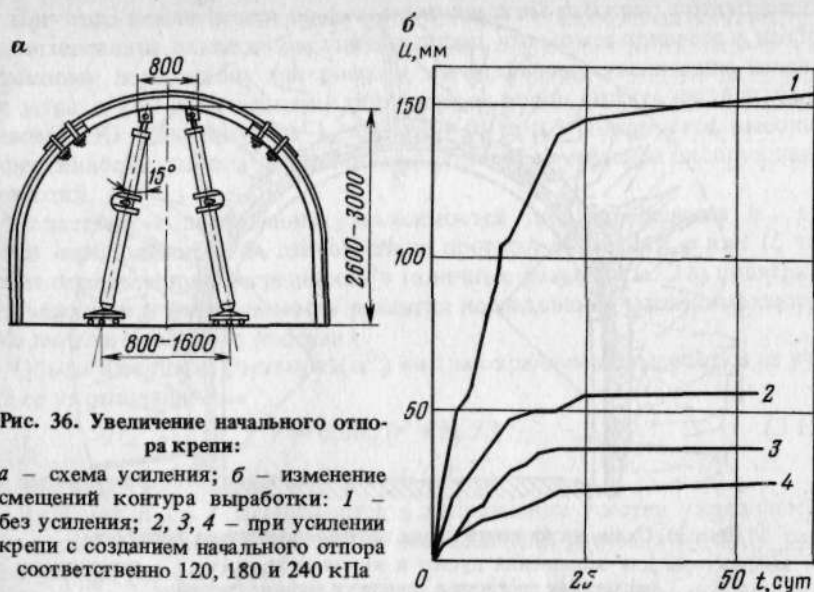


Рис. 36. Увеличение начального отпора крепи:

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

8,2 руб. на 1 м³ выработки в свету при площади поперечного сечения 11 м².

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.

3.4.4. Предварительный распор крепи заключается в создании в крепи дополнительного радиального (или близкого к нему) распора, 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.

Кроме того, при отпоре крепи 180–240 кН/м² обеспечивается смещение пород без значительного нарушения ее естественной сплошности [17].

Подобное решение может быть реализовано при металлических рамных крепях, в том числе и при последующем жестком режиме работы их. Усиление может производиться с помощью гидравлических стоек (рис. 36, 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/м². По

результатам исследований (рис. 36, б), смещения пород за счет увеличения начального отпора крепи снижаются в 3 раза и более. При этом по данным этих же исследований [17], 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.

3.5. 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 (взрывоцелевая разгрузка).

3.5.1. **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 — $0,4 h_{пл}$ ($h_{пл}$ — 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 $h_{пл} \geq 0,7$ 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: $0,5 \leq h_{пл} \leq 0,8$ 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.

3.5.2. 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 ΔS 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	$1,2$;	$1,15$;	$1,1$.

Использование расчетного значения ΔS дает общую оценку необходимого увеличения начального сечения, что позволяет оценить ожидаемые при этом начальные затраты, связанные с увеличением объема вынимаемой породы. Но при этом необходимо знание R , достоверное значение которого может быть получено только инструментальными наблюдениями. Использование расчетного значения ΔS для оценки необходимого увеличения высоты выработки Δh и ширины выработки ΔB (с одной стороны), учитывая неравномерность смещений особенно в начальный период поддержания выработки, может привести к ошибкам. В этой связи Донуги рекомендует пользоваться данными, которые получены опытным путем:

f	< 4 ;	$4-6$;	> 6 .
ΔB см	20 ;	$12,5$;	$7,5$
Δh , см	30 ;	20 ;	10 .

Не отрицая возможности использования приведенных выше данных,

мы считаем целесообразным пользоваться для расчетной оценки ожидаемых смещений породных обнажений кровли и боков выработки зависимостями (1.18), (1.19), (1.20) и сопоставляя полученные значения с приведенными выше данными, принимать в конечном итоге большее значение.

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.

3.5.3. 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. 37, а). Инструментальные наблюдения за характером развития горного давления и его величиной (рис. 37, б) при металлобетонной крепи показывают возможность при этом способе использовать облегченные крепи. 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

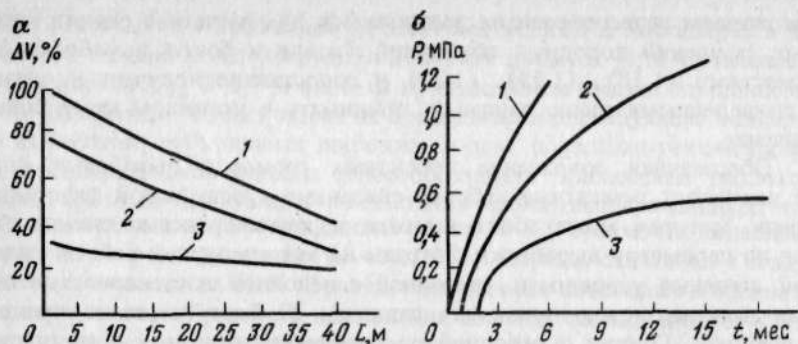


Рис. 37. Характер влияния места возведения постоянной крепи относительно проходческого забоя:

а — количество деформированной крепи ΔV 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

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 металлобетонную 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. Крепь обеспечила качественное поддержание выработки (обходная выработка околоствольного двора гор. 710 м шахты им. Ильича ПО "Стахановуголь").

Близкие к вышеизложенным результаты были получены и при оценке состояния других видов крепи (рис. 38). 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.

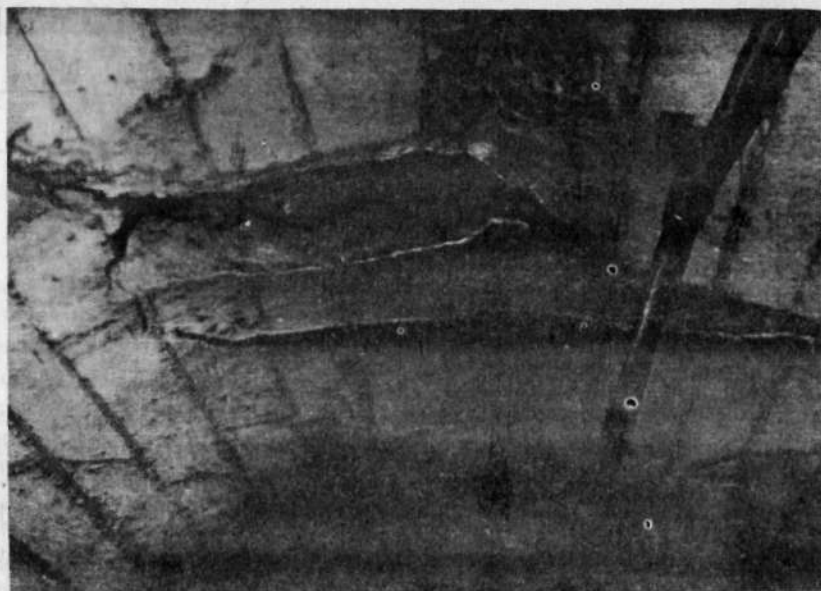


Рис. 38. Состояние бетонной крепи, возводимой на расстоянии 5 м от забоя

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

Нормативные скорости проведения выработок различного назначения (м/мес) для условий Донбасса приведены ниже.

Квершлаг и полевые штреки	70
Штреки с подрывкой	110
Бремсберги полевые	55
Бремсберги с подрывкой	35
Уклоны полевые	50
Уклоны с подрывкой	80

При проведении выработки со скоростями проходческих работ, отличающимися от приведенных выше при выборе места возведения постоянной крепи, рекомендуется пользоваться данными табл. 32.

Способ технологической податливости крепи за счет увеличения объема применения временной крепи требует увеличения начальных затрат

Скорость проведения выработки, м/мес	L (м) при прочности пород на сжатие, МПа	
	≤ 60	> 60
≤ 40	20	30
40–60	25	40
61–80	30	45
81–100	35	50
101–120	40	50
121–140	45	55
> 140	45	60

средств на 10 % (слабые породы) и 8 % (крепкие породы); труда – на 13 % (слабые породы) и 8 % (крепкие породы). Преобладающий рост трудоемкости крепления в слабых породах объясняется необходимостью частичного удаления деформированной породы для сохранения проектных размеров выработки перед возведением постоянной крепи. Эти работы выполняются вручную.

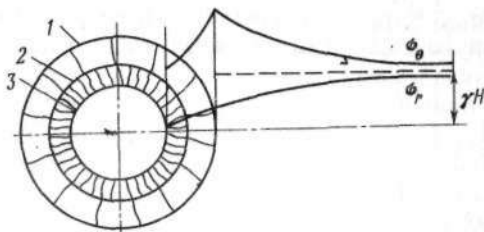
Ограничивающим условием применения способа является пучение пород почвы выработки. Исследования, проведенные в выработках, поддерживаемых постоянной жесткой крепью с применением способа технологической податливости шахт им. XXII съезда КПСС (гор. 913 м), им. Ильича (гор. 710 м) ПО "Стахановуголь", "Кочегарка" 1–5 (гор. 860 м) ПО "Артемуголь"; ш/у "Октябрьское" (гор. 995 м) ПО "Донецк-уголь" показали, что при величине пучения 400 мм и более наблюдались деформации боковых элементов крепи, требующие производства ремонта. Так как способ технологической податливости не снижает смещений пород почвы, его индивидуальное применение в условиях интенсивного и весьма интенсивного (см. табл. 5) пучения может не обеспечить улучшения состояния выработки. В указанных условиях его применение целесообразно в комбинировании со способами охраны, предупреждающими пучение (например, взрывоцелевой разгрузкой). Это тем более целесообразно, что производство подделки для нормализации работы транспорта и режима вентиляции обычно не способствует улучшению условий работы крепи.

3.5.4. 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. 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. 39) заключается в образовании зоны неупругих деформаций I до обнажения проектного контура

Рис. 39. Схема проведения выработки в два этапа:

1 — зона неупругих деформаций;
2 — проектный контур выработки;
3 — передовая выработка



выработки 2. С этой целью проводят передовую выработку 3 площадью поперечного сечения $S_{\text{п}}$, 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 τ_{min} . Касательные напряжения равны полуразности нормальных σ_{θ} и радиальных σ_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; λ — коэффициент бокового распора).

Радиальные напряжения характеризуются отпором $q_{\text{кр}}$, создаваемым на породном контуре выработки крепью, а по мере удаления от породного контура в глубь массива суммарным отпором крепи $q_{\text{кр}}$ и толщи пород $q_{\text{п}}$. 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. Несоущая способность породы (прочностная характеристика) возрастает по мере перехода от одноосного к трехосному напряженному состоянию.

В начальный момент после выемки породы на контуре выработки действуют наибольшие нормальные напряжения при действии (после установки крепи) относительно малых радиальных напряжениях, т.е. действующие касательные напряжения $\tau_{\text{д}}$ стремятся к наибольшему значению и обычно превышают допустимые касательные напряжения τ , которые могут восприниматься породой без опасных деформаций. При $\tau_{\text{д}} > \tau$ 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. 39) при действии σ_r , равной

($q_{кр} + q_{п}$), что снижает величину τ_d . 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. Способ не предусматривает предупреждения пучения пород почвы, хотя опыт успешного его применения имеется на шахте им. А.А. Скочинского (ПО "Донецкуголь"). 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. 39).

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. Высокая скорость по второму этапу работ была достигнута при использовании комбайна ударного действия "Галлик-Добсон" на шахте им. газеты "Социалистический Донбасс" (гор. 714 м) ПО "Донецкуголь". Скорость подвигания выработки при втором этапе работ составила 200 м/мес.

Выработку проводили в породах с $f=5\div 7$ проектной площадью поперечного сечения выработки вчерне 14,2 м². Передовая выработка имела площадь поперечного сечения вчерне 8,5 м² и поддерживалась металлической податливой крепью. Толщина породного слоя между контуром передовой выработки и контуром проектной выработки составляла

Таблица 33

Прочности пород на сжатие, МПа	S_{Π}/S	L , м	T , мес
≤ 40	0,5	40	1,5
41–60	0,6	50	2
> 60	0,7	60	3

Таблица 34

Предел прочности пород на сжатие, МПа	Уменьшение размеров передовой выработки (м) относительно проектных, при проектной площади поперечного сечения, м ²				
	≤ 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

0,55–0,65 м. После возведения постоянной бетонной крепи смещений пород проектного контура не отмечено.

Параметрами способа является отношение площади поперечного сечения передовой выработки (S_{Π}) 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. 33), основанные на результатах шахтных исследований.

Для соблюдения параметра S_{Π}/S поперечные размеры передовой выработки (полупролет и высота) должны быть в зависимости от прочности пород на 0,3–0,9 м меньше проектных (табл. 34).

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 (табл.

Предел прочности пород на сжатие, МПа	Дополнительные затраты, отнесенные к 1 м ² , %		Срок окупаемости, мес.
	средств	труда	
< 40	16	12	4
41–60	10	8	6
> 60	8	6	12

35), которые окупаются за счет снижения или полной ликвидации затрат на поддержание 4–12 мес.

Дополнительные затраты 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. В условиях шахт им. Ильича ПО "Стахановуголь" порожняковую выработку околоствольного двора гор. 710 м проводили в два этапа с применением постоянной бетонной крепи (толщина 300 мм) взамен металлобетонной крепи толщиной 350 мм из двутавровых балок № 26, устанавливаемых через 0,5 м (снижение затрат на постоянную крепь составило 46 %). Наблюдения за состоянием выработки, проводимые более 20 лет, не зафиксировали деформаций бетонной крепи. За этот же период все остальные выработки околоствольного двора гор. 710 м были полностью перекреплены. Начальные затраты на проведение выработки были снижены на 18 % по сравнению с проектными.

Нормативная скорость проведения выработки v (м/мес):

$$v = \frac{v_p v_r}{v_p - v_n}, \quad (3.18)$$

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 вышеприведенных.

Как показывает опыт промышленного применения рассматриваемого способа охраны, проведение передовой выработки со скоростью 100–120 м/мес обеспечивает соблюдение нормативной скорости проведения выработки в целом. Применение способа проведения в два этапа помимо общего улучшения состояния выработок обеспечивает более быструю сбойку выработок между собой. Это позволяет при новом шахтном строительстве быстро включить общешахтную вентиляцию. Способ, в случае

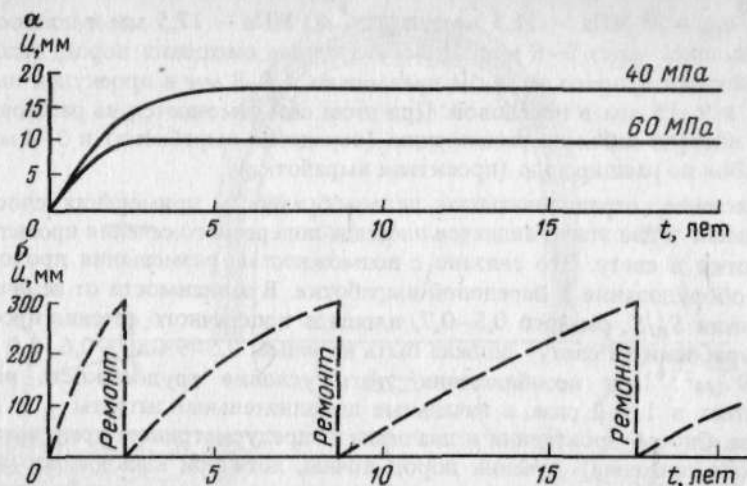


Рис. 40. Графики смещений контура выработок шахты им. Артема (гор. 860 м) ПО "Дзержинскуголь" через 20 лет после сдачи в эксплуатацию с крепью:
 a — бетонной; b — металлобетонной

применения одновременно в нескольких выработках, практически не оказывает влияния на скорость проведения выработок. При этом способе скорость проведения выработок гор. 710 шахты им. Ильича ПО "Стахановуголь" составила 45 м/мес (порожняковая ветвь ствола № 4) — 75 м/мес (квершлаг $l_2 - K_1$). Это объясняется снижением потери времени между работами первого и второго этапов.

Рассматриваемым способом были пройдены все основные выработки гор. 860 м шахты "Кочегарка" ПО "Артемуголь" и закреплены бетонной крепью вместо намечаемой проектом металлобетонной. В течение двадцати лет эксплуатации выработки (рис. 40) находятся в хорошем состоянии независимо от направления выработки относительно напластования пород и прочности вмещающих пород.

Способ требует строгого соблюдения параметров, установленных для конкретных условий. Невыполнение этого требования приводит к снижению последующей устойчивости породных обнажений. Так, при проведении порожняковой ветви ствола № 3 шахты им. XXII съезда КПСС (гор. 913) ПО "Стахановуголь" при выполнении работ первого этапа передовая выработка была пройдена на 0,6 м выше проектной отметки, в результате чего породные обнажения кровли передовой и проектной выработки совпали. Это привело к образованию вывалов при выполнении работ второго этапа и увеличило объем вынудной породы на 32 %, что вызвало общее увеличение начальных затрат на 16 %. Через 10 месяцев смещения пород кровли достигли 210 мм, в выработке был проведен ремонт.

При соблюдении требуемых параметров наибольшие смещения пород проектного контура выработки составляли в породах с $\sigma_{сж} > 60$ 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 $S_{п}/S$, равного 0,5–0,7, площадь поперечного сечения проектной выработки (в свету) должна быть не менее: 0,5–9,6 м²; 0,6–8,0 м²; 0,7–6,9 м². 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 % (штрек пл. K_5 , гор. 710 м, шахта им. Ильича ПО "Стахановуголь"). В этой связи при величине пучения пород почвы 400 мм и более эффективность способа снижается в 1,5–2 раза. В этих условиях 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. Следует отметить имевшие место (шахта им. А.А. Скочинского, ПО "Донецкуголь", уклон на гор. 1200 м; полевой штрек, гор. 1200 м; квершлаг, гор. 1200 м) попытки применить способ для предупреждения последующего пучения при длительном сроке эксплуатации выработок (более 10 лет). С этой целью при производстве первой подрывки, которая проводилась при величине пучения 250–300 мм (через 4–6 мес. после проведения выработки), почве придавался обратный свод с прогибом $1/4 B$ (B — ширина выработки вчерне). Результаты оказались вполне удовлетворительными, в течение восьми лет эксплуатации пучения пород в выработках не наблюдалось.

3.5.5. Взрывощелевая разгрузка породного массива. Сущность способа охраны (рис. 41) 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.

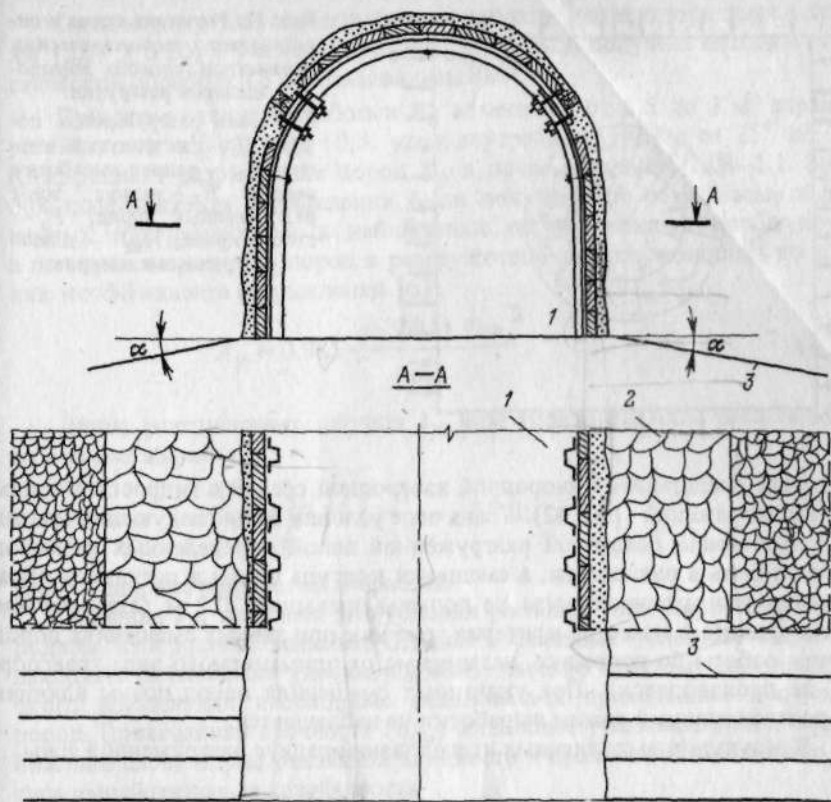


Рис. 41. Схема способа охраны выработок взрывоцелевой разгрузкой породного массива:

1 – выработка; 2 – разгруженная зона; 3 – разгрузочные шнуры

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 [6], 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 шнуров и угол наклона их к горизонту) и параметры взрывных работ (масса заряда ВВ в разгрузочных шнурах и расстояние между ними).

При определении геомеханических параметров решалась аналитическая задача о взаимодействии искусственно созданной разгруженной зоны по величине, равной длине разгрузочных шнуров, с нетронутым массивом,

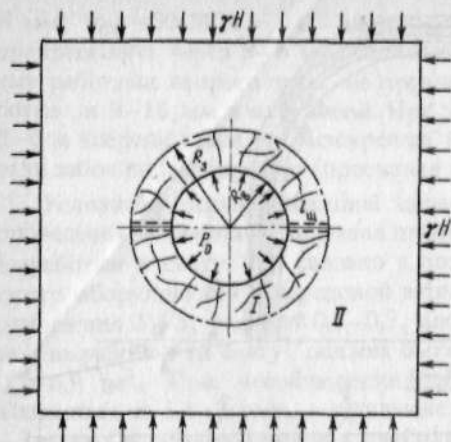


Рис. 42. Расчетная схема к определению геомеханических параметров способа взрывоцелевой разгрузки:

I — зона разгруженных пород; *II* — нетронутый массив; $R_в$ — радиус выработки вчерне; R_3 — радиус зоны разгруженных пород; P_0 — отпор крепи; $l_{ш}$ — длина разгрузочных шпуров

который представлен однородной изотропной средой с гидростатическим полем напряжений (рис. 42). 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 производятся). При указанных смещениях пород почвы влияния на вентиляционный режим выработки не наблюдается.

В результате выполненных исследований радиус разгруженной зоны:

$$R_3 = R_в \exp \frac{1}{\sigma_{сж}} \left[\gamma H - \frac{2A \gamma H + \delta_{сж}}{2(1+A)} \right], \quad (3.19)$$

где $R_в$ — радиус выработки, м; R_3 — радиус зоны неупругих деформаций, м; γH — характеристика напряженного состояния массива, Па; $\sigma_{сж}$ — прочность пород на одноосное сжатие, Па; $\sigma_{сж}$ — остаточная прочность пород в разгруженной зоне, Па; $A = \sin \varphi (1 - \sin \varphi)$ — условная характеристика среды, где φ — угол внутреннего трения пород.

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

$$R_3 = R_в \exp \left\{ \frac{\left[\frac{2U_{доп}}{R_в(K_p-1)} - 1 \right]^{A-1}}{2A} \right\}, \quad (3.20)$$

где $U_{доп}$ — допустимое смещение почвы выработок, равное 0,2 м, K_p — коэффициент разрыхления пород.

Оптимальная длина разгрузочных шпуров, удовлетворяющая условиям (3.19 и 3.20) 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° до 35° . 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 [6]:

$$K_p = 0,985 + \frac{0,018 \sigma_{сж}}{\sigma'_{сж}}. \quad (3.21)$$

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

$$l_{ш} = \left(0,15 + \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} \right)^2 A B, \quad (3.22)$$

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

$$\sigma_{пр} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \frac{S_i}{x_i} / \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{x_i}, \quad (3.23)$$

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

$$S_i/x_i = m_i(y_0/x_i - y_0/x_0 - l/2x_0), \quad (3.24)$$

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 (см. табл. 1).

С учетом перечисленных факторов зависимость (3.22) для определения длины разгрузочных шпуров будет иметь вид:

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

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.

Значение угла наклона разгрузочных шпуров к горизонту может быть определено по данным, приведенным ниже:

Мощность пород $h_{п}$ непосредственно прилегающих к почве выработки	$h_{п} < 0,5B$;	$10B \geq h \geq 0,5B$;	$h_{п} > 1,0B$
Угол наклона шпуров α , градус	25–30	15–25	10–15

С учетом наклона длина разгрузочных шпуров:

$$l_{ш} = \frac{\left(0,15 + \frac{\gamma H}{m \sigma_{пр}}\right)^2 A B}{\cos \alpha}. \quad (3.26)$$

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

Качественная картина камуфлетного взрыва одиночных зарядов ВВ с различной энергией в песчано-канифольном блоке показана на рис. 43. Камуфлетную полость окружает зона дробления (на рисунке освещенный контур), где материал модели раздроблен и частично осыпался. Далее находится область разрушения, выраженная радиальными трещинами, идущими от центра взрыва к краям блока.

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

$$R_3 = (0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B) \sqrt{Q}, \quad (3.27)$$

где R_3 — радиус зоны дробления, м; $\sigma_{сж}$ — 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:

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

где l_0 — расстояние между разгрузочными шпурами, м.

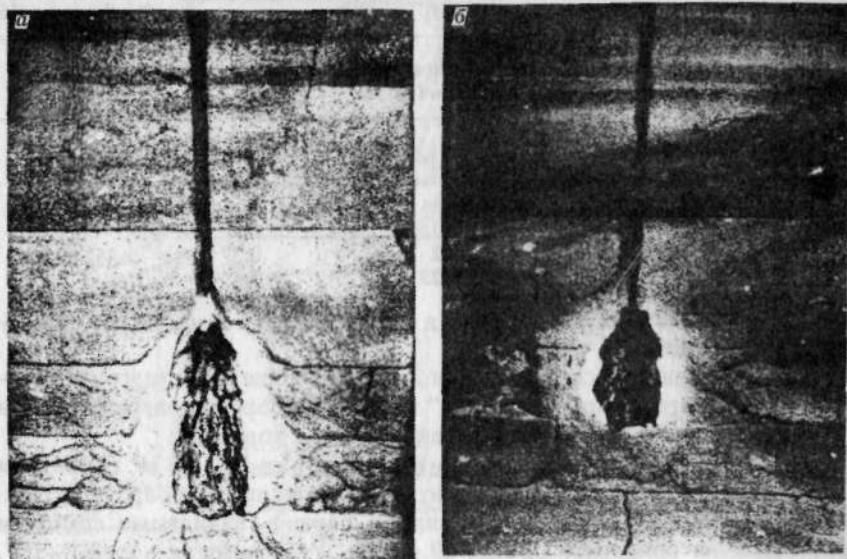


Рис. 43. Характер разрушения пород в песчано-камуфльном блоке при камуфлетном взрыве одиночных зарядов, эквивалентных:

а — 750 г скального аммонита № 1; б — 500 г скального аммонита № 1

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:

$$l_0 = 2a (0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_B)^3 \sqrt{Q}, \quad (3.29)$$

где a — безразмерный коэффициент, учитывающий число одновременно взрывающихся зарядов ВВ. При взрывании двух зарядов $a = 1,3$, а при взрывании трех зарядов и более $a = 1,4$.

Масса заряда ВВ

$$Q = l_{ш} K \Delta \pi d^2 / \Delta 4, \quad (3.30)$$

где $l_{ш}$ — длина разгрузочных шпуров, определяемая по формуле (3.26); d — диаметр патрона ВВ, м; Δ — плотность патронирования, кг/м³; K — коэффициент заполнения шпура (табл. 36).

Исследования способа взрывоцелевой разгрузки на моделях из эквивалентных материалов показало, что применение способа уменьшает напряжения в почве выработки в среднем в 2,5–4 раза, способствует пе-

Предел прочности пород на одноосное сжатие σ , МПа	Значение коэффициента заполнения при длине шпура l , м		
	1,5	2,5	3,0
≤ 40	0,15	0,2	0,3
40–60	0,2	0,3	0,4
> 60	0,25	0,4	0,5

реносу максимальных напряжений в глубь массива (рис. 44) и снижает величину пучения в 2,5–3 раза.

Промышленные исследования способа взрывоцелевой разгрузки проводили на шахте "Ворошиловская" № 1 ПО "Ворошиловградуголь" в восточном чашевом откаточном штреке пласта l_1 гор. 530.

Выработку площадью поперечного сечения в свету $12,7 \text{ м}^2$ проводили с помощью буровзрывных работ и крепили металлической арочной трехзвенной крепью. Породы представлены песчанно-глинистыми сланцами прочностью на одноосное сжатие 29,4 МПа. Угол падения пород 8–10°. Породы почвы склонны к пучению.

Геомеханические параметры способа взрывоцелевой разгрузки были следующие: длина разгрузочных шпуров – 2,8 м, угол наклона – 15°. Параметры взрывных работ: расстояние между разгрузочными шпурами –

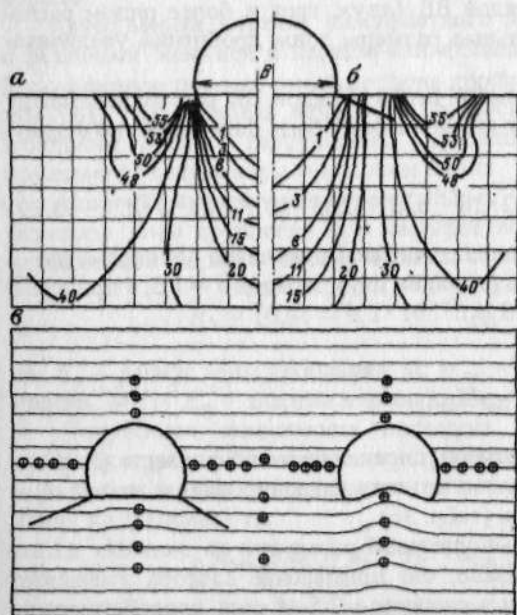


Рис. 44. Распределение максимальных касательных напряжений в почве выработки без разгрузки (а), с разгрузкой (б) и состояние выработки в модели из эквивалентных материалов после проведения испытаний (в)

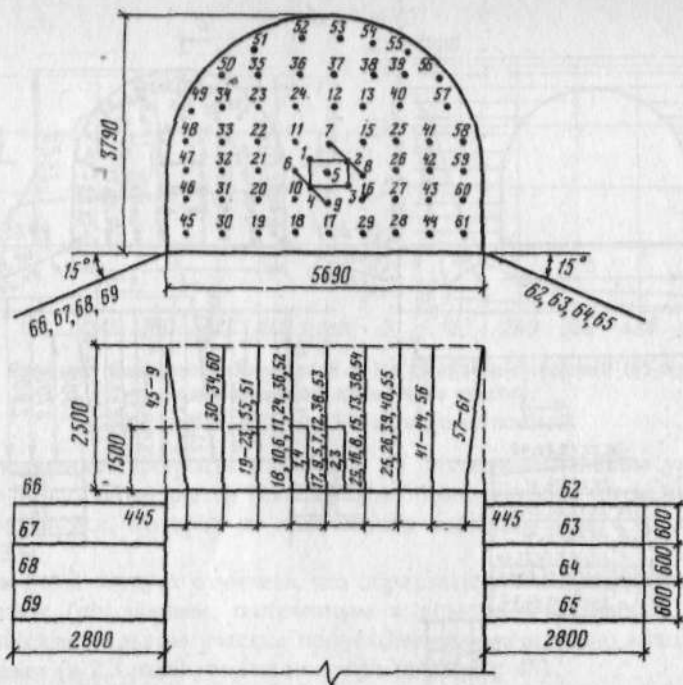


Рис. 45. Схема расположения шпуров к паспорту буровзрывных работ с разгрузочными шпурами на участке испытания (цифрами указаны номера шпуров)

0,5 м, масса заряда ВВ — 250 г (1 патрон скального аммонита № 1). Паспорт буровзрывных работ на экспериментальном участке представлен на рис. 45. Разгрузочные шпуры обычно взрываются в один прием с забойными с последней серией замедления.

Инструментальные наблюдения на шахте "Ворошиловградская" № 1 проводили в течение двух лет. За этот период смещения почвы составили: на контрольном — 300 мм, на экспериментальном — 160 мм. Сближение боков: на контрольном — 115 мм, на экспериментальном — 83 мм. Опускание кровли: на контрольном — 290 мм, на экспериментальном — 310 мм.

Способ взрывоцелевой разгрузки применяли на шахтах им. А.Г. Стаханова (ПО "Красноармейскуголь"); "Ворошиловградская" № 1 (ПО "Ворошиловградуголь"); "Должанская—Капитальная" (ПО "Свердловск-антрацит"), им. В.М. Бажанова (ПО "Макеевуголь"); "Октябрьский рудник" (ПО "Донецкуголь") и др.

Работы по взрывоцелевой разгрузке выполняли в забое выработок с использованием существующего бурового оборудования и не влияли на скорость проведения выработок.

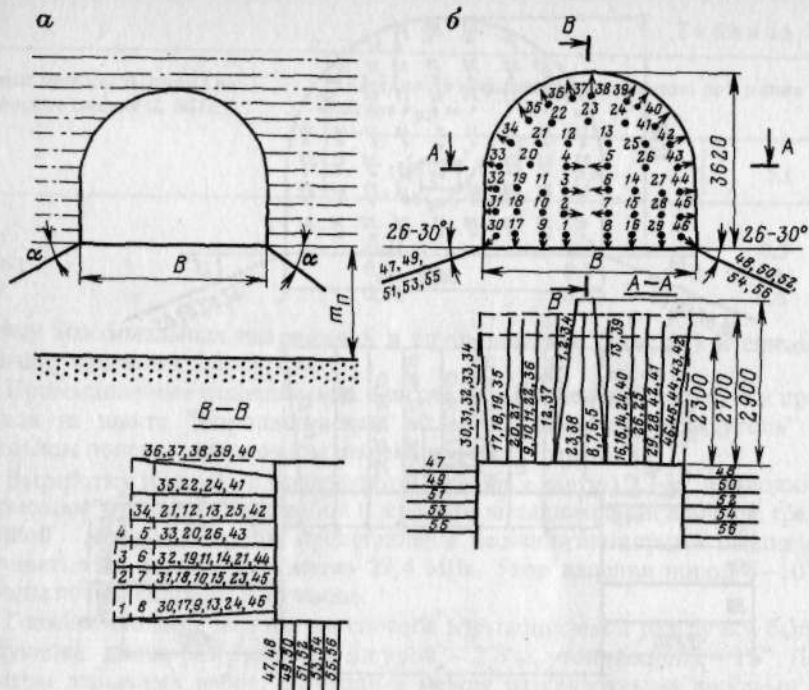


Рис. 46. Схема способа взрывоцелевой разгрузки:

a – расположение выработки в массиве; b – расположение шпуров (цифрами указаны номера шпуров)

Для широкого внедрения способа взрывоцелевой разгрузки разработаны и утверждены Минуглепромом СССР "Технологические схемы снижения напряженного состояния породного массива (взрывоцелевая разгрузка)" [18]. Пример одной из технологических схем показан на рис. 46.

Результаты инструментальных наблюдений за смещениями пород почвы показаны на рис. 47.

Из графиков видно, что применение способа изменяет характер и величину смещения пород почвы. Так, на экспериментальном участке 60–70 % смещений, отмечаемых за весь период наблюдения, реализуются за 1,5–2 месяца, а на контрольном – за 6–7 месяцев.

Скорость смещения в почве выработки за первые 30 суток на экспериментальном участке составляла в среднем 2,3 мм/сут, а на контрольном 1,6 мм/сут. Однако в дальнейшем на экспериментальном участке скорость смещения пород резко падает и на 60-е сутки составила 0,8 мм/сут, в то время как на контрольном – 1,8 мм/сут. На 60 сутки смещения пород почвы на экспериментальном участке практически прекращаются, а на контрольном продолжают нарастать.

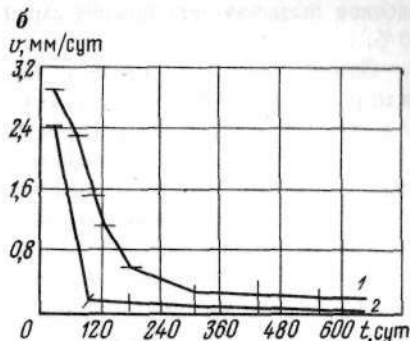
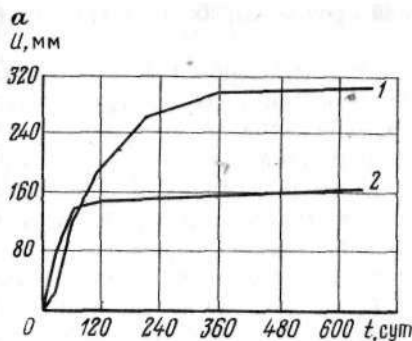


Рис. 47. Графики зависимости смещений (а) и скорости смещений (б) пород почвы в выработке от времени на участке:

1 — контрольным; 2 — экспериментальном

Повышенная скорость смещения на экспериментальном участке за первые 30 сут объясняется ускоренным образованием в почве выработки зоны разгрузки, которая за этот период составила 4 м, а на контрольном — 3 м.

При этом следует отметить, что образование зоны разгрузки в почве выработки (по данным, полученным с помощью глубинных реперов) на экспериментальном участке происходит со значительно меньшим расслоением (в 2,3 раза), чем на контрольном (рис. 48).

Шахтные исследования также показали, что наряду с уменьшением пучения почвы, применение способа взрывоцелевой разгрузки породного

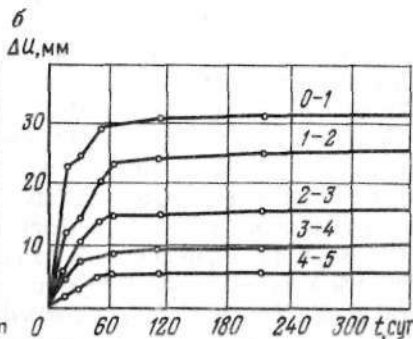
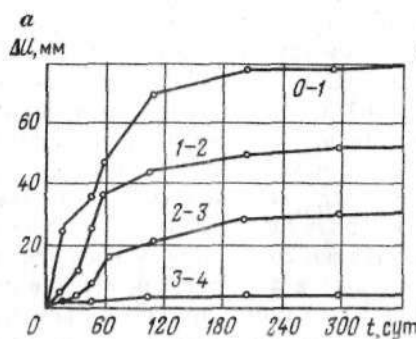


Рис. 48. Графики зависимости смещений пород почвы восточного полевого откатного штрека пласта Γ_6 шахты "Ворошиловградская" № 1 на контрольном (а) и экспериментальном участке (б) во времени:

0-1 — расслоение пород между контуром и первым репером, расположенным на глубине 1 м; 1-2 — расслоение пород между первым и вторым реперами на глубине 1-1,5 м; 2-3 — расслоение пород между вторым и третьим реперами на глубине 1,5-2 м; 3-4 — расслоение пород между третьим и четвертым реперами на глубине 2-3 м; 4-5 — расслоение пород между четвертым и пятым реперами на глубине 3-3,5 м

массива вызывает увеличение смещений кровли выработки в среднем на 10 %.

Однако смещение кровли на экспериментальном участке происходило равномерно без разрыва сплошности массива по периметру выработки и не вызвало дополнительных деформаций крепи.

Опыт применения взрывоцелевой разгрузки породного массива на шахтах показал, что использование его не изменяет принятой технологии, так как работы по разгрузке выполняются одновременно с работами проходческого цикла и не влияют на скорость проведения выработок.

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

Дополнительные затраты по разгрузке составляют в среднем 20–50 чел.-мин и 4,0–8,3 руб. на 1 м выработки. Экономическая эффективность способа на участках внедрения составила в среднем 50–70 руб. на 1 м выработки.

Область применения способа оценивается условием

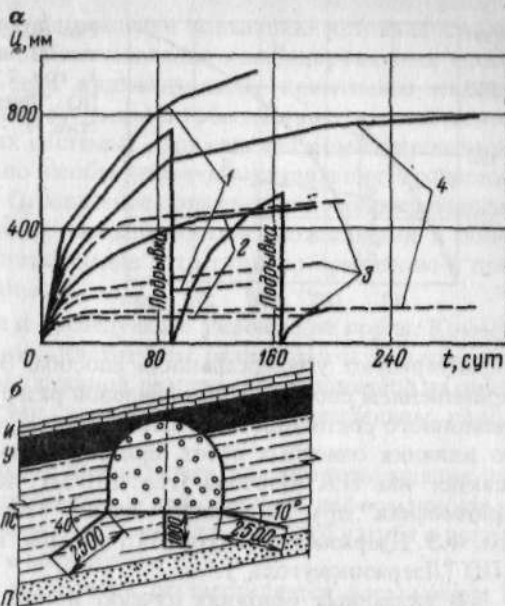
$$0,5 \leq \frac{\gamma H}{m \sigma_{сж}} \leq 0,8. \quad (3.31)$$

Способ взрывоцелевой 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, характеризующихся целесобразной областью применения, продолжительность действия способа практически не ограничена. Это подтвердили наблюдения в условиях выработок гор. 710 м шахты им. Ильича ПО "Стахановуголь", проводимые в течение 12 лет. Следует также отметить, что применение способа положительно влияет на состояние выработок, находящихся в пределах зон опорного давления, возникающих при ведении очистных работ. Так, в вышеуказанных условиях влияние очистных работ на состояние полевого штрека было зафиксировано на расстоянии 200 м. При подходе очистного забоя на расстояние 70 м штрек был в значительной степени деформирован (потеря сечения составила 52 %) и был произведен ремонт. На участке применения взрывоцелевой разгрузки влияние очистных работ было зафиксировано на расстоянии 75 м. При подходе очистных работ на расстояние 30 м (проектный размер целика) потеря сечения штрека составила 27 %, выработка эксплуатировалась без ремонта.

В условиях шахты им. XXII съезда КПСС ПО "Стахановуголь" штрек пласта l_4 (угол залегания – 57°) на участке применения способа при ведении очистных работ был сохранен в эксплуатационном состоянии. На обычных участках он дважды перекреплялся.

Рис. 49. Графики смещений пород почвы выработок на контрольных (сплошные линии) и экспериментальных (пунктирные) участках (а) и схема расположения разгрузочных шпуров в пластовых выработках шахты "Новодружеская" (б):

1 — конвейерный штрек 131-й западной лавы пласта k_8 шахты "Привольнянская" ПО "Лисичанскуголь"; 2 — людской уклон пласта l_2 гор. 525 м шахты "Матросская" ПО "Лисичанскуголь"; 3 — вентиляционный штрек 91 восточной лавы пласта l_2 шахты "Новодружеская" ПО "Лисичанскуголь"; 4 — камера ЦПП гор. 740 м на шахте им. Г.Г. Капустина ПО "Лисичанскуголь"; У — уголь; ПС — песчаный сланец; П — песчаник; И — известняк



С 1985–1986 гг. способ взрывошелевой разгрузки широко применяется для предупреждения пучения пород почвы в выработках шахт: "Новодружеская", "Кременная", "Матросская", "Привольнянская", им. 60 летия Советской Украины, им. Г.Г. Капустина (все ПО "Лисичанскуголь") и "Тошковская", "Горская" (ПО "Первомайскуголь"). При объеме применения в выработках общей протяженностью 5350 м за указанный период фактический экономический эффект составил 667 тыс. руб., или в среднем 106 руб/м, изменяясь от 70 руб/м до 200 руб/м. Во всех случаях было обеспечено эксплуатационное состояние выработок за счет полного предупреждения пучения пород почвы (шахты "Первомайская", "Тошковская", "Горская", "Кременная", 60-летия Советской Украины), либо за счет уменьшения его величины в 4–8 раз (рис. 49, а).

Результативность способа в значительной степени зависит от схемы расположения разгрузочных шпуров, которую необходимо выбирать с учетом горно-геологических и технических условий расположения выработки.

На рис. 49, б приведена схема расположения разгрузочных шпуров в пластовых штреках (пл. l_2) шахты "Новодружеская" (гор. 860 м) ПО "Лисичанскуголь".

Положительные результаты, достигнутые в широком диапазоне горно-геологических и технических условий (полевые и пластовые выработки, участки их сопряжений; глубины ведения горных работ 525–985 м; прочность вмещающих пород 30–82 МПа; углы залегания пород 12° – 32° ; площади поперечных сечений выработок в свету 9,2 – 15,5 м² и пр.),

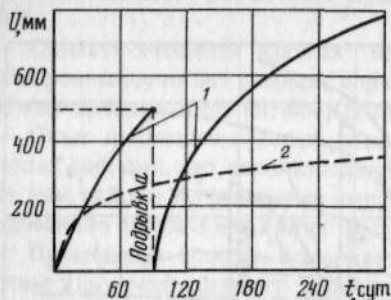


Рис. 50. Зависимость смещений пород почвы 11 южного полевого штрека пласта k_8 гор. 730 м шахты им. Д.Ф. Мельникова ПО "Лисичанскуголь" во времени на участке: 1 — контрольном; 2 — экспериментальном

характеризуют универсальность способа. Это подтверждается успешным применением способа взрывошелевой разгрузки для обеспечения эксплуатационного состояния выработок, находящихся в зонах непосредственного влияния очистных работ, при разработке крутопадающих пластов на шахтах: им. Н.А. Изотова (гор. 870 м); Кочегарка (гор. 970 м); "Кондратьевская" ш/у "Александр—Запад" (гор. 740 м) (ПО "Артемуголь"); им. Ф.Э. Дзержинского (гор. 916 м); им. К.Е. Ворошилова (гор. 940 м) (ПО "Дзержинскуголь").

В указанных условиях пучение пород почвы (косонаправленное выдавливание пород) было снижено на 50–80 %, а смещения боков выработки — на 20–40 %, что обеспечило возможность эксплуатации выработок в период срока их службы (0,5–1,0 год), т.е. до погашения без производства ремонта. На обычных участках кратность ремонта составляла 1–3 раза, несмотря на усиление металлической податливой крепи деревянной полигональной крепью, установленной в каждой арке. На рис. 50 приведены графики зависимости смещений почвы в выработке с применением взрывошелевой разгрузки (сплошная кривая) и без нее (пунктирная кривая). В выработках, поддерживаемых без охраны, за указанный период эксплуатации уже производился ремонт (величина подделки составила 0,9 м).

Способ взрывошелевой разгрузки находит применение и для повышения устойчивости сопряжений выработок, участков наиболее сложных с точки зрения обеспечения эксплуатационного состояния. Применение способа с трех сопряжениях штреков пласта m_3^H с уклонами шахты им. Г.Г. Капустина (гор. 740 м) ПО "Лисичанскуголь", в сочетании с временной крепью усиления обеспечило эксплуатационное состояние сопряжений и позволило получить реальный экономический эффект в размере 29,2 тыс. руб.

3.6. Комбинированные способы охраны.

Эти способы представляют собой сочетание различных (обычно двух) способов, которые могут представлять одно (например, проведение выработки в два этапа со взрывошелевой разгрузкой) или разные (напри-

мер, 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.

3.6.1. 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 (АРПУ).

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 I 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 $(2-6) \cdot 10^3 \text{ Н}$ на 1 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 м^2 площади почвы выработки — 1 шпур; для слабых и средней прочности породы — 0,8 шпура.

Глубина шпура $I_{\text{ш}}$ 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 толщ 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 толщ 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 кон-

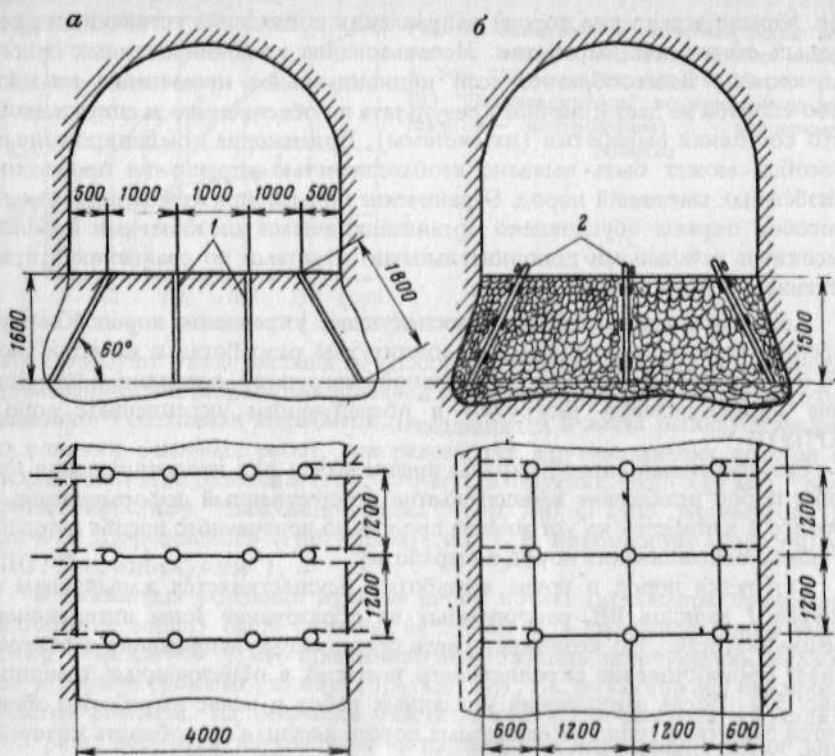


Рис. 51. Схема способа активной разгрузки в почве выработки (а) с последующим укреплением пород (б):

1 – разгрузочные шпury; 2 – инъекционные скважины

тура 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.

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

$$q_y = 2\sigma'_{сж} \frac{R^2 y}{B^2}, \quad (3.32)$$

где $\sigma'_{сж}$ – прочность на сжатие упрочненных пород, МПа; B – ширина выработки в черне, м.

Ниже приведены значения $\sigma'_{сж}$ и q_y , полученные в результате шахтных испытаний:

$\sigma_{\text{сж}}$, МПа	<40	40–60	>60
q_y , КН/м ²	150	100	50
$\sigma'_{\text{сж}}$, МПа	6	8	10

Удельная стоимость способа АРПУ (активная разгрузка с последующим упрочнением) на 1 м³ горных пород составляет 6–8 руб, или в среднем 25–40 руб. на 1 м длины выработки. Этот способ усложняет организацию работ, требует использования дополнительного оборудования. Трудоемкость 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 взрывоцелевой 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) шпур, 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 м² площади почвы.

3.6.2. 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 [6]. При взрывании зарядов происходит рыхление приконтурного массива по длине шпура, разрушение оболочки ампул и проникновение укрепляющего раствора в образовавшиеся в породном массиве трещины.

Промышленные исследования способа, проведенные в следующих условиях: прочность пород на одноосное сжатие 40–60 МПа, площадь поперечного сечения выработок 13,7–17,7 м² в условиях шахты "Красный Октябрь", гор. 790 м ПО "Держинскуголь", показали, что наилучшие результаты в указанных условиях достигаются при глубине разгрузочных шпуров – 2 м, расстоянии между ними по ширине выработки – 0,8 м, между рядами – 0,5 м. В шпуры помещали две ампулы с пенополиуретаном и один патрон взрывчатого вещества. Дополнительные трудовые затраты на проведение 1 м выработки составили 0,5 чел.-смен и стоимостные 20 руб. На участке применения способа взрывоукрепления пород

смещения пород не превышали 60 мм (и в дальнейшем не наблюдались), на обычных участках за этот же период (на 60-е сутки) составили 350 м и продолжали развиваться.

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 [6]. Заданное количество ВВ (по данным эксперимента 1 кг на 1 м³ 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 на 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).

3.6.3. Крепь-монолит. Способ охраны "крепь-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 шурупы. Омоноличивание зоны искусственной трещиноватости производится нагнетанием скрепляющего раствора с помощью тапонажного оборудования через инъекторы 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 достигать до 30–50 МН/м².

Стоимость крепления 1 м выработки площадью поперечного сечения 12–15 м² 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

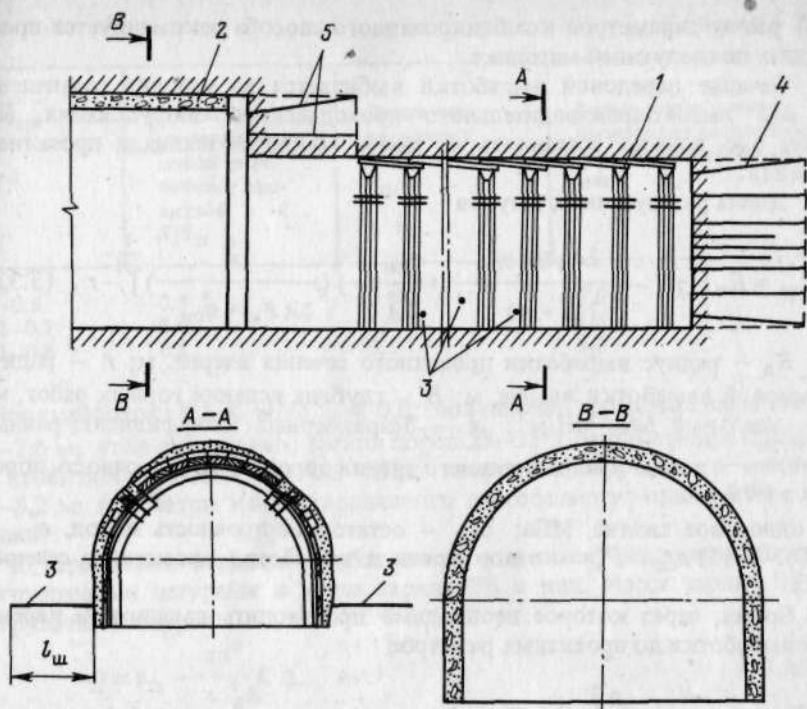


Рис. 52. Схема проведения выработки в два этапа со взрывоцелевой разгрузкой:
 1 — крепь передовой выработки; 2 — крепь выработки проектных размеров; 3 — разгрузочные шпury; 4 — шпury по забою; 5 — шпury по расширению передовой выработки

от уже закрепленной части выработки для возможности ее передвижки с целью повторного использования.

3.6.4. Проведение выработки в два этапа со взрывоцелевой разгрузкой. В данном случае назначение взрывоцелевой 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 взрывоцелевой 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.

52) 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

$$l_{ш} = R_{в} \left[(\gamma H - \frac{2A \gamma H + \sigma_{сж}}{2(1+A)} + \frac{\sigma'_{сж}}{2A}) (\frac{2A}{2AP_K + \sigma'_{сж}})^{\frac{1}{A}} - r \right], \quad (3.33)$$

где $R_{в}$ — радиус выработки проектного сечения вчерне, м; r — радиус передовой выработки вчерне, м; H — глубина ведения горных работ, м; γ — удельный вес, МН/м³; A — безразмерный коэффициент, равный $\frac{\sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$; φ — угол внутреннего трения пород; $\sigma_{сж}$ — прочность пород

на одноосное сжатие, МПа; $\sigma'_{сж}$ — остаточная прочность пород, $\sigma'_{сж} = (0,1-0,15) \sigma_{сж}$; P_K — отпор крепи в выработке проектного сечения, МПа.

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

$$T = \frac{N}{B_1(n+1)} \frac{R_3^2}{r^2} [(\gamma H - P_n) - (\gamma H + C) \frac{R_3^2}{r^2} \sin \varphi]^{-1} \quad (3.34)$$

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/м²; B_1 — реологический параметр, зависящий от типа, структуры и свойства горных пород, ее влажности и температуры, равный $(20,1-34,3) 10^{-5}$ 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 выработке и пород в зоне неупругих деформаций:

$$P_n = (P_0 + \frac{\sigma'_{сж}}{2A}) (\frac{R_3}{r})^2 A - \frac{\sigma'_{сж}}{2A}, \quad (3.35)$$

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.

Для следующих горно-геологических и технических условий прове-

$\gamma H/\sigma_{сж}$	Отношение площади передовой выработки к проектной S/S_n	Длина разгрузочных шпуров $l_{ш}$, м	Время, через которое производят расширение передовой выработки, мес.
0,5–0,6	0,5	2,8	2,0
0,61–0,7	0,6	3,0	1,5
0,71–0,8	0,7	3,5	1,0

дения выработок: $0,5 \leq \gamma H/\sigma_{сж} \leq 0,8$; полупролет передовой выработки 1,8–2,6 м; угол внутреннего трения пород 25–35°; отпор крепи выработки проектного сечения 0,1–0,3 МПа; полупролет проектного сечения 2,4–3,2 м, параметры комбинированного способа могут приниматься по табл. 37.

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

$$Q = l_{ш} \frac{\pi d^3}{4} K \Delta, \quad (3.36)$$

где $l_{ш}$ — длина разгрузочных шпуров, м; Δ — плотность патронирования, кг/м³; K — коэффициент заполнения шпуров равный 0,15–0,4.

Расстояние между разгрузочными шпурами

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

где M — безразмерный коэффициент, учитывающий число одновременно взрываемых 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_v — энергия взрыва, кДж; Q — масса заряда ВВ, кг.

При использовании комбинированного способа в выработке площадью поперечного сечения в свету 16,3 м², вчерне — 20,5 м², пройденной по породам с пределом прочности на одноосное сжатие 25 МПа на глубине 500 м, параметры будут следующие: площадь поперечного сечения передовой выработки в свету — 13 м²; длина разгрузочных шпуров — 2 м; расстояние между разгрузочными шпурами — 1 м; масса заряда ВВ — 0,6 кг, время, через которое необходимо проводить расширение передовой выработки до проектного сечения — 2 мес. Применение комбинированного способа охраны позволяет заменить металлобетонные крепи в выработках околоствольных дворов на бетонные. При этом технико-

Показатели	Без применения способа охраны	С применением комбинированного способа охраны
Скорость проведения выработок околоствольных дворов, м/мес	30–50	70–90
Уровень механизации процесса крепления, %	20	70
Стоимость поддержания 1 м выработки, руб.	150	80
Трудозатраты на поддержание 1 м выработки, чел.-дни	10,6	5,7
Стоимость дополнительных затрат на применение способа на 1 м, руб.		20–30
Трудоемкость работ по применению способа на 1 м, чел.-дни		0,15–0,20

экономические показатели при применении способа будут следующие (табл. 38).

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.

3.6.5. Способ поддержания выработок "крепь-охрана" предназначен для повышения устойчивости вмещающего массива и применения облегченных конструкций 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,

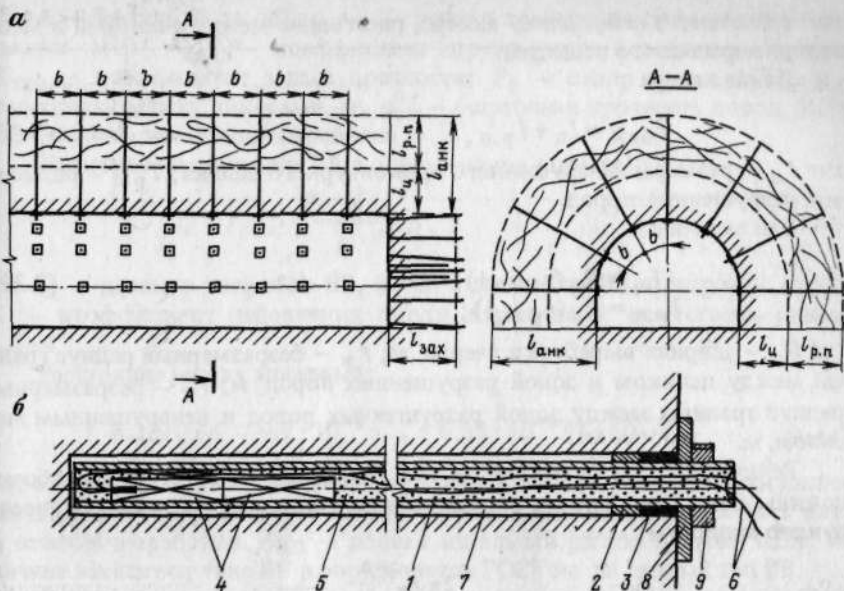


Рис. 53. Схема проведения выработки с применением способа поддержания выработок "крепь-охрана" (а) и конструкция заряда ВВ (б):

1 — трубчатый анкер; 2 — гайка стопора пакера; 3 — пакер; 4 — патроны ВВ; 5 — песчано-глинистая забойка; 6 — провода электродетонаторов; 7 — шпур; 8 — опорная плита; 9 — натяжная гайка

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.

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-охра-

на" 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

$$\begin{aligned} l_{\text{ц}} &= R_0 (r_{\text{к}} - 1); \\ l_{\text{р.п}} &= R_0 (r_{\text{р}} - 1); \end{aligned} \quad (3.39)$$

где R_0 — ширина выработки в черне, м; $r_{\text{к}}$ — безразмерный радиус границы между целиком и зоной разрушенных пород, м; $r_{\text{р}}$ — безразмерный радиус границы между зоной разрушенных пород и ненарушенным массивом, м.

Величину $r_{\text{к}}$, с учетом того, что смещения на контуре выработки должны быть равны нулю, определяем из следующего выражения, исследуя его минимум:

$$U = A_1 \frac{r_{\text{к}} - 1}{r_{\text{к}}} + A_2 \left(A_3 \frac{2v r_{\text{к}}^{2+v}}{A_4 r_{\text{к}}^2 - A_5} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (3.40)$$

Значение параметра $r_{\text{р}}$ можно определять по формуле:

$$r_{\text{р}} = r_{\text{к}} \left[A_3 \left(\frac{2v r_{\text{к}}^2}{A_4 r_{\text{к}}^2 - A_5} \right)^{\frac{1}{2v}} \right] \quad (3.41)$$

где обозначаются

$$A_1 = \frac{3}{4E} \left(-\frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зап}}} - P_0 \right); \quad (3.42)$$

$$A_2 = \frac{3}{4E} \left(\frac{2v \gamma H + \sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{v + 1} \right);$$

$$A_3 = \frac{2\gamma H - \sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{2(v + 1)} + \frac{\sigma_{\text{сж}}^0}{2v};$$

$$A_4 = v \frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зап}}} + v P_0 + \sigma_{\text{сж}}^0;$$

$$A_5 = v \frac{\sigma_{\text{сж}} K_{\text{осл}}}{K_{\text{зап}}} - v P_0,$$

где E — модуль Юнга, МПа; $\sigma_{сж}$ — предел прочности пород на одноосное сжатие, МПа; $K_{осл}$ — коэффициент структурного ослабления массива; $K_{зап}$ — коэффициент запаса прочности; P_0 — отпор крепи, МПа; v — расстояние между анкерами, м; $\sigma_{сж}^0$ — остаточная прочность пород, МПа; H — глубина заложения выработки.

Расчетная масса заряда ВВ в одном шпуре (анкере):

$$Q = l_{\text{анк}} \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} K \rho, \quad (3.43)$$

где $d_{\text{п}}$ — диаметр патронов ВВ, м; ρ — плотность ВВ в патронах, кг/м³; K — коэффициент заполнения шпура взрывчатым веществом, равный 1,5–4.

Расстояние между анкерами:

$$l = 2\alpha(0,66 - 9,2 \cdot 10^{-3} \sigma_{сж} + 0,33 \cdot 10^{-4} E_{\text{ВВ}} Q \sqrt{Q}), \quad (3.44)$$

где α — безразмерный коэффициент, равный 1,2–1,4, учитывающий количества и характеристику взрывания зарядов ВВ, взрывающихся за 1 цикл в сечении выработки. $E_{\text{ВВ}}$ — полная идеальная работа взрыва, кДж. Величина зависит от типа ВВ и определяется ГОСТом на данный тип ВВ.

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

3.7. Условия применения способов охраны

Методические положения (п. 3.2.) 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.

Рассмотрим результаты анализа данных промышленного применения ряда способов охраны, применявшихся при сроке их фактического использования 5–20 лет; при относительно малых сроках службы выработки (их системы) — в период всего срока эксплуатации выработки.

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 раско-

ски 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 раскасками шириной 6 м и более.

Проведение выработок увеличенным сечением целесообразно при угле залегания пород до 20° 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 м^2 и более.

Ограничивающими условиями целесообразного применения способа охраны являются трещиноватость пород, характеризующаяся $P_n \geq 0,2$; величина пучения почвы 0,4 м и более; крепость вмещающих пород $3 \leq f < 8$ (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, характеризующийся показателем нарушенности $P_n \geq 0,1$; крепостью пород $3 \leq f < 8$ (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).

Взрывощелевая разгрузка нецелесообразна в трещиноватых породах, характеризующихся показателем нарушенности $P_n \geq 0,2$. В пластовых выработках независимо от их назначения и угле залегания пород до 35° 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, характеризующихся 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 α должна приниматься: $\alpha = 36 \div 45^\circ$, $X = 5$ м; $\alpha = 46 \div 55^\circ$, $X = 7$ м; $\alpha \geq 56^\circ$, $X = 10$ м.

Глава 4. РЕМОНТ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

4.1. Общие положения

На работы, связанные с ремонтом (в том числе и восстановлением) горных выработок, заделывается более 15 % подземной группы рабочих, а на ряде шахт до 20 % и более.

Удельный вес перекрешения (м/1000 т добычи) по Минуглепрому СССР непрерывно возрастает. В 1979 г. [7] на шахтах Минуглепрома СССР он составил 22 м, в Донецком угольном бассейне — 29,8 м. В 1981 г. на шахтах Донбасса он достиг 30,2 м, при этом: при проведении выработки — 14,2 м (на уровне 1979 года), при ремонте — 16 м, увеличившись за три года на 5,4 %, а в 1985—1988 гг. — при проведении 32,8 м, при ремонте — 17,1 м.

Это объясняется усложнением горно-геологических условий (увеличение глубины ведения горных работ, рост влияния геологических нарушений и пр.), в которых проводят и эксплуатируют выработки, и недостаточным применением способов охраны.

Кроме того, также отсутствуют не только теоретические, научно-обоснованные положения, но и общепринятые критерии в вопросах ремонта горных выработок (их системы).

Анализ затрат на ремонтные работы позволяет рекомендовать в качестве допустимых затрат на ремонт, при которых принятое решение по

поддержанию выработки можно считать приемлемым, составляющие 30 % и менее затрат на крепление.

Независимо от вида крепи эти затраты обуславливают возможность выполнения ремонтных работ без остановки проведения выработок и практически без нарушения ее длительного эксплуатационного режима.

Однако и этот критерий требует уточнения, так как его значение получено для условий пологого и наклонного падения пород, а для условий крутонаклонного и крутого может оказаться неприемлемым.

При ремонте выработок необходимо установить причину деформации крепи.

Периодически проводимые обследования горных выработок дают возможность общей оценки состояния постоянной крепи. Это очень важный этап любых работ при решении вопроса их поддержания. Данные объема применения и состояния основных видов крепи по результатам обследования 80 км выработок, выполненного в 1981–1986 гг., приведены ниже:

Вид крепи:	Бетонная	Металлическая податливая	Металлобетонная	Смешанная	Прочие
Объем применения, %.	18	72	5	3	2
Деформировано всего, % (полностью)	32,2 (12)	70 (20)	48 (50,4)	62 (50)	41 (40)

Сопоставляя приведенные данные с данными обследований 140 км выработок, выполненных в 1970–1980 гг., необходимо отметить, что объем деформированных выработок за указанный период увеличился на 19 %. Эти данные подтверждаются затратами на ремонт и постоянным увеличением объема выработок, находящихся в неудовлетворительном состоянии (рис. 54).

Основной объем (74 %) выработок проводят и поддерживают в породах с прочностью на одноосное сжатие до 60 МПа и на эти выработки приходится 89,7 % общих затрат на ремонт. Таким образом, в зависимости от прочности вмещающих пород затраты на производство ремонта в среднем изменяются в 3 раза.

Большое влияние на этот показатель оказывает степень деформации выработки (уменьшение площади поперечного сечения в %) к началу ремонта. На шахтах Донбасса ремонт производят при степени деформации от 12 % (бетонная крепь) – 21 % (металлическая податливая крепь) до 29–85 % соответственно. Стоимость ремонта при этом изменяется в пределах: 26,3–31 руб/м³ в свету (бетонная крепь), 18,6–24,3 руб/м³ в свету (металлическая податливая крепь), при изменении трудоемкости ремонта соответственно 0,13–0,59 чел.-смен/м³ в свету – 0,16–0,45 чел.-смен/м³ в свету. В 61 % случаев выполнения ремонтных работ они проводятся с подрывкой пород почвы. Процесс деформации пород

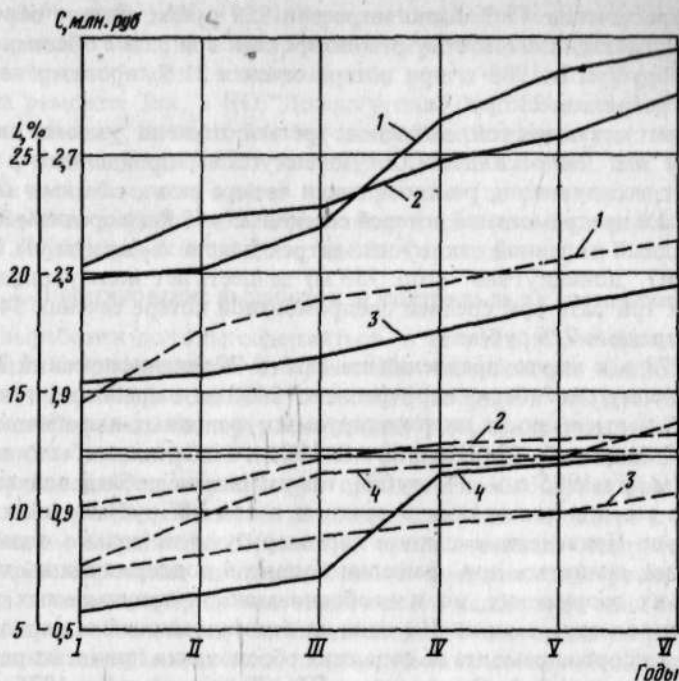


Рис. 54. Затраты C на ремонт (сплошная линия) и протяженность выработок L , находящихся в неудовлетворительном состоянии (пунктирная линия) по годам на шахтах:

1 — им. Челюскинцев ПО «Донецкуголь»; 2 — им. М.И. Калинина ПО «Донецкуголь»; 3 — шахтоуправления «Красная Звезда» ПО «Донецкуголь»; 4 — «Чайкино» ПО «Макеевуголь»

почвы стал основной причиной производства ремонта. На шахтах ПО «Донецкуголь» при общей протяженности поддерживаемых выработок 2097 км [19] объем ежегодно ремонтируемых составляет 1000 км, в том числе ежегодный объем подрывки пород почвы — 500 км. При подрывке уровень механизации погрузки пород составляет 12,3 %, а сменная производительность рабочего не превышает 2 м³. Необоснованность начала ремонта и других его технических параметров (техническая характеристика вновь возводимой крепи; протяженность смежных с ремонтируемым участков выработки, где необходимы дополнительные мероприятия по предупреждению развития деформаций; влияние ремонта на состояние массива и т.д.) приводит к необходимости выполнения многократных ремонтов.

На ремонт транспортного уклона пласта m шахты «Чайкино» ПО «Макеевуголь» через 17 месяцев при потере сечения 32 % затратили 210 руб/м, спустя 19 месяцев на вторичный ремонт при потере сечения 39 % было затрачено 217,7 руб/мес; на третий ремонт через 23 месяца

при потере сечения 47 % было затрачено 229 руб/м. Таким образом, за 5 лет эксплуатации выработку ремонтировали три раза с общими затратами 656,7 руб/м. В 1988 г. при потере сечения 31 %, проведен четвертый ремонт с затратами 215 руб/м.

Ходок механической доставки третьей ступени уклона пласта k_3 на шахте им. Челюскинцев ПО "Донецкуголь", пройденный в 1976 г. за 10 лет эксплуатации, ремонтировали четыре раза с общими затратами 915 руб/м и предремонтной потерей сечения 25–45 % (в среднем 33 %).

Западный коренной откаточный штрек пласта h_7 шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" (гор. 758 м) за шесть лет эксплуатации ремонтировали три раза при средней предремонтной потере сечения 34 % и общими затратами 725 руб/м.

В 1978 г. в шахтоуправлении им. газеты "Социалистический Донбасс" ПО "Донецкуголь" было перекреплено 2400 м выработок, или 17,1 % от общей протяженности эксплуатируемых основных выработок с затратами 730 тыс. руб. (342 руб/м). В 1981 г. на ремонт было затрачено 346 руб/м, а в 1985 г. – 341 руб/м, т.е. ремонтные работы ведутся непрерывно, а затраты составляют в среднем в год 147 руб/м и являются постоянными. Приведенные данные характеризуют не только ошибочность положений, принятых при решении вопросов поддержания выработок в проекте их сооружения, но и необоснованность принимаемых решений при производстве ремонта. Ни один из использованных за период 1978–1986 гг. паспортов ремонта не содержит обоснования принятых решений.

На шахте им. А.А. Скочинского ПО "Донецкуголь" в 1975–1977 гг. перекреплено 12 % выработок околоствольного двора гор. 1195 м, 19 % квершлагов, 27,6 % уклонов, 11 % бремсбергов, 8 % полевых штреков. Затраты на перекрепление в среднем составили 180 руб/м. В 1980 г. было перекреплено по протяженности 9,6 % выработок околоствольного двора, 20,9 % квершлагов, 25,9 % уклонов; 11,8 % бремсбергов, 8,8 % полевых штреков при средних затратах на ремонт 191 руб/м. В 1985–1986 гг. перекреплялось 11 % выработок околоствольного двора, 23 % квершлагов, 24,1 % уклонов, 13 % бремсбергов, 9,2 % полевых штреков, 38 % пластовых штреков (в предыдущие годы ремонт пластовых выработок в учет не принимался) при средних затратах 247 руб/м и производительности труда рабочих на ремонте – 2,37 м/мес.

В 1988 г. перекреплено: 12 % выработок околоствольных дворов, 21 % вскрывающих выработок (в том числе – 16 % бремсбергов и уклонов), 31 % пластовых и 12,2 % полевых подготавливающих выработок при средних затратах 271 руб/м. Факторами, влияющими на повторность ремонтов являются: степень деформации поперечного сечения выработки к моменту ремонта; сечение выработки вчерне при ее проведении и после ремонта; направление выработки относительно напластования пород; способ расширения выработки до проектных размеров; параметры последремонтной крепи. Последний, как показали исследования, является важным, так как характеризует послеремонтную систему "крепь-поро-

да", определяющую виды и характер проявления геомеханических процессов в породном массиве после ремонта выработки (их системы). Неучет этих факторов приводит к постоянному росту численности рабочих, занятых на ремонте. Так, в ПО "Донецкуголь" этот показатель составляет 11,5 тыс. человек, из которых на специализированных участках по ремонту и участках подземного транспорта занято 6,64 тыс. чел. (58,2 %). При этой численности на одного крепильщика (по ремонту) приходится в среднем 25 м выработок, а на ряде шахт и того меньше: им А.Ф. Засядько и ш/у "Куйбышевское" — 20 м; им. М. Горького — 10 м.

4.2. Пикетирование выработок и контроль за их состоянием

Все выработки должны содержаться в исправном состоянии, строго соблюдаться в соответствии с Правилами безопасности зазоры между крепью и габаритами подвижного состава, сечения и размеры выработки — соответствовать паспорту крепления; рельсовый путь и водоотливная канавка — находиться в исправном состоянии. Для выполнения указанных требований, своевременного принятия необходимых мер по ликвидации неисправностей выработок, большая роль отводится контролю за состоянием выработок. Правильно организованный контроль, своевременное реагирование на предложения и замечания контролирующего персонала, в первую очередь лиц технического надзора, во многом может способствовать обеспечению эксплуатационного состояния выработок с наименьшими затратами на поддержание, так как своевременность производства ремонтно-восстановительных работ во многих случаях позволяет ограничиться текущим ремонтом (см. табл. 39). Несоблюдение этого условия может привести к необходимости производства среднего или капитального ремонтов, что в 2 раза и более увеличивает затраты средств и труда.

На шахтах обычно используется три вида контроля: — *текущий*, осуществляемый лицами технического надзора подразделения, в ведении которого находятся данные выработки; *маркшейдерский*, производимый маркшейдерской службой данного предприятия; *контроль госгортехнадзора* (технической инспекцией профсоюза), проводимый представителями соответствующих контролирующих организаций. Эти виды контроля независимы; выполняются в различные сроки, могут дублироваться, но не подменяются один другим.

Паспортизация выработок — важный элемент контроля, в первую очередь текущего, так как это не только характеризует необходимое состояние выработок, но и позволяет расширить круг лиц, проводящих текущий контроль. Все работники данного подразделения должны быть детально ознакомлены с паспортом каждой выработки, в которых они работают или которые используются ими для передвижения. Для объективности оценки состояния выработки и реализации установления причин, вызвавших ее нарушения, паспорт должен быть дополнен разделом возможных деформаций и причин их вызвавших. Включение этого раздела в пас-

порт выработки позволит более объективно решать вопрос о необходимости в виде ремонтных работ. В настоящее время имеются опыт и результаты обследований выработок, чтобы достаточно объективно решать вопрос, какие факторы вызвали те или иные деформации крепи и породных обнажений, а не ограничивается общим выводом, что причиной нарушений явилось увеличение горного давления.

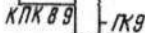
Для реализации этого предложения, актуальность которого очевидна, необходимо обобщение всех ранее проведенных обследований выработок и регулярное ведение этих работ. Только в этом случае достигнем объективности, а это реализует объективность решений вопросов поддержания выработок. Для конкретизации результатов контроля все выработки должны быть разделены на пикеты.

Пикетирование выработок должно быть обосновано анализом опыта поддержания. В настоящее время ограничены протяженностью пикета 20 м для капитальных и 50 м для подготовительных выработок.

На основании имеющегося опыта обследования выработок рекомендуется расстояния между пикетами принимать следующие: для наклонных выработок независимо от вида постоянной крепи $\lambda = 25$ м; при рамной (арочной) крепи на участках между пикетами рамы маркируются мелом (краской) цифрами: 1, 2 ... и т.д. Усиливающие рамы: 1^a , 1^b , 2^a ... и т.д. Вновь установленные рамы на место деформированных должны маркироваться тем же номером, что и заменяемая рама, но обязательно указание, что эта рама новая, например: 1,1; 2,1; 3,2 и т.д. Вторая цифра маркировки показывает, что на этом участке производили ремонт и их число (3,2 — третья рама ремонтировалась дважды, 1,1 — первая рама подвергалась однократному ремонту и т.д.) Невыполнение этих рекомендаций и ограничение записей в журнале, не только затрудняет непосредственный контроль, но и зачастую утрачиваются (при длительной эксплуатации выработки) необходимые сведения. При монолитной крепи целесообразно пикеты подразделять на участки протяженностью 5 м с маркированием их цифрами. При ремонтных работах в пределах данных участков ранее указанное маркирование зачеркивается и указывается новое (например, ПК-1, участок 2,1—3,1 и т.д.).

Для горизонтальных выработок каждая камера (по назначению) независимо от ее протяженности должна входить в состав одного пикета, например КПК 7—8; КПК 3—4 и т.д. (рис. 55). Это значит, что в пределах пикетов 3—4 или 7—8 расположена камерная выработка, являющаяся своего рода границей между соответствующими пикетами. Если на данном участке расположено несколько камер, что возможно в пределах околоствольных дворов, перед наименованием пикета следует ставить цифру 1; 2; и т.д. (1 КПК 1—2; 2 КПК 1—2). В пределах каждого пикета камерной выработки маркирование участка или рамной крепи должно производиться по аналогии с вышеуказанным.

В самостоятельные пикеты должны быть выделены все сопряжения, независимо от вида и назначения, например, СПК-1; 2 и т.д.

БОТОЖ

ние вышеприведенной рекомендации.

но на участках сопряжений.

при движении к стволу или выработке, ведущей к стволу.

выработки.

Ведение журналов наблюдений не только обеспечивает должный

контроль за устранением отмеченных отклонений от паспорта выработки, но и полезно для анализа состояния выработок, так как объективно характеризует фактическое состояние выработки в течение срока ее эксплуатации. Это позволяет оценить работоспособность крепи в данных горно-геологических условиях, выявить факторы, влияющие на этот показатель, и обосновать методические положения для выбора крепи выработки. Эти же журналы могут быть использованы для регистрации результатов маркшейдерского контроля.

Маркшейдерский (инструментальный) контроль обычно проводят в сроки, установленные для данного региона, но не менее двух раз в год. При пучащихся породах почвы — ежемесячно. Эти общие положения не являются обоснованными, а результаты контроля, проводимого с разной периодичностью, не могут быть использованы при анализе, в силу чего практическое значение его зачастую ограничено данной выработкой. Вместе с тем инструментальное ведение контроля за состоянием выработок, особенно если оно увязывается с затратами на ее поддержание, может явиться основным показателем, характеризующим приемлемость решений по поддержанию выработок. Это открывает широкие возможности для прогноза состояния выработки в зависимости от способов ее поддержания и, как результат, должно явиться основой последующей оценки условий целесообразного применения тех или иных решений в конкретных горно-геологических и технических условиях.

Значимость этого вида контроля предопределяет важность вопроса его периодичности. По результатам выполненных авторами обследований периодичность инструментального контроля рекомендуется для наклонных и горизонтальных выработок, поддерживаемых монолитными крепями при устойчивых породах почвы, 1 раз в 3 месяца; для наклонных и горизонтальных выработок, поддерживаемых рамными (арочными) крепями, при устойчивых породах почвы — 2 раза в 3 месяца; для наклонных и горизонтальных выработок, независимо от вида постоянной крепи, при неустойчивых породах почвы — 1 раз в месяц.

При инструментальном контроле необходимо производить замеры сечений выработки, смещений пород почвы, регистрировать отклонения от паспорта выработки. Выполняться этот вид контроля должен с обязательным привлечением лиц технического надзора подразделения, в ведении которого находятся данные выработки, что позволит конкретизировать задания на ремонтно-восстановительные работы и получить фактические данные для дефектного акта. При маркшейдерском контроле полезно иметь по 1–2 стационарные замерные станции в каждой основной выработке. Это дало бы большой фактический материал для дальнейшего совершенствования методов прогнозной оценки возможного состояния выработок. Результаты маркшейдерского контроля должны обязательно заноситься в паспорт выработки.

Контроль госгортехнадзора и технической инспекции профсоюза, направлен на проверку соблюдения Правил безопасности и обеспечение

комфортных условий труда. Обычно он выполняется представителями указанных организаций с привлечением должностных лиц данного предприятия и подразделения.

4.3. Виды ремонта, паспорт ремонта

Вид ремонта оценивается характером производимых при этом работ [7]. Такой подход к оценке вида ремонта является приемлемым, но на наш взгляд, недостаточным, так как не характеризует объемов выполняемых работ и участков (по длине выработки) их ведения.

Основываясь на опыте, накопленном на шахтах Донецкого угольного бассейна, рекомендуется вид ремонта оценивать по затратам средств и труда, производящимся при этом, отнесенным к стоимости и трудозатратам на крепление выработки. Отнесение затрат на ремонт к затратам на крепление обосновывается двумя положениями: они обусловлены правильностью решения вопроса поддержания выработок; эти затраты, главным образом, с устранением дефектов крепи. Имеющиеся отклонения — очистка водоотливной канавки, ремонт рельсового пути (в силу изношенности его составных частей) — в общем объеме затрат на поддержание выработок незначительны, редко превышают 5 руб/м годовых затрат и поэтому без большой погрешности могут быть отнесены к затратам на крепление.

Важное значение имеет отнесение затрат на ремонт к протяженности выработки и соотношение возможности их выполнения с деятельностью выработки. Отнесение затрат на ремонтные работы к протяженности выработок связано с оценкой затрат на единицу ее длины (объема). Если затраты, связанные с ремонтом, относить на всю длину данной выработки — их объективность снизится, так как возможные изменения условий поддержания выработки при этом практически не учитываются. Целесообразно затраты на ремонтные работы относить к протяженности (объему) пикета. В этой связи важное значение приобретает пикетирование выработок.

Для возможности сопоставления затрат на поддержание (ремонт) выработок с разной площадью поперечного сечения и закрепленных различными видами крепи, их следует относить к единице площади поперечного сечения (единицы объема) выработки. Это может оказаться особенно полезным на участках сопряжений (пересечений) выработок.

Соотношение возможности выполнения данных ремонтных работ с деятельностью выработки характеризуются их трудоемкостью. Если ремонтные работы в пределах пикета выполняются без нарушения эксплуатационного режима выработки (возможность нормальной работы транспорта, передвижения людей, соблюдение вентиляционного режима), то эти работы, независимо от их характера следует относить к наиболее простому виду ремонта. Если производство ремонтных работ возможно только в ремонтные смены или требует остановки выработки, их трудоемкость должна оцениваться, как повышенная и эти работы сле-

дует относить к наиболее сложным видам ремонтов. На основании изложенного в результате обобщения затрат и трудоемкости ремонтных работ (частично эти данные представлены в табл. 22 и 23) рекомендуется ремонтные работы подразделять на четыре вида (табл. 39).

Несоответствие показателей C_p и T_k объясняется отсутствием прямой зависимости между указанными значениями, обусловленными различием в стоимостных показателях крепежных материалов и видов крепи, а также частичной компенсацией затрат на счет возможного использования крепи или отдельных ее элементов повторно.

При оценке вида ремонта во внимание следует принимать (если нет соответствия) большее значение любого из учитываемых показателей. Затраты средств и труда должны учитывать стоимость и трудоемкость всех работ, связанных с ликвидацией нарушенности эксплуатационного состояния данного участка выработки, в том числе и выполнение работ по усилению крепи участков выработки, смежных с деформированным. Это усиление крепи должно быть постоянным, а не носить временный характер (период производства ремонта), так как снятие усиливающих крепей (усиливающих элементов) может привести с опасным деформациям постоянной крепи и вмещающего породного массива. Все ремонты, за исключением текущих, должны производиться в соответствии с паспортом (проектом) ремонта. Текущий ремонт может вестись по нарядам, который выдается непосредственно на рабочем месте лицом технического надзора, обычно горным мастером.

Особое внимание при этом должно быть уделено Правилам безопасного ведения работ, усилению крепи смежных участков, наличию необходимых крепежных материалов (в том числе и метизов) и инструментов. Горный мастер перед выдачей наряда обязан проверить газовое состояние выработки. Действующими положениями допускается одновременное производство текущего ремонта в двух пунктах данной выработки. Это допустимо при условии, что ремонт ведется от границ деформированного участка выработки во встречном направлении; каждый пункт ремонта имеет независимый безопасный выход. Усиление крепи должно производиться в стороны недеформированных частей выработки независимо от выполнения ремонта в одном или одновременно в двух пунктах выработки.

Паспорт ремонта разрабатывают на все виды ремонта, кроме текущего, и должен состоять из пояснительной записки и графической части. В пояснительной записке указываются виды нарушений, подлежащие ремонту, и причины, их вызвавшие. Описывается организация труда и рабочего места, вопросы техники безопасности. Проводится расчет необходимых при ремонте трудовых затрат и стоимостные показатели выполняемых работ. Особо должны быть выделены мероприятия, направленные на предупреждение развития нарушений крепи и породных обнажений в период выполнения ремонта. В паспорте должны быть указаны меры контроля. Обычное направление хода выполнения ремонтных работ — к стволу или

Вид ремонта	Стоимость ремонтных работ C_p , отнесенная к стоимости крепления C_k данного пикета, %	Трудоемкость ремонтных работ T_p , отнесенная к трудоемкости крепления T_k данного пикета, %	Возможность выполнения работ
Текущий	$C_p \leq 10 \% C_k$	$T_p \leq 25 \% T_k$	В рабочие смены
Средний	$10 \% C_k < C_p \leq 30 \% C_k$	$25 \% T_k < T_p \leq 50 \% T_k$	В ремонтные смены
Капитальный	$30 \% C_k < C_p \leq 50 \% C_k$	$50 \% T_k < T_p \leq 100 \% T_k$	При остановке выработки
Восстановление (ликвидация завалов)	$C_p > 50 \% C_k$	$T_p > 100 \% T_k$	При остановке выработки и возможном прекращении работы других выработок

выработке, ведущей к стволу. Допускается при соответствующем усилении крепи одновременное ведение работ в пределах двух участков. Это допущение должно быть оговорено и обосновано в паспорте и может рекомендоваться только при текущем и среднем ремонтах. При других видах ремонта работы должны выполняться только в пределах одного участка независимо от назначения данной выработки и ее связи с другими. Это требование обуславливается влиянием ремонтных работ на состояние смежных участков. При необходимости выпуска породы и образовании пустот обосновывается порядок работ, выполняемых при этом, а в графической части проекта показывается способ и средства заполнения этих пустот.

Графическая часть должна содержать сечение и разрез проектной выработки с указанием основных размеров и особенностей применяемой крепи. Обязателен показ характера нарушенности крепи и породных обнажений с размерами смещений и прогибов крепи, трещин, вывалов и т.п. На графической части необходимо показывать усиления отдельных элементов ремонтируемого участка и смежных с ним. Элементы усиления, если по своей конструкции они не нарушают режим работы выработки, не должны удаляться после производства ремонтных работ, поэтому на разрезе проектной выработки они должны быть обязательно показаны с соответствующей маркировкой. В случае необходимости проведения тампонажных работ при ремонте, в графической части показывается схема расположения тампонажных скважин (шпуров) с указанием основных размеров, а в пояснительной записке должна быть обоснована необходимость производства этих работ, организация и средства их выполнения.

В графической части должен быть представлен график организации работ и основные технико-экономические показатели их.

Паспорт ремонта согласовывается и утверждается в установленном порядке и с ним под расписку должны быть ознакомлены все лица, занятые этими работами. После выполнения ремонтных работ паспорт ремонта должен сохраняться как приложение к паспорту данной выработки, что обычно не делается и затрудняет общий учет квалификационного состояния выработки.

Паспорта среднего и капитального ремонта должны разрабатываться техническими работниками данного подразделения, согласовываться с техническими службами данного предприятия и подписываться руководителем подразделения (например участка). Они утверждаются главным инженером шахты (шахтоуправления или шахтостроительного управления).

Паспорт восстановления (ликвидации завалов) должен составляться техническими службами данного предприятия с привлечением технических работников подразделения. Он подписывается главным инженером и после согласования с техническими службами вышестоящей организации (производственным объединением, трестом), утверждается ее техническим руководителем (обычно главным инженером).

Паспорт (проекта) ремонта имеет следующее содержание.

Характеристика выработки: назначение, размеры, способы поддержания (в том числе и крепь), способ и время проведения, данные о затратах на поддержание и видах предшествующих ремонтов.

Геологическая характеристика (заключение) участка массива, вмещающего выработку: название и символика слоев пород (в том числе и пластов угля), их мощности, угол залегания, прочностная характеристика и строение, водоносность и газоносность, характеристика геологических нарушений (если они есть).

Основные положения паспорта (проекта): дается характеристика предремонтного состояния выработки, виды и количественная характеристика деформаций крепи и породных обнажений, причины, вызвавшие их; характеризуется вид и назначение ремонта, меры усиления крепи (возможно и породного массива); необходимое оборудование.

Организация ремонтных работ и методы их производства: характеризуются выполняемые при ремонте работы, численный состав исполнителей, их функциональные обязанности.

Технология ремонтных работ: порядок и последовательность выполнения операций, описание работ по ремонту, в том числе и подготовительных; расстановка исполнителей и их обязанности; применяемое оборудование и орудия труда, характеристика положения машин и оборудования, место складирования и общая характеристика крепежного материала; меры по обеспечению безопасности исполнителей.

Особые мероприятия по выполнению работ в сложных геологических условиях, характеризующимся наличием нарушений, сложным строением, повышенным притоком воды и др. При образовании пустот должна быть дана характеристика вновь образованных породных обнажений и описание работ (с конкретной расстановкой исполнителей) по их заполнению.

Паспорта ремонта выборочно, а при повторных ремонтах в обязательном порядке, должны проходить экспертизу проектных и научно-исследовательских организаций. При этом экспертиза должна выполняться с соблюдением требований, предъявляемых к ней, а не ограничиваться получением общих рекомендаций. Этот порядок составления и гласности паспортов ремонта будет способствовать учету нарушенности эксплуатационного состояния выработки, первопричиной 30 % случаев которой является неправильность технических решений, принятых на стадии проектирования, и, как следствие, улучшению этого этапа работ.

4.4. Влияние ремонта на устойчивость выработок

Проведение ремонтных работ независимо от характера и вида вызывает дополнительные нарушения породного массива, сопровождаемые смещениями пород и ростом нагрузок на крепь. Дополнительные нарушения породного массива могут привести к нарушениям крепи на смежных с ремонтируемым и последующих участках и вызвать необходимость ремонта всей выработки. Ремонтные работы влияют не только на смежные участки выработки, но и на параллельные выработки, особенно если они

Время наблюдений, мес. Равномерно распределенная нагрузка на крепь (кН/м^2) по замерным станциям:

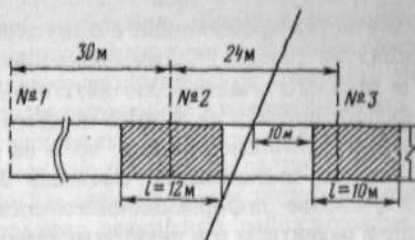
	№ 1	№ 2	№ 3
14	60	100	40
16	60	126	40
18	92	Ремонт	60
20	106	12	71
22	115	25	79
24	117	32	87
26	—	40	90
28	120	43	90
30	—	81	Ремонт
32	—	110	05
34	120	118	12
36	Наблюдения прекращены	120	15
38		120	Наблюдения прекращены
40		Наблюдения прекращены	

расположены вблизи ремонтируемой. Последнее в значительной степени снижается при расположении выработок на безопасном расстоянии друг от друга (см. п.3.3). Специальных исследований по оценке зон и степени влияния ремонтных работ ранее не проводилось, что затрудняло характеристику этих величин, хотя необходимость их очевидна, так как именно они определяют протяженность участков необходимого усиления крепи и степень этого усиления.

Инструментальные наблюдения, связанные с ремонтными работами, проводили на замерных станциях, заложенных в период проведения выработок и "случайно" оказавшимися в зоне влияния ремонтных работ. Поэтому они не имеют обобщающий характер, а проводятся как иллюстрация рассматриваемого вопроса и подтверждения важности этого направления исследований. В табл. 40 представлены данные развития нагрузок на установленную при производстве ремонта металлобетонную крепь (грузовая ветвь опрокида ствола № 4, гор. 740 м шахты "Комсомолец", ПО "Артемуголь") на участках пересечения глинистых сланцев ($\sigma_{сж} = 40 \text{ МПа}$) станции № 1 и № 2 и песчаников ($\sigma_{сж} = 72 \text{ МПа}$) станция № 3. Схема расположения замерных станций и протяженность ремонтируемых участков показана на рис. 56.

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что ведение ремонтных работ вызывает рост нагрузок на крепь при удалении от места их производства на 20–25 м, как в слабых, так и в крепких породах. Началь-

Рис. 56. Схема расположения замерных станций (№ 1, № 2, № 3) и протяженность ремонтируемых участков (l)



ная интенсивность этого роста (в течение 18 месяцев наблюдений) в слабых породах в 1,3–1,8 раза меньше, чем в крепких, продолжительность влияния ремонтных работ в слабых и крепких породах примерно одинакова (8–10 месяцев). Последующее развитие нагрузок (после ремонта) более интенсивно в слабых породах.

Представляют интерес данные, зафиксированные на замерных станциях, оборудованных контурами репера, в полевом штреке гор. 985 м шахты им. А.Г. Стаханова, ПО "Красноармейскуголь" (рис. 57, а) и полевом штреке гор. 591 м шахты им. Ю.А. Гагарина ПО "Артемуголь" (рис. 57, б). Обе выработки проводили в песчанистых сланцах ($\sigma_{сж} = 50$ МПа) и поддерживали податливой арочной крепью из СВП-22, установленной с шагом 0,5–0,65 м. В первом случае полная замена 12-ти рам, производимая на расстоянии 18 м от замерной станции (16 месяцев наблюдений), вызвала увеличение смещений пород до 45 см (интенсивность в первый месяц наблюдений после ремонта – 100 мм/мес, во второй 150 мм/мес) и привела к необходимости ремонта данного участка выработки (кривая 1); последующие наблюдения за конвергенцией пород, проводимые с помощью замеров раздвижной телескопической стойки, показали ее относительно быструю стабилизацию при достижении величины 100 мм (кривая 2), при этом интенсивность послеремонтных смещений не превышала 60 мм/мес. Однако следует отметить, что ремонт перво-

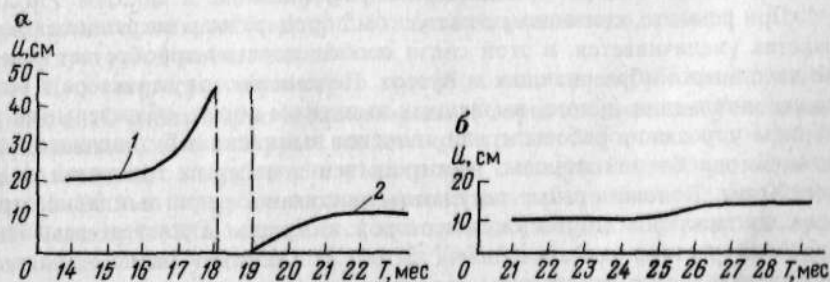


Рис. 57. Характер смещений пород при проведении ремонтных работ:

а – в полевом штреке гор. 985 м шахты им. А.Г. Стаханова ПО "Красноармейскуголь"; б – в полевом штреке гор. 591 м шахты им. Ю.А. Гагарина ПО "Артемуголь"

го участка производили с выпуском породы на расстоянии от проектного контура (вчерне) 20 см (бока выработки) — 50 см (кровля); при ремонте второго участка соответственно 32–90 см. Таким образом, можно констатировать не только общее влияние ремонтных работ на рост показаний замерных станций, но и на деформационное состояние породного массива, вмещающего смежные с ремонтируемым участки выработки. Ухудшение деформационного состояния неизбежно связано с дальнейшим развитием зон неупругих деформаций, что вызывает увеличение зоны влияния выработки, т.е. безопасные расстояния между ними.

В полевом штреке шахты им. Гагарина (см. рис. 57, б) ремонтные работы (замена 16 рам) проводили на расстоянии 24 м от замерной станции, оборудованной на экспериментальном участке, где было проведено укрепление вмещающих пород цементно-песчаным раствором на глубину до 100 см. И на этом участке было зафиксировано влияние ремонтных работ, выразившееся в увеличении смещений пород на 50 мм, при интенсивности их, не превышающей 20 мм/мес. Смежный участок был сохранен в удовлетворительном состоянии.

Важное значение на последующее состояние ремонтируемого участка выработки имеет качество выполняемых при этом работ и время их производства. Если ремонтные работы производят без выпуска породы при установке новой рамной (арочной) крепи, основным условием последующего удовлетворительного состояния выработки являются равномерные по периметру крепи величины закрепного пространства, размеры которого не должны превышать 10–15 см. Невыполнение этого требования ухудшает качество забутовочных работ, что приводит к появлению точечных нагрузок на крепь и значительному снижению ее несущей способности и последующей работоспособности. В этой связи целесообразно увеличивать сечение выработки (вчерне и свету), учитывая неравномерность деформации пород по ее периметру. Такое направление ремонтных работ может вызвать увеличение затрат на их проведение, но эти затраты будут значительно ниже затрат при повторном ремонте.

При ремонте, связанном с выпуском пород, размер закрепного пространства увеличивается, в этой связи особое значение приобретает качество заполнения образовавшихся пустот. Независимо от характера и материала заполнения пустот, вызванных выпуском пород, обязательным условием улучшения работы крепи является выкладка забутовочного слоя из мелкодробленой породы непосредственно на крепи толщиной не менее 20 см. Положительные результаты достигаются при выкладке этого слоя из мокрой забутовки, в которой вяжущим является цементно-песчаный раствор состава $C:P=1:5 - 1:8$. Создание равномерного забутовочного слоя за крепью способствует выравниванию нагрузок на крепь при возможном развитии деформаций породного массива.

Выпуск породы при проведении ремонтных работ не только увеличивает затраты на их выполнение, но и снижает устойчивость крепи смежных участков, поэтому целесообразно проводить предварительное (перед

заменой крепи) укреплении пород. Это требование обычно выполняется при повышенной обводненности породного массива, но целесообразность его очевидна и для сухих пород. Техничко-экономическое сравнение показателей ремонтных работ при предварительном укреплении породного массива и без него (в сопоставимых условиях) характеризуется следующими данными: укрепление пород цементно-песчаными растворами (состава Ц:П = 1:2 — 1:3) на глубину до 1 м снижает общие затраты средств до 20 %, труда — до 15 %. Такой характер ремонтных работ возможен, если выпуск породы не связан с необходимостью восстановления проектных размеров выработки, а по состоянию крепи допустим. При выполнении ремонтных работ с выпуском породы также эффективно увеличить сечение выработки (в черне и свету). Это уменьшает объем закладочных работ и обеспечивает более равномерное по размерам закрепное пространство, то есть улучшает условия работы послеремонтной крепи.

Время производства ремонтных работ существенно влияет на деформационное состояние породного массива. Своевременность их выполнения снижает общие затраты на поддержание выработки за счет уменьшения степени деформации вмещающего массива и, как следствие, зоны влияния ремонтных работ на смежные участки этой же выработки.

На ряде шахт, где контроль за состоянием выработок ведут тщательно, и своевременно принимают меры по ликвидации нарушений паспортов выработок, основным видом ремонтных работ является текущий, как исключение — средний (шахта им. К.И. Печенкова и "Чайкино" ПО "Макеевуголь", шахта им. А.Г. Засядько ПО "Донецкуголь" и др.). На шахтах, где контролю за состоянием выработок уделяется недостаточное внимание, преобладает капитальный ремонт, сопровождаемый значительными затратами средств и труда. Анализ этих затрат на проведение ремонтных работ показывает, что в сопоставимых условиях они соответственно на 30 % и 25 % меньше при своевременном проведении ремонта. По данным обследования выработок, геомеханическое состояние вмещающей выработку массива к моменту ремонта определяет продолжительность межремонтного периода (см. п.2.2.4), т.е. предремонтную, а затем и послеремонтную устойчивость выработки.

Несоответствие параметров способов защиты выработок от влияния добычных работ горно-геологическим и горнотехническим условиям их применения, активизирует влияние очистного забоя на состояние подготовительных выработок и увеличивает смещения породных обнажений на 40—80 % и более. Проведение ремонтных работ дополнительно нарушает массив, что сопровождается смещениями пород на ремонтируемом и смежных с ним участках выработки. Смещения пород вызываются развитием зон неупругих деформаций, размеры которых увеличиваются в 1,05—1,4 раза в кровле и в 1,1—1,3 раза в боках выработки. При этом рост размеров зон неупругих деформаций уменьшается после каждого последующего ремонта и при увеличении несущей способности крепи, устанавливаемой после ремонта.

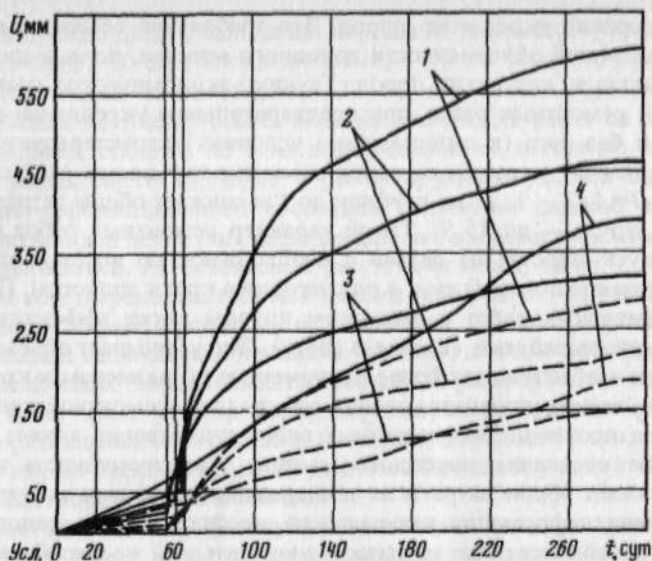


Рис. 58. Графики смещений пород кровли (сплошные линии) и боков (пунктирные линии) выработки:

1 — на замерной станции № 1; 2 — на замерной станции № 2; 3 — на замерной станции № 3; 4 — на контрольной замерной станции

Исследования характера и степени деформации породного массива, вмещающего горную выработку при ее ремонте, проводились на шахте им. Г.Г. Капустина ПО "Лисичанскуголь" и им. М.И.Калинина ПО "Донецкуголь". Экспериментальный участок (шахта им. Г.Г. Капустина) находился в седьмом западном полевом штреке пласта m_3^H (гор. 740 м угол залегания пород — 28°). Вмещающие породы представлены мелко-слоистым глинистым сланцем с прочностью на сжатие 40 МПа. Проектная ширина выработки — 3,97 м; высота 3,21 м ($S_{св}=8,5 \text{ м}^2$). Крезь — арочная, трехзвенная — АП-9,2, шаг установки крепи — 0,8 м. Замерные станции (№№ 1, 2, 3) были заложены на участках выработки со степенью деформации соответственно: 45 %, 52 %, 59 %. Контрольная замерная станция была заложена на участке со степенью деформации 47 %, где ремонтные работы не предусматривались. Наблюдения велись в течении 300 сут, в том числе 56–64 сут до ремонта. Графики смещений кровли и боков выработки после ремонта на замерных смещениях представлены на рис. 58. Наибольшие смещения породных обнажений выработки наблюдались на участке замерной станции № 1, где степень деформации поперечного сечения к моменту ремонта была 45 %. Величина смещений кровли — 551 мм, боков — 258 мм. Смещений пород почвы не наблюдалось. Наименьшие смещения наблюдались на участке замерной станции № 3: соот-

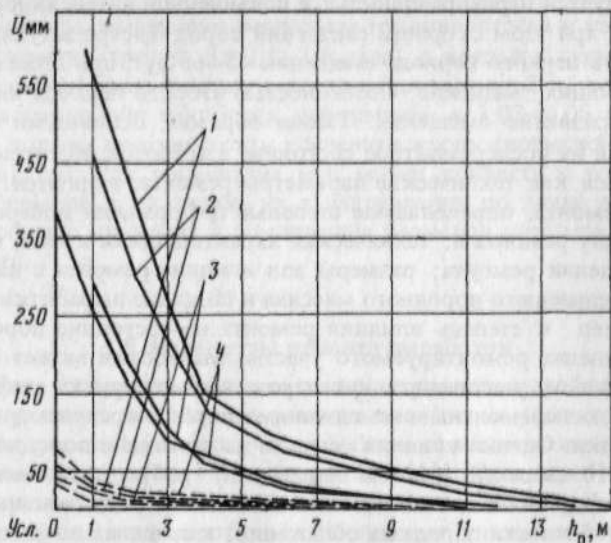


Рис. 59. Зависимость смещений глубинных реперов в кровле выработки U от глубины их заложения h_p к моменту начала ремонта (пунктирные линии) и к моменту окончания наблюдений (сплошные линии) через 300 сут:

1 — на замерной станции № 1; 2 — на замерной станции № 2; 3 — на замерной станции № 3; 4 — на контрольной замерной станции

ветственно 287 и 132 мм. Ремонт выработки вызвал рост интенсивности смещений пород, которая в первые 10 сут после ремонта увеличилась в 12–16 раз. Основные смещения породных смещений после ремонта наблюдались в течении первых 50–60 сут. Наибольшее увеличение размеров зоны неупругих деформаций (см. рис. 59) наблюдалось на замерной станции № 1 (размер зоны неупругих деформаций увеличился с 9,5 м до 15 м), наименьшее — на замерной станции № 3 (с 11 м до 12 м). Конечный размер зоны неупругих деформаций на контрольной замерной станции № 4 составил 11 м.

На шахте им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" исследования проводились в западном коренном откаточном штреке пласта h_7 (гор. 758 м), втором восточном полевом откаточном штреке пласта h_{10} (гор. 861 м), в пятом западном полевом откаточном штреке h_7 (гор. 1070 м). Прочность вмещающих пород 52 МПа, угол залегания 13° . Степень деформации выработок на участках закладки замерных станций (было заложено 12 станций, в том числе 3 контрольные) — 22–40 %. Продолжительность наблюдений составила 320 сут (гор. 861 м) — 430 сут (гор. 758 м), в том числе после ремонта 76–80 сут. Результаты исследований в целом аналогичны вышеприведенным и позволяют выделить два основных периода послеремонтных смещений породных обнажений выработок. Первый

характеризуется неравномерностью и повышенной интенсивностью смещений пород, при этом скорости смещений пород быстро затухают. Продолжительность первого периода смещений 45—65 сут, при этом реализуется 65—71 % общих смещений. Особенностью второго периода является равномерное развитие смещений. Таким образом, основными факторами, влияющими на послеремонтное состояние выработок, которые могут рассматриваться как технические параметры ремонта, являются: время проведения ремонта, определяемое степенью деформации поперечного сечения к началу ремонта α ; техническая характеристика крепи, возводимой при проведении ремонта; размеры зон влияния ремонта в направлениях вглубь вмещающего породного массива и по длине выработки.

Характер и степень влияния ремонта на состояние породного массива в пределах ремонтируемого участка выработки может быть оценено возможным увеличением размеров зон неупругих деформаций и выражено послеремонтными смещениями пород в пределах данного участка выработки. Оценка влияния ремонта на состояние породного массива, вмещающего смежные участки выработки, требует установления размеров зон этого влияния, что позволит объективно решить вопрос усиления крепи (устойчивости породных обнажений) в пределах данных участков.

Ремонт выработок обычно сопровождается "выпуском" породы и образованием в закрепном пространстве пустот, которые должны быть в обязательном порядке заполнены. Это своего рода вывалы пород, которые могли быть причиной, вызвавшей деформации крепи и необходимость ее ремонта. В этой связи к техническим параметрам ремонта следует отнести и высоту (размеры) образующейся пустоты, что определяет необходимое количество закладочного материала и возможную нагрузку на крепь, в том числе и смежных участков.

Таким образом, к техническим параметрам ремонта относятся: время целесообразного проведения ремонтных работ; протяженность смежных участков, требующих усиления крепи, в том числе и укреплении пород; характеристика послеремонтной крепи и размеры зоны деформированной породы, которая может быть выпущена при проведении ремонта. Особенность деформирования породного массива, вмещающего выработку при ведении в ней ремонтных работ, заключается в том, что если ремонт выработки производится при степени деформации поперечного сечения, когда зона руинного разрушения (см. п. 1.6) еще не закончила свое формирование, то до 80 % смещений породного контура выработки после ремонта происходит за счет дальнейшего расслоения пород в пределах этой зоны, а остальная часть за счет увеличения размеров зоны неупругих деформаций. Если зона руинного разрушения уже образовалась, то основные смещения породного контура выработки после ремонта происходят за счет образования зоны неупругих деформаций (до 80 %).

На участках выработок, находящихся в пределах зон влияния ремонта, по мере приближения к месту ремонта наблюдаются дополнительные

смещения контура, вызванные развитием трещиноватости и увеличением ширины раскрытия трещин (в 1,2–1,6 раза) в пределах существующей вокруг выработки зоны трещиноватости размером до 2 м, а также увеличением размеров зон неупругих деформаций в 1,03–1,05 раза. Этим смещениям должна противостоять усиленная крепь (возможно укрепление массива), так как непринятие мер может привести к росту интенсивности смещений и развитию их в направлении по длине выработки. Последнее обычно приводит к увеличению размеров участков необходимого ремонта.

4.5. Параметры ремонта выработок

4.5.1. Зона влияния ремонта на смежные участки выработки. Для установления размеров зон влияния ремонта на смежные участки выработки (до и после ремонтируемого участка) были проведены исследования в основных выработках гор. 758 м шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецк-уголь". Транспортная выработка клетового ствола № 1 пройдена вкрест простирания пород, представленных глинистыми сланцами с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа. Крепь выработки – АП-13,8 (площадь поперечного сечения выработки в свету $S_{св} = 12,8 \text{ м}^2$, в проходке $S_{пр} = 15,5 \text{ м}^2$). К моменту начала ремонта степень деформации выработки достигла 33 %. Схема экспериментального участка и графики смещений породных обнажений выработки в зависимости от расстояния до места ведения ремонта и времени после его окончания, представлены на рис. 60. Зона влияния ремонта определялась по излому графиков конвергенции кровли и почвы выработки. Для данной выработки размер зоны влияния составил 9,1 м. Как видно из рис. 60, при попадании участков выработки впереди места ремонта в зону влияния наблюдается рост интенсивности смещений, которая увеличивается по мере приближения к месту ремонта и достигает наибольшей величины в месте ремонта. По мере удаления от места ремонта интенсивность смещений затухает. Аналогичные результаты были получены при исследованиях и в других выработках. Обобщенные результаты этих исследований (32 замерных станции) приведены в табл. 41.

После обработки полученных результатов методом математической статистики получена эмпирическая зависимость для определения длины (L) зоны влияния ремонта, м:

$$L = 1,8n_1n_2[S_2 - (1 - 0,01\alpha)S_1] \quad (4.1),$$

где n_1 – коэффициент, учитывающий расположение выработки относительно напластования пород: по простиранию $n_1 = 1,2$ вкрест и под углом к простиранию $n_1 = 1,0$; n_2 – коэффициент, учитывающий способ расширения выработки при ремонте: при механическом $n_2 = 1$, при использова-

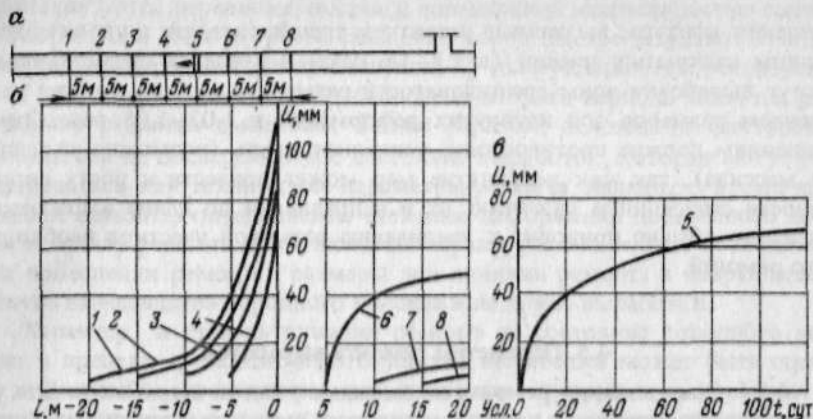


Рис. 60. Схема экспериментального участка (а) на шахте им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь" и зависимости смещений u контура выработки от расстояния L до места ведения ремонтных работ (б) и времени t после их проведения (в):

1-8 - замерные станции. (а) соответственно № 1-8; кривые $u=f(L)$ (б) и $u=f(t)$ (в), полученные на станциях соответственно № 1-8

нии БВР - $n_2 = 1,1$; S_1 - площадь поперечного сечения выработки в проходке, m^2 ; S_2 - сечение выработки после ремонта, m^2 ; a - степень деформации поперечного сечения выработки к моменту ремонта, %.

В зависимости от горно-геологических и технических условий расположения выработки точность прогноза размера зоны влияния ремонта по

Таблица 41

Наименование выработки	$S_{пр}$ (m^2) при проведении выработки	Степень деформации $S_{пр}$ к моменту ремонта, %	$S_{пр}$ (m^2) после ремонта	Способ выемки породы	Направление выработки относительно напластования	Размер зоны влияния, м
Транспортная выработка скипового ствола	9	44	9	Отбойный молоток	Вкрест простирания	7,1
Главный откаточный квершлаг	15	19	17	Буровзрывной	Вкрест простирания	10,2
Полевой шпрек	8	25	9	Буровзрывной	По простиранию	7,1

длине выработки, рассчитанного по зависимости 4.1, составляет $\pm 0,5$ м при $0,25 \leq \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} \leq 0,64$ и $19 \% \leq \alpha \leq 44 \%$. В других условиях погрешность достигает 10–15 % в сторону увеличения, что можно считать приемлемым.

4.5.2. Оценка времени необходимого начала ремонта. Основанием для начала ремонта может быть принята степень деформации поперечного сечения выработки. Время проведения ремонтных работ существенно влияет на деформационное состояние породного массива. Своевременное их выполнение снижает общие затраты на поддержание выработки за счет уменьшения степени деформации вмещающего массива и, как следствие, зоны влияния ремонта на смежные участки этой же выработки.

Исследования рассматриваемого параметра ремонта проводились для выработок, находящихся вне зоны непосредственного влияния очистных работ и для выработок, находящихся в зонах опорного давления, вызванных ведением очистных работ.

Состояние выработки к моменту начала ремонта оценивалось относительной величиной потери сечения вчерне α , выраженной в процентах, которая определилась по эмпирической зависимости:

$$\alpha = 111 U_1 / R, \quad (4.2)$$

где U_1 — смещения пород кровли выработки к моменту начала ремонта, м; R — радиус выработки (ее полуразмер в направлении наибольших смещений), м.

Критериями, оценивающими целесообразность проведения ремонта при данной степени деформации поперечного сечения выработки, приняты послеремонтные смещения породных обнажений данной выработки. Исследования характеризовали следующие показатели: параметр устойчивости $\gamma H / \sigma_{сж}$, который изменялся от 0,2 до 0,9; радиус выработки вчерне при проведении — 1,8–3,0 м; радиус выработки вчерне после ремонта — 1,8–4,0 м, несущая способность крепи выработки до и после ее ремонта — 0,05–0,15 МПа.

Графики смещений породного контура выработки после ремонта в зависимости от степени деформации ее поперечного сечения приведены на рис. 61. При обработке результатов исследований методами математической статистики была получена зависимость для расчетной оценки степени деформации поперечного сечения данной выработки $[\alpha]$, при которой необходимо производить ремонт:

$$[\alpha] = 26,75 \left[\exp \left(\frac{\gamma H}{\sigma'_{сж}} \right) - 1 \right]. \quad (4.3)$$

Используя зависимости (4.3) и (4.2), коэффициент корреляции которых равен 0,85, достаточно объективно решается вопрос о времени начала проведения ремонтных работ.

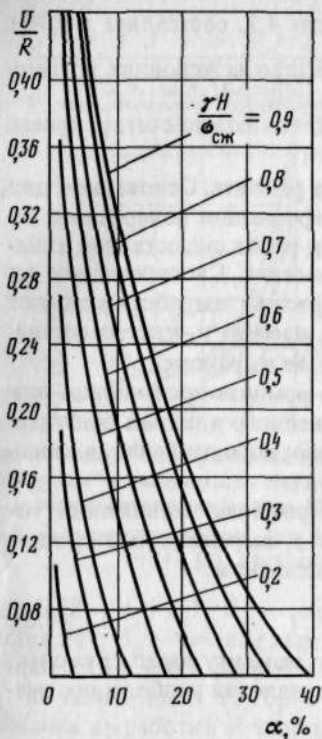


Рис. 61. Зависимость смещений контура выработки после ремонта (U/R) от степени деформации поперечного сечения к моменту ремонта α при значении коэффициента концентрации напряжений, равном 1, рассчитанные для различных горно-геологических условий ($\gamma H/\sigma_{сж}$)

Основные выработки, находящиеся в зоне непосредственного влияния очистных работ. Непосредственное влияние очистных работ сказывается в образовании вокруг участка ведения очистных работ зон повышенных напряжений (повышенного горного давления — ПГД). Расположение выработок в пределах этих зон вызывает повышенную нарушенность вмещающего массива и породных обнажений. В этих условиях необходим учет коэффициента концентрации напряжений, величина которого может быть определена по зависимостям [20]

$$K = \begin{cases} 9L\gamma H/L_{оп}, & \text{при } L \leq L_{оп}/3, \\ 3(1 - L)/L_{оп} + 1, & \text{при } L_{оп}/3 < L \leq L_{оп}, \end{cases} \quad (4.4)$$

где L — расстояние выработки от границы выработанного пространства, м; $L_{оп}$ — размер зоны опорного давления, определяемый по формуле 1.9.

Для выработок, находящихся в зоне надработки, коэффициент концентрации напряжений $K = 1,1$ [9].

С учетом вышеизложенного, зависимость для прогнозной оценки $[\alpha]$ будет иметь вид:

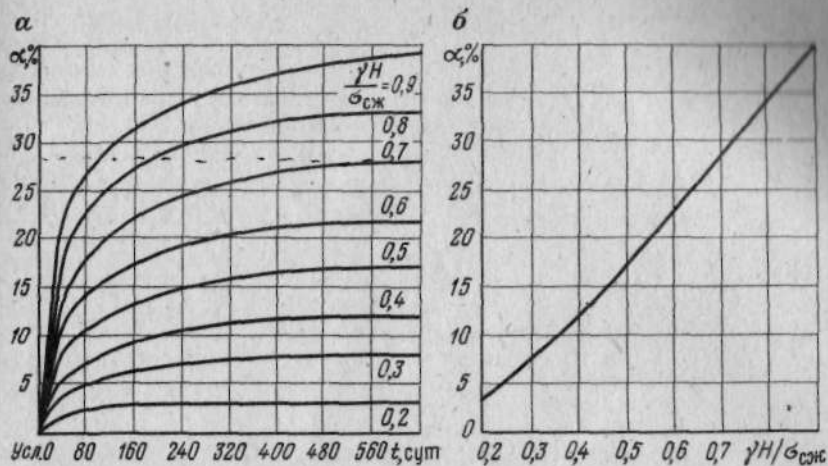


Рис. 62. Зависимость степени деформации поперечного сечения выработки α во времени t от горно-геологических условий ($\gamma H/\sigma_{сж}$) (а) и зависимость рекомендуемой степени деформации поперечного сечения $[\alpha]$ выработки к началу ремонта от горно-геологических условий ($\gamma H/\sigma_{сж}$) (б)

$$[\alpha] = 34,78 \left[\exp \left(\frac{K \gamma H}{\sigma_{сж}} \right) - 1 \right]. \quad (4.5)$$

Для упрощения прогноза изменения степени деформации поперечного сечения выработки α во времени (а) и изменения рекомендуемой степени деформации поперечного сечения выработки $[\alpha]$ к началу ремонта (б) от горно-геологических условий нахождения выработки (их системы) построены графики, приведенные на рис. 62.

4.5.3. Техническая характеристика послеремонтной крепи выработок. Независимо от режима работы и вида послеремонтной крепи ее основными характеристиками являются необходимая податливость и требуемая несущая способность, которые могут быть оценены по ожидаемым послеремонтным смещениям породных обнажений выработки. Таким образом, основным параметром ремонта, определяющим техническую характеристику крепи, возводимой в выработке после его проведения, являются послеремонтные смещения породных обнажений. Используя вышеприведенные результаты исследования, в том числе графики рис. 60, 61, 62, методами математической статистики получены зависимости для прогнозирования оценки послеремонтных смещений породных обнажений выработки:

1. Выработка вне зоны непосредственного влияния очистных работ:

$$U = 0,241 R_1 \left[\exp \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} - 1 \right] + 0,87 R_1 \frac{\gamma H}{\sigma_{сж} R a} - 0,012 a R \dots, \quad (4.6)$$

Радиус выработки в проходке до ремонта, м	Допустимые смещения (мм) для выработок при радиусе выработки вчерне после ремонта (м)						
	1,94	2,02	2,06	2,13	2,22	2,34	2,54
1,94	300	350	350	450	670	920	1074
2,02	—	300	300	400	620	870	1020
2,06	—	—	300	400	620	870	1020
2,13	—	—	—	300	450	700	850
2,22	—	—	—	—	300	400	1020
2,34	—	—	—	—	—	300	920
2,54	—	—	—	—	—	—	300

2. Выработка в зоне непосредственного влияния очистных работ:

$$U = 0,313R_1 \left[\exp\left(\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} \right) - 1 \right] + 1,13R_1 \frac{K \gamma H}{\sigma_{сж} R a} - 0,012aR \dots \quad (4.7)$$

где R — проектный радиус выработки вчерне, м; R_1 — радиус выработки вчерне после ремонта, м.

Рекомендуемые условия применения зависимостей (4.3), (4.4),

$$(4.6), (4.7): 0,2 \leq \frac{\gamma H}{\sigma_{сж}} \leq 0,9; 5\% \leq a \leq 80\%.$$

Приведенные зависимости дают результаты, хорошо согласующиеся с результатами инструментальных замеров, расхождение не превышает 10 %.

Несущая способность послеремонтной крепи может быть определена по методике [13], где должна быть учтена ширина выработки вчерне после ремонта.

Задаваясь размерами поперечного сечения выработки после ремонта и зная a , по формулам (4.6) или (4.7) в зависимости от назначения и места расположения данной выработки, определяют послеремонтные смещения породных обнажений и оценивают необходимую несущую способность вновь возводимой крепи. Сопоставляя прогнозные значения смещений и ожидаемых нагрузок с технической характеристикой той или иной конструкции крепи, окончательно выбираем необходимую для данных условий. Величины допустимых смещений типовых сечений выработок при креплении металлической арочной, податливой, трехзвенной крепью приведены в табл. 42.

Пример. Определим параметры ремонта выработки для условий шахты "Голубовская" ПО "Стахановуголь". Коренной северный откаточный штрек пласта k_3 пройден по пласту мощностью 0,8–0,85 м с нижней подрывкой на глубине 500 м. В кровле пласта залегает известняк мощностью до 1,5 м с прочностью на одноосное сжатие 80 МПа, который местами замещается глинистым сланцем с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа. Выше залегает глинистый сланец с прочностью на одноосное сжатие 42 МПа. В почве пласта залегает песчаный сланец с прочностью на одноосное сжатие 50 МПа. При проведении выработку крепили арочной трехзвенной податливой крепью АП-11,2 с площадью поперечного сечения в свету – 10,4 м², вчерне – 13,0 м². Шаг установок крепи – 1 м. Средний удельный вес пород – 0,025 МН/м³, угол падения пород – 6°. Выработка находится в зоне влияния очистных работ, от которых охраняется целиками угля шириной 20 м.

По зависимости (1.9) находим размер зоны опорного давления $L_{оп}=47$ м, а по зависимости (4.4) определяем значение коэффициента концентрации напряжений $K=2,58$. Тогда рекомендуемое время начала ремонта (степень деформации поперечного сечения выработки к моменту ремонта $[a]$ определится по зависимости (4.5), $[a]=43$ %. Задаваясь радиусом выработки вчерне после ремонта, по формуле (4.7) определяем ожидаемые смещения породного контура после ремонта. При радиусе 1,94 м $U=289$ мм. При данном полупролете площадь поперечного сечения выработки в свету – 10,4 м², вчерне – 13 м². Необходимая несущая способность постоянной крепи при этом 0,09 МПа, что соответствует шагу ее установки 0,5 м.

Приведенные параметры были использованы при проведении ремонтных работ в данной выработке и обеспечили хорошее послеремонтное состояние ее, а по сравнению с контрольным участком, где первый ремонт производили при $a=27$ %, а повторный через 105 сут при $a=39$ %, фактический экономический эффект составил 16,115 тыс. руб. при общей длине ремонтируемого участка 100 м. На рис. 63 приведены результаты инструментальных наблюдений за смещениями пород кровли (a : 1 – на контрольном участке после первого и второго ремонтов; 2 – на участке, ремонтируемом при $[a]=43$ %) и общий вид состояния участков выработки через 2 года после проведения ремонта (b – на контрольном участке после второго ремонта при $a=39$ %; $в$ – на участке при ремонте с $[a]=43$ %).

4.5.4. Оценка размеров зоны возможного выпуска породы при ремонте. Большинство (примерно 60 %) ремонтов выработок, независимо от их назначения и горно-геологических условий их расположения, проводится с выпуском породы. Образующие при этом пустоты, размеры которых в направлении вмещающего массива достигают 2 м и более, достаточно объективно характеризуются показателями, приведенными в главе I (п. 1.4.3). Выпуск породы при проведении ремонта, т.е. ремонтное вывалообразование, ухудшает последующее состояние выработки за счет увеличения размеров зоны неупругих деформаций и послеремонтных смещений породных обнажений выработки. Для оценки степени влияния выпуска породы при ремонте выработок на их последующую устойчивость принят коэффициент K_v , который показывает, во сколько раз увеличивается размер зоны неупругих деформаций после ремонта с выпуском породы по сравнению с размерами ее при работах без выпуска поро-

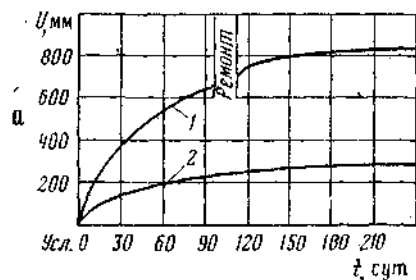


Рис. 63. Зависимость смещений кровли выработки (α) и состояние участков выработки через 2 года после проведения ремонта на контрольном участке после второго ремонта при $\alpha=39\%$ (б), на экспериментальном участке при ремонте с $[\alpha]=43\%$ (а):

1 — на контрольном участке после первого и второго ремонтов; 2 — на участке, ремонтируемом при $[\alpha]=43\%$

ды. Значение коэффициента K_B может быть найдено из графиков рис. 64 в зависимости от размеров образуемой при выпуске породы полости h_0 . Так, при $\alpha=30\%$, отношение $h_0/R=1,5$ (R — радиус выработки), при качественной закладке образовавшейся в результате выпуска породы полости $K=1,6$. Если закладочные работы будут выполнены некачественно, то $K=2,55$. По приведенному графику из отношения h_0/R при данной степени деформации поперечного сечения выработки α , может быть определено значение h_0 .

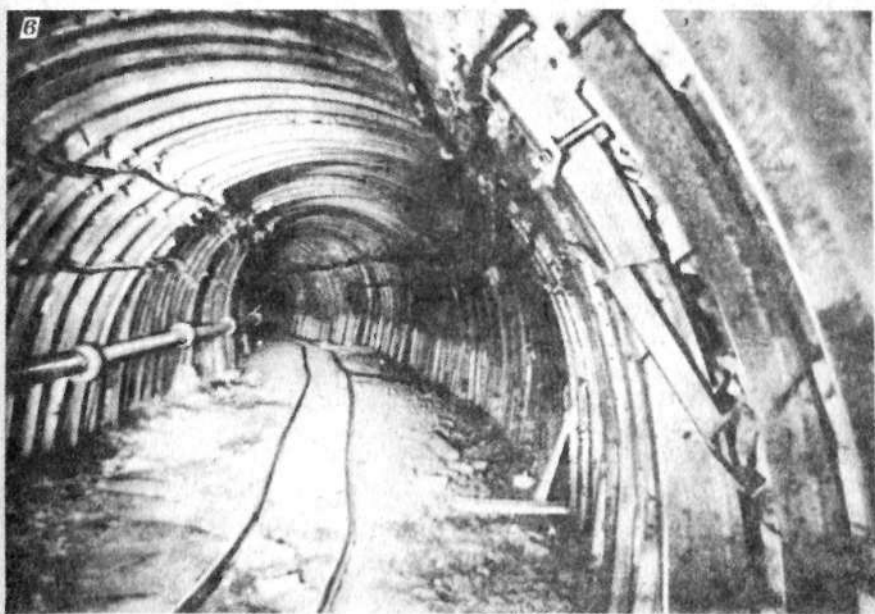
Значение высоты полости

$$h_0 = 0,48 + 8,2 \frac{\alpha}{100} \quad (4.8)$$

Увеличение размера зоны неупругих деформаций вызывает увеличение конечных смещений породного контура выработки после ее ремонта. Значения этих смещений оцениваются по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} U &= 0,241 K_B^{1,4} R_1 \left[\exp\left(-\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}\right) - 1 \right] + 0,87 R_1 \frac{\gamma H}{\sigma_{сж} R \alpha} - 0,009 \alpha R \\ U &= 0,313 K_B^{1,4} R_1 \left[\exp\left(-\frac{K \gamma H}{\sigma_{сж}}\right) - 1 \right] + 1,13 R_1 \frac{K \gamma H}{\sigma_{сж} R \alpha} - 0,012 \alpha R \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

При равномерной закладке полости по периметру выработки (кроме почвы) до 30 % смещений воспринимаются закладочным материалом. Исключение возможного выпуска породы при ремонте целесообразно, и это может быть достигнуто предремонтным укреплением породного массива, прилегающего к выработке. Параметры предремонтного укрепления породного массива нагнетанием вяжущего могут быть определены по значению h_0 и требуемым размерам выработки после ее ремонта.



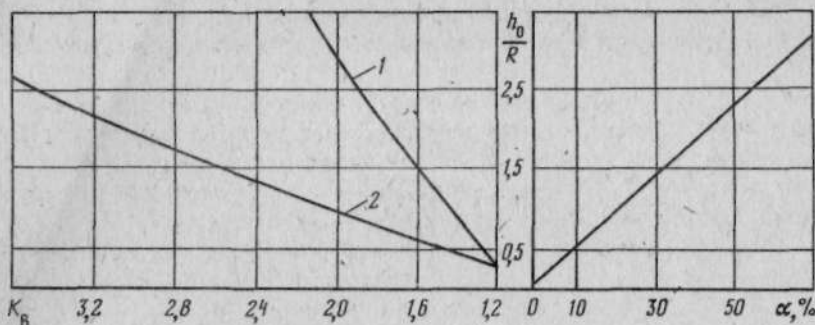


Рис. 64. Зависимость коэффициента увеличения размеров зоны неупругих деформаций K_B от размеров вывала (h_0/R_B):

1 — при контакте забутовки с породным контуром, образовавшимся после вывала;
2 — при отсутствии контакта забутовки с породным контуром после вывала

4.6. Восстановление выработок

Наиболее сложным видом ремонта, в том числе и в связи с повышенной опасностью ведения работ, является восстановление выработок, деформированных в результате значительного по величине вывалообразования. В этой связи важное значение имеет прогноз возможности и величины вывалообразования и учет развивающейся при этом нагрузки на постоянную крепь выработки (п. 1.4.3). Это положение должно быть обязательным, так как анализ завалов выработок показывает, что в 66 % случаях несущая способность постоянной крепи была ниже фактической нагрузки, вызванной вывалообразованием. При обычном ремонте, проводимом с выпуском породы, возможно развивающееся вывалообразование, что может привести к завалам смежных с ремонтируемым участков выработки. В этой связи большое значение имеет усиление крепи или укрепление массива, вмещающего эти участки. В 34 % завалов выработок (анализировалось 50 случаев) постоянная крепь имела несущую способность, превышающую нагрузку от вывала, но вместе с тем была полностью деформирована. Причиной этого может быть качество работ при проведении выработки или проведении ремонта, если он предшествовал завалу выработки.

Независимо от массы вывала ликвидация последствий его действия на крепь и в целом на выработку (если это вызвано необходимостью) связана с прекращением ее эксплуатации. В этой связи значение приобретают сроки выполнения восстановительных работ, организация этих работ (в том числе и работ подготовительного периода), технология их выполнения.

Важность подготовительного периода в том, что именно при этом принимается основное решение, определяющее организационные основы восстановительных работ и технологию их выполнения.

В подготовительный период должно входить:

1) установление причины деформации выработки (вывалообразования);

2) установление вида и параметров вывалообразования, а также устойчивости вновь образованных породных обнажений и деформационного состояния породного массива, вмещающего смежные с деформированными участки выработки. Одновременно с этим необходимо принятие мер по предупреждению развития вывалообразования.

Учитывая размеры распространения вывалообразования по длине выработки (см. п. 1.4.3), оценку состояния породного массива следует начинать не менее, чем за 25 м до вывалообразования (если позволяют условия — в обе стороны от завала). Оценка может производиться путем бурения смотровых скважин (с последующим использованием РВП-456), частичной разборки затяжек с визуальной оценкой массива или оценки состояния крепи. При частичной разборке затяжки обязательно усиление смежных рам. Эти работы при положительной оценке первого участка должны повторяться через каждые 5 м в направлении к завалу. Важность этого подготовительного этапа очевидна, так как именно его результаты дают основу для составления паспорта восстановления выработки. Зная размеры вывала, его форму, характеристику вновь образованных породных обнажений, можно объективно выбрать способы и средства проведения работ по восстановлению выработки. Однако следует отметить, что работы этого этапа не всегда выполняются, а в ряде случаев (при их выполнении) установить параметры вывалообразования не удается;

3) разработка паспорта (проекта) восстановления выработки, который должен быть подготовлен и утвержден в установленном порядке не менее, чем за 5 дней до начала восстановительных работ. В паспорте обязательно должны быть предусмотрены мероприятия, направленные на предупреждение развития деформаций при ведении работ по разборке завала (восстановлению выработки). Все лица, которые будут заняты на восстановительных работах, должны быть ознакомлены с паспортом работ;

4) подготовка необходимых (предусмотренных паспортом) материалов и оборудования для производства восстановительных работ, а также подготовка рабочих к их выполнению.

Если вывалообразование стационарное и ширина его не превышает ширины выработки, то усиление крепи должно быть произведено на участках, протяженностью не менее 5 м в обе стороны, если имеется опасный подход к вывалообразованию с обеих сторон. При развивающихся вывалообразованиях усиление крепи должно быть произведено на участках не менее 10 м, с обязательным укреплением пород цементно-песчаным раствором.

Если деформационное соотношение вмещающего породного массива характеризуется возможностью вторичных вывалообразований, усиление крепи с обязательным укреплением пород целесообразно производить

на участках протяженностью не менее 25 м от вывалообразования. Приведенные размеры участков обязательного усиления крепи являются установленными по результатам вышеприведенного анализа случаев завалов выработок и оценивались изменением интенсивности смещений пород, установленных натурными замерами.

Организационные основы разборки завала должны включать:

1) График последовательности работ и квалификацию их исполнителей. К этим работам допускаются рабочие высшей квалификации, имеющие опыт и прошедшие дополнительное обучение.

2) Четкое распределение работ по видам — усиление крепи перед началом работ по разборке завала. Это дополнительные работы, выполняемые после подготовительного периода, если в них появляется необходимость. Практика разбора завалов на шахтах Донецкого угольного бассейна показывает, что в 20–26 % случаев эти работы являются необходимыми. При разборе завала в вентиляционном квершлага шахты им. газеты "Комсомолец Донбасса" ПО "Шахтерскантрацит" (гор. 311 м) именно на выполнение этого мероприятия при ликвидации завала на участке протяженностью 15 м привело к вторичному завалу на участке 22 м. Характерными признаками развития деформационного состояния породного массива, которое может привести к вторичным завалам или дополнительным опасным деформациям крепи, являются интенсивное трещинообразование в монолитных крепях, повышенные смещения податливых крепей (выдавливание и интенсивная деформация затяжек), усиливающееся "просыхание" породы, шумовой эффект (разрыв сплошности отдельных элементов породного массива или элементов крепи). Противостоять этим деформациям известными техническими средствами не следует, так как усиленная крепь процесс интенсивного развития деформации остановить не может, а укрепление массива связано с выполнением работ в зонах повышенной опасности. Некоторые положительные результаты дают "провоцирующие операции" — искусственное ускорение вывалообразования, например, взрыванием 3–5 зарядов ВВ (до 1–1,5 кг ВВ типа Т-19), накладываемых (без шпуров) на элементы крепи или породные обнажения. Эти взрывные работы могут вестись без специально составляемого паспорта БВР, но обязательно по проекту, согласованному с инспекцией госгортехнадзора, и выполнение их проводят в присутствии его представителя. Однако эти мероприятия должны являться исключением, т.е. они характеризуют плохую организацию при ликвидации завалов. Особое внимание должно быть обращено на осуществление надзора за выполняемыми работами. Действующие проекты ликвидации завалов этого обычно не учитывают.

3) Трудовая дисциплина, которая предусматривает четкое, качественное и своевременное исполнение обязанностей всеми работающими.

4) Гласность результатов при проведении восстановительных работ.

К организационным основам следует, кроме вышеизложенного, отнести и описание основных работ по ликвидации завалов, излагаемое

в паспорте. В качестве примера рассмотрим выдержки из паспорта проведения работ по завалу и крепления коренного восточного откаточного штрека пласта k_2^2 (шахта им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь").

Бурение шпуров для дробления породных глыб осуществляют пневмосверлами. Звено бурильщиков состоит из двух человек. Бурение шпуров выполняется в следующей последовательности: осмотреть, остучать и провести обorkу всего забоя, привести в безопасное состояние постоянную и временную крепь; проверить наличие необходимого количества резцов, витых штанг, инструмента и др.; проверить давление сжатого воздуха, которое должно быть не менее 0,5 МПа; осмотреть сверло, проверить затяжку болтовых соединений; убедиться в наличии и чистоте сетки фильтра; подсоединить к сверлу штанг, предварительно продув его сжатым воздухом и опробовать сверло; бушпомом наметить в забое лунку глубиной 3–5 см в месте забуривания; вставить в патрон сверла забурник метровой длины, снаряженный резцом; захватить забурник захватом буродержателя, направить бур резцом в лунку; одному проходчику по ремонту поддерживать бур буродержателем, второму — включением пневмосверла забурить шпур на глубину 10–15 см и т.д.

Установку временной крепи выполняет звено рабочих из трех человек. До начала работ проходчики обязаны проверить, нет ли трещин отдельности в кровле, отслаивания ее участков, нависающих кусков породы; нет ли нарушений постоянной крепи.

Бригадир или звеньевой, находясь под защитой постоянной крепи, остукивает кровлю, опускает оборником нависшие куски пород. После проведения забоя в безопасное состояние устанавливают временную крепь в следующей последовательности:

поочередно выдвигают трубы крепи до самого забоя выработки (по завалу), во время передвижки каждую трубу поддерживают менее, чем на двух хомутах (подвесках);

устанавливают на каждой трубе третий хомут (подвеску);

укладывают на трубы деревянные щиты.

Укладку щитов временной крепи производят со специально устроенного полка. Щиты укладывает звеньевой, а остальные рабочие подают их, находясь зади звеньевого, в направлении от постоянной крепи к забою, находясь под защитой постоянной крепи или ранее уложенных щитов.

Заполнением образовавшейся над выработкой после вывала пустоты деревянными клетями занимаются трое рабочих. При высоте пустоты более 1 м клетки соединяют скобами и опирают на стойки;

выкладку клетей производят через "окно", которое образуется путем раздвижки затяжки над рамой (имеется в виду вновь возведенной крепи) и через которое, находясь под защитой крепи, при помощи сборников обирают и остукивают кровлю в пустоте (куполе);

при необходимости устанавливают временную крепь из одиночных стоек диаметром не менее 16 см под обрезок доски, обшпола, шпального бруса, которые пришивают к стойке гвоздями или скобами. Стойку расклинивают по почве выработки. При слабой почве стойку устанавливают на отрезок шпального бруса; горбыли длиной не менее 0,5 м.

убедившись в надежности крепления купола выработки и невозможности вывалов и обрушения кусков породы, горный мастер замеряет содержание метана в куполе и дает разрешение на выкладку клетей над постоянной крепью;

выкладку клетей производят под непосредственным руководством горного мастера;

звеньевой, находясь в куполе над постоянной крепью, выкладывает клеть, а двое других рабочих подают ему лес и выполняют другие операции по указанию звеньевого и горного мастера и т.д. по всем 9 параграфам (16 пунктам) и предельно полно представленной графической части паспорта.

Технологические положения выполнения восстановительных работ включают основные схемы ведения работ по разбору завалов (восстановлению выработок). Разбор завалов может производиться по двум основным схемам:

с полным выпуском породы и последующей закладкой образовавшихся пустот (куполов);

с частичным выпуском породы, когда часть вывалообразования остается в закрепном пространстве, а возникшие при этом пустоты заполняются тампонажным раствором, который одновременно укрепляет оставленную породу.

Независимо от применяемой схемы, выполнение работ должно быть своевременно обеспечено предусмотренными паспортом материалами и оборудованием, в том числе и индивидуального пользования (кайло, кувалда, оборник, топор и т.д.). Складирование материалов и оборудования должно производиться с учетом вида вывала, состояния вновь образовавшихся породных обнажений, возможности развития вывалообразования по длине выработки. На основании имеющегося на шахтах Донбасса опыта рекомендуется размещать необходимые материалы на расстоянии 10–25 м от места производства работ после выполненного усиления крепи. Оборудование, используемое при ликвидации завалов (компрессор, бетономешалки, установки для подачи вяжущего в закрепное пространство и т.п.), целесообразно располагать на расстоянии 25 м и более от места производства работ, учитывая при этом не только вышеуказанные факторы (геомеханические и технические параметры нарушения), но и создание безопасных и благоприятных условий для работающих в забойной (по восстановлению) части выработки.

При восстановительных работах с выпуском породы, что наиболее целесообразно при стационарных вывалах и высоте купола до 1,5 м, предусматривают работы по проверке устойчивости вновь образованных породных обнажений, а при поступлении через них воды — производство тампонажных работ на участке нарушения с целью создания водозащитной обложки толщиной не менее 1 м.

Работы по разбору завала и восстановлению выработки (в том числе возведение постоянной крепи) ведут параллельно и с выполнением предупредительных мер против сползания породы с забойной части завала в призабойное пространство. При поддержании выработки монолитными крепями восстановительные работы ведут с первоначальным возведением рамных крепей и уже под их защитой возводят монолитную крепь. В этом случае рамная крепь выполняет не только функции временной (передовой) крепи, но и усиливающей. Возведение ее и закладку пустот выполняют параллельно, заходками до 3 м. Использование в этом качестве опалубки или отдельных ее элементов, а также использование в качестве опалубки элементов временной крепи при разборке завалов не только повышает опасность работ и их трудоемкость, но и приводит к развитию вывалообразования даже в относительно благоприятных условиях.

Положительные результаты достигаются при использовании в качестве постоянной набрызгбетонную крепь. Над крепью должен быть уложен слой породы толщиной 20 см и более и уже на него укладывают заполняющий пустоту материал (в том числе костры, накатник и т.д.). После возведения постоянной крепи закрепное пространство целесообразно затампонировать.

При восстановительных работах с частичным выпуском породы, что целесообразно при развивающихся вывалообразованиях, а также стационарных с размерами пустот более 1,5 м, разбор завалов необходимо производить с опережающей забивной крепью. В качестве забивной крепи могут использовать доски (брусья) толщиной более 5 см, старые арматурные стержни, буровые штанги, трубы.

Забивная крепь должна опережать постоянную (опорную) на 1,2–1,5 м. Переводная часть забивной крепи, внедряясь в завал, опирается на породы перед заменяемой крепью, средней частью на элемент призабойной (вновь установленной) рамы, а хвостовой — под элемент второй от забоя рамы. Под защитой забивной крепи питают породы и устанавливают новую раму крепи. После этого производится забивка нового звена передовой крепи и т.д. В условиях неустойчивых пород и высоте "купола" не более 0,5 В (В — ширина выработки) следует производить заполнение пустот тампонажным раствором заходками 3–5 м по мере восстановления выработки. Тампонажные трубы, через которые в закрепное пространство подается тощая бетонная смесь, устанавливают из расчета: одна труба на 5–8 м² поверхности выработки, длина принимается не менее $0,8h_B$ (h_B — высота вывала). При заполнении пустот тампонажными растворами рекомендуется применение стеклотканевого ограждения. После твердения тампонажного раствора (обычно через сутки) производят повторное тампонирующее (при этом тампонажным раствором служит цементно-песчаный состав 1:2), что исключает дополнительные деформации крепи (в том числе и крепи усиления) под действием веса незатвердевшего раствора и давления нагнетания. Качество тампонажа контролируется бурением 1–2 скважин, из которых извлекаются керны. Для оценки глубины тампонажа, наличия незатампонируемых пустот и прочности тампонажного заполнения бурятся контрольные скважины в направлении ведения тампонажных работ из расчета 1 скважина на 10–15 м² поверхности выработки.

Если размеры вывалообразования значительные, а характер развивающийся, не исключается возможность обхода его проведением новой выработки. Но и при таком решении на участке не менее 10 м от начала обхода (в сторону завала) и его окончания необходимо усилить крепь выработки и пород для обеспечения благоприятных условий работы обходной выработки. После окончания работ по проведению обходной выработки, деформированная часть выработки полностью отделяется от действующей путем устройства бетонных или металлобетонных перемычек, выполняющих также роль усиливающих элементов крепи.

Восстановление выработок должно производиться со строгим учетом нормативных указаний согласно Правилам безопасности, организации труда и накопленному опыту. В последнем мы обладаем многими данными, но не обобщенными, что затрудняет практическое их использование. Изложенное выше характерно для горизонтальных выработок или выработок с углом наклона до 10° . Опыт ремонтных работ в выработках с указанными углами наклона показывает, что в каких-либо дополнительных мероприятиях по усилению крепи или ограничению развития вывалообразования необходимости нет. Однако при наличии воды (особенно начавшей поступать после вывалообразования) и слабых, с большим содержанием глинистых примесей, породах почвы, целесообразно произвести укрепление и пород почвы. Цель этих дополнительных работ — ограничить поступление воды. Необходимость этого обуславливается "набухаемостью" пород, свойством, которое в естественных условиях изучено мало. Имели место случаи неравномерности по величине и направлению этого процесса, что приводило к дополнительным нарушениям уже усиленной крепи и создавало повышенную опасность по ведению восстановительных работ (шахта им. газеты "Социалистический Донбасс", магистральные уклоны гор. 814 м, угол наклона 8°). При больших углах наклона выработок, независимо от горнотехнической характеристики породного массива, обязательно выполнение дополнительных мероприятий, направленных в том числе и на повышение устойчивости боков выработки, высота которых при вывалообразованиях искусственно увеличивается, и почвы с целью предупреждения пучения пород и возможных их смещений.

4.7. Особенности ремонтных работ в наклонных выработках

При угле наклона выработок более 10° крепежные и другие материалы, используемые при ремонтных или восстановительных работах, должны быть закреплены на участках складирования, с целью предупреждения их скатывания или сползания. Наиболее простым является установка барьеров, высотой до 1 м, представленных закрепленными в породах почвы опорных стоек с обшивкой досками толщиной до 50 мм. При углах наклона выработки более 15° опорные стойки могут опираться на усиленные рамы крепи или закрепляться в породах почвы и кровли.

При производстве ремонтных (восстановительных) работ движение вагонеток и других транспортных средств запрещено. При необходимости использования транспортных средств на участках выработок выше ремонтируемого или для уборки породы на участке ремонта они должны быть надежно закреплены. При этом категорически запрещается отсоединение их от каната. Закрепление может производиться упорными стойками или специальными скобами за рельсы. Для защиты работающих от возможного скатывания сверху вагонеток или других предметов обязательное устройство предохранительных полков. При угле наклона выработки до 25° предохранительный полук обычно состоит из опорных стоек, ус-

танавливаемых в распор между почвой и кровлей выработки и накатника, перекрывающего выработку на $2/3$ ее высоты от почвы. При угле наклона выработки 25° и более предохранительный полук должен перекрывать все сечение.

Согласно действующим в настоящее время нормам предохранительный полук для защиты нижерасположенных от ремонтируемого участков выработки должен устанавливаться при углах наклона их 45° и более. Это положение нельзя признать обоснованным, так как уже при наклоне выработок 30° и более скатывание кусков породы, элементов крепи или инструмента может представить опасность. В этой связи, основываясь на опыте ремонта наклонных выработок, рекомендуется при угле наклона 30° и более устанавливать предохранительный полук ниже участка производства ремонтных работ, если выполнение этих работ не связано с повышенной опасностью. В случае невозможности исключить повышенную опасность, предохранительный полук следует установить на участке установки защитного барьера.

Осмотр участков завалов в наклонных выработках показывает, что в этих условиях ширина вывала обычно превышает ширину выработки, т.е. наблюдается интенсивная деформация породного массива, прилегающего к бокам выработки. В этой связи меры по предупреждению развития завалов должны выполняться по периметру выработки, включая (при угле наклона 20° и более) и почву выработки.

Конфигурация завала по длине выработки характеризуется увеличением его высоты в направлении наклона выработки. В этом же направлении увеличивается степень деформирования и боковых породных обнажений. Это положение следует иметь в виду, предусматривая более глубокое укрепление пород или дополнительное усиление крепи в направлении наклона выработки. Как указывалось выше, при угле наклона выработки 20° и более, следует проводить укрепление почвы на участке ремонта и смежных с ним (п. 6.1), независимо от устойчивости пород. Это требование обусловлено повышенной опасностью для сохранения устойчивости породных обнажений, в том числе и вновь образованных любых деформаций этого участка выработки. Особенно опасны деформации пород почвы, как по своей величине и результативности, так и в силу своей неизбежности, при наличии воды и поступлении ее из завала. В этой связи вопрос водоподавления в наклонных выработках при производстве ремонтных работ приобретает первостепенное значение. В наклонных выработках (при угле наклона $20-45^\circ$) протяженность смежных участков, где необходимо усилить крепь или укрепить породный массив, имеет увеличенные размеры по сравнению с горизонтальными выработками. В этой связи прогнозная оценка протяженности этих участков (L_n) должна проводиться по зависимости (4.1) с введением в нее показателя $\cos\beta$ (β — угол наклона выработки):

$$L_n = 1,8n_1 n_2 [S_2 - (1 - 0,01\alpha)S_1] / \cos\beta. \quad (4.10)$$

При угле наклона выработки 45° и более можно пользоваться зависимостью (4.1). В наклонных выработках усиление крепи должно быть направлено и на повышение ее устойчивости, что может быть достигнуто возведением анкерной крепи. Элементы усиления крепи после ремонтно-восстановительных работ извлекать не следует.

4.8. Погашение выработок

В угольной промышленности СССР ежегодно погашается примерно 15 % поддерживаемых выработок. При погашении выработок, поддерживаемыми рамными (арочными) конструкциями крепи и в первую очередь металлическими, целесообразно извлечь крепи для ее повторного использования. Извлекаемые элементы деревянной крепи для использования в качестве несущих элементов вновь устанавливаемых рам не допускаются, возможность повторного использования ограничивается изготовлением из них: затяжек, распорок, клиньев, т.е. вспомогательных элементов крепежной рамы. Извлекаемые деревянные элементы могут также использоваться для изготовления костров, укладываемых в закрепленные пустоты.

Извлечение металлической крепи является обязательным, если это не связано с повышенной опасностью для работающих. Это обусловлено широкой возможностью повторного использования этого крепежного материала для изготовления элементов новой крепи, в том числе и несущих. Стоимость извлечения металлической крепи составляет 25—35 % стоимости новой крепи [7], а затраты на ее восстановление в зависимости от вида и степени деформации — до 25 % стоимости новой крепи. Совершенно очевидна экономическая целесообразность извлечения металлической крепи при погашении горных выработок. Это обусловило достаточно высокую степень извлечения металлической крепи, составляющую по шахтам Минуглепрома СССР 50 %, в том числе 70 % повторно используемой, а на отдельных шахтах соответственно 90 и 70 %. Таким образом, в среднем 35 % металлической крепи, в том числе и после восстановления, находит повторное применение, а на ряде шахт этот показатель достигает 60 % и более.

При погашении выработок обязательно снятие рельсового пути. При этом не только извлекается материал, который может быть повторно использован, но и уменьшаются помехи при проведении работ.

Погашение выработок производится по специальному паспорту, составленному и согласованному в установленном порядке и который предусматривает: средства механизации, организацию работ, вопросы безопасного их ведения, контроль за выполнением работ, необходимые мероприятия по предупреждению обрушений и самопроизвольного погашения выработок. Последнее включает возможное усиление крепи на смежном с погашаемым участке в первую очередь в примыкающих выработках, эксплуатация которых продолжается. Все работы по пога-

шению выработки должны вестись в присутствии лица технического контроля.

Извлечение крепи связано с интенсивным развитием деформаций породного массива, область распространения которых трудно прогнозировать. В этой связи решение вопроса извлечения крепи должно вестись комплексно с учетом возможного состояния смежных выработок, которые продолжают использоваться и должны находиться в эксплуатационном состоянии.

Опыт погашения выработок показывает непосредственную зависимость трудоемкости извлечения крепи, характера деформаций и степени их распространения по длине выработки и в глубь массива от времени выполнения этих работ. Сохранение выработки в течение длительного времени после исключения ее из сети действующих не только ухудшает деформационное состояние породного массива и увеличивает зону распространения повышенных деформаций, но и в ряде случаев исключает возможность извлечения крепи. Поэтому извлечение крепи должно производиться сразу же после исключения данной выработки из сети действующих.

Работы по извлечению крепи целесообразно вести специализированными бригадами, не отвлекая их на другие виды работ.

Извлечение крепи из погашаемых выработок — процесс, характеризующийся повышенной опасностью. В этой связи, независимо от общего решения, перед извлечением крепи должно быть тщательно оценено состояние участка выработки, где намечается извлечение крепи и участка, ему предшествующего. В этом отношении исключительную роль играет паспорт данной выработки и приложения к нему (журналы контроля, паспорта ремонта и т.д.). Извлечение крепи и погашение горных выработок является одной из ответственных и опасных работ, так как сопряжена с возможностью внезапного обрушения пород. Извлечение крепи из наклонных выработок с углом наклона более 30° запрещено, кроме особых случаев, на которые должен быть составлен проект. К этим случаям относится необходимость погашения выработки для предупреждения поступления по ней воды, скапливания газа, утечек воздуха. Основанием для этих работ в отдельных случаях может быть предупреждение передвижения по этим выработкам людей (грубое нарушение требований Правил безопасности) или острая необходимость в крепи.

В наклонных выработках с углом наклона от 15° до 30° извлечение крепи должно производиться только в направлении снизу—вверх при расположении работающих механизмов выше участка извлечения, чтобы исключить скатывание обрушающейся породы в зону работ.

Погашение горных выработок выполняется в соответствии с проектом, который включает характеристику погашаемой выработки, перечень применяемого оборудования, организацию и технологию работ при погашении и мероприятия по технике безопасности.

Горная выработка, подлежащая погашению, обследуется комиссией

в составе: начальника участка, выполняющего эти работы, инженера по креплению, участкового маркшейдера, участкового нормировщика. При ведении работ специализированным ремонтно-восстановительным участком (РВУ) в комиссию должен входить представитель подразделения, в ведении которого находится данная выработка.

Комиссия для составления проекта погашения отмечает тип крепи и рельсов в выработке, наличие магистралей сжатого воздуха, воды и дегазационного стока с указанием диаметра труб, состояние крепи с описанием степени деформации по контуру выработки, наличие опасных зон по выработке (по пикетам) с характеристикой этих зон, а также оформляет акт инвентаризации всех материалов, подлежащих извлечению, разрабатывает мероприятия по предварительной подготовке выработки к погашению, приведению ее в безопасное состояние и сроки погашения.

Перед проведением работ по извлечению крепи и погашению выработок, независимо от их вида и характера, участки выработок, примыкающих к погашаемой или оставляемые в данной выработке для последующего использования, должны быть усилены на протяжении не менее 25 м. Это усиление должно проводиться как за счет возведения дополнительной (усиливающей) крепи, так и за счет укрепления породного массива, вмещающего эти участки выработок на глубину 1,5 м и более. При этом в зависимости от степени деформации массива может быть допущено применение анкерной крепи.

Погашение выработки (извлечение крепи, рельс, труб и других материалов) производится рабочими, прошедшими обучение по программе крепильщиков по погашению выработок, в количестве не менее двух человек. До начала работ необходимо устранить все нарушения техники безопасности. После приведения в безопасное состояние рабочего места, осмотра и приведения в рабочее состояние оборудования и инструмента, бригада приступает к перегонке платформы с лебедкой (передвижке машины МИК-2 м или КИМ) от забоя погашаемой выработки на расстояние не менее 20 м и надежному закреплению ее к рельсовому пути специальными хомутами.

Технология работ по извлечению материалов состоит из следующих последовательно выполняемых операций:

предварительно (за сутки) смазываются машинным маслом все резьбовые соединения для облегчения отвинчивания гаек и снятия хомутов;

после закрепления лебедки закрываются задвижки водяной и воздушной магистралей и демонтируются трубы до места установки лебедки;

демонтируется рельсовый путь, для чего рассоединяют накладку на стыках рельсов путем отвинчивания гаек с путевых болтов (при невозможности отвинчивания последние срубаются зубилом); подвешивается переносной блок за верхняк крепи, усиленный стойкой (или двумя стойками), подбиваемой под верхняк; против стыка рельсов через блок пропускается канат от лебедки, который крепится к рельсу и с помощью

лебедки звено рельс приподнимается на высоту 0,2—0,4 м; затем молотком отбивают по порядку шпалы с одной и с другой стороны звена; далее рельсы подтягиваются к платформе и грузятся на нее (складирование рельсов и труб производится только по одной стороне выработки);

после окончания этих работ приступают к извлечению металлической крепи. В зависимости от величины внедрения ножек крепи в почву и возможности при этом извлечения звеньев крепи без дополнительной деформации применяют два варианта технологии работ по извлечению.

Технология работ по первому варианту (при значительном внедрении стоек крепи в почву и большой деформации звеньев) заключается в следующем. Под верхняк извлекаемой и рядом стоящей арки подбивают стойки (ремонтини); с извлекаемой арки снимают соединительные хомуты и межрамные стяжки. Чтобы освободить стойки крепи от бокового давления, вытягивают затяжки и частично выпускают породу с боков выработки. С помощью лебедки через переносной блок извлекают стойки крепи. Стойки крепи вначале выводят из зацепления с верхняком в местах нахлестки. Блок, укрепляемый на верхняке неразгруженной арки, устанавливают так, чтобы стойки крепи подавались вверх и одновременно извлекались в сторону закрепленной части выработки. Арка, на которой крепят блок, должна быть усилена стойкой (ремонтини), подбиваемой под верхняк. В момент извлечения стойки крепи со стороны завала должен сохраниться верхняк ранее демонтированной арки, поддерживаемый стойкой (ремонтини). После извлечения стоек крепи устанавливается ремонтнина под верхняк следующей арки, и с помощью двух тросов разной длины (но не менее 2 м; один крепят к ремонтине, другой — к верхняку) и лебедки извлекаются ремонтнина и верхняк предыдущей демонтированной арки. Трос; применяемый для извлечения крепи, должен иметь разрывное усилие не менее 70 кН. К концу троса прикрепляют крюк, изготовленный из круглого железа диаметром не менее 20 мм (могут быть использованы элементы сцепок шахтных вагонеток). Извлеченные элементы крепи относятся за лебедку к месту погрузки на платформу. Специальная платформа представляет собой площадку без кузова от применяемых на данной шахте вагонеток. На платформе с двух сторон приварены "стаканы" из отрезков труб диаметром 10—15 см, в которые вертикально устанавливают деревянные стойки (отрезки труб), между которыми укладывают извлеченный материал.

Технология работ по второму варианту (при незначительном внедрении стоек крепи в почву и незначительной деформации звеньев) отличается от технологии работ по первому варианту следующим.

С извлекаемой арки снимают соединительные хомуты только с одной стороны. Стойку крепи выводят ломиком из зацепления с верхняком и с помощью лебедки извлекают. Далее к ремонтине в нижней части ее и к другой стойке крепи крепят тросы разной длины (разность в длине тросов не менее 1 м; при этом трос, укрепляемый за ремонтину, должен быть короче) и оставшиеся два элемента извлекают с помощью лебедки.

После этого отвинчивают соединительные хомуты, и элементы крепи относят к месту погрузки.

Рабочие, занятые на извлечении крепи и погашении выработок, должны строго соблюдать Правила безопасности и паспорт по производству работ при погашении выработок.

В течение рабочего времени звеньевой периодически (не реже 3 раз в смену) производит замер содержания CH_4 , CO_2 и CO в рудничной атмосфере.

Отвинчивание гаек, снятие хомутов и межрамных стяжек выполняет один рабочий, второй находится в закрепленной части выработки и наблюдает за поведением пород и крепи. При угрожаемых признаках рабочие уходят на безопасное расстояние. При отвинчивании гайки рабочий должен находиться сбоку от извлекаемой рамы, так как при внезапном сдвигении пород кровли гайка может сорваться с резьбы.

Одновременно должны извлекаться не более одной рамы металлической крепи. В погашенной части выработки нельзя оставлять неизвлеченные арки под нагрузкой, в завале могут быть оставлены только отдельные элементы крепи, извлечение которых сопряжено с опасностью для рабочих. При извлечении крепи запрещается находиться между забоем и лебедкой. Находиться в этой же зоне можно только при выключенной лебедке. Перед лебедкой со стороны забоя должна быть установлена предохранительная решетка (деревянная или металлическая), ограждающая рабочих на случай обрыва троса. Лебедка должна находиться на расстоянии не менее 8 м от участка погашения. Погашенную выработку необходимо изолировать сплошной перемычкой (с четко обозначенным предупредительным знаком), исключаяющей даже случайное "попадание" в нее рабочих. Все работающие в пределах данного участка, и контролирующий персонал должны знать о наличии погашенных выработок и быть ознакомлены с местом их нахождения. Простое "закрепление" исключаемых из сети действующих выработок, в том числе и выработок, в которых по каким-либо причинам крепь не извлечена, не следует допускать. Все неиспользуемые выработки должны быть перекрыты прочными перемычками.

Изоляция погашенных выработок должна быть закончена не позже, чем через 10 дней после окончания работ по погашению. Для извлечения крепи применяют специальные лебедки, машины (МИК-2м, КИП, МРА-1). Кроме того, используются гидравлические стойки типа ГС со специальными замками, тяговые устройства (таль), различные инструменты и приспособления: костыльная лапка, ломы, накладные гаечные ключи, зубило с ручкой, отбойный молоток с пиками и зубилами (секач), переносный крюк с блоком, слесарные молотки и молот, специальные тросы с устройствами для присоединения к элементам извлекаемой крепи к тросу лебедки, пила, топор, кайло, породная лопата.

Для механизации одной из наиболее трудоемких вспомогательных операций при демонтаже металлокрепи — отвинчивание гаек соединитель-

ных хомутов — предназначен гайковерт с гидропреобразователем, который подсоединяется к панели управления металлическим трубопроводом. Гидропреобразователь предназначен для преобразования постоянного направления движения масла, подводимого к гидродомкрату гайковерта, в переменное с регулируемой частотой. Работы машиной по извлечению арок ведут в следующем порядке:

1. Машина распирается между почвой и кровлей таким образом, чтобы зуб надставки на верхней плите удерживал верхняк со стороны завала.

2. Надевают у почвы на ножки крепи захваты и отрезками цепей подвесные блоки присоединяют к крючкам рычагов извлечения.

3. С помощью гайковертов (или ключей) отвинчивают гайки на соединительных хомутах и снимают планки и хомуты.

4. Гидродомкратом извлекают ножки крепи.

5. Опускают на 200—300 мм верхнюю плиту, на которой завис верхняк крепи, и гидродомкратом машина подтягивается на величину шага крепи для извлечения последующей арки.

6. Снимают с верхней плиты верхняк и машину раскрепляют для повторения очередного цикла.

Машины МИК-2м и КИМ позволяют механизировать процесс извлечения комплектов крепи и срыв рельсовых звеньев на участке погашения, повышают безопасность работ.

Однако следует отметить, что значительный объем работ (более 60 %) по извлечению крепи и погашению выработок выполняют с применением ручного труда в условиях повышенной опасности. Поэтому дальнейшее совершенствование средств механизации по извлечению крепи и погашению выработок является одной из важнейших научных и конструкторских задач в решении проблемы поддержания выработок.

При извлечении крепи не следует допускать зависания пород кровли раскрепленной выработки. При устойчивом состоянии пород необходимо провести принудительное обрушение. При этом следует исключать выполнение работ по принудительному обрушению индивидуальными средствами. Более целесообразно применение взрывных работ (накладными зарядами) с обязательным выводом рабочих из погашаемой выработки. Оставление необрушенными участков раскрепленной выработки может привести к ее самопогашению, распространению этого процесса в направлении производства работ по извлечению крепи на 20—25 м от участка уже раскрепленной выработки.

4.9. Организация работ при ремонте и погашении выработок

Достаточно высокие затраты на поддержание выработок не только показывают ошибочность применяемых в ряде случаев решений, но и характеризуют организацию ремонтных работ. На угольных шахтах единой организационной системы этого вида работ нет. Работы по ремонту выработок осуществляются временно организуемыми бригадами, зачастую

комплектуемую рабочими без соответствующей подготовки и недостаточно квалифицированными. Это, а также отсутствие навыков в данном виде работ приводят к низкому качеству их выполнения. Работы по ремонту выполняют также бригады с постоянным составом ремонтных рабочих, находящихся в ведении соответствующего подразделения. Квалификация и уровень подготовки рабочих этих бригад достаточно высокие. Указанные бригады обычно имеют план ведения ремонтных работ, что в ряде случаев позволяет провести качественную и своевременную подготовку к их выполнению, что улучшает качество выполнения работ и повышает производительность труда на 15 % и более.

Однако и более высокая по уровню организация ремонтных работ бригада имеет недостатки: рабочие зачастую отвлекаются на работы, не связанные с ремонтом выработок; входя в штат подразделения, бригады часто формируются не полностью, а в ряде случаев отсутствуют нужные категории рабочих, и отдельные виды ремонтных работ выполняются неквалифицированно (т.е. наблюдается возврат к первой системе организации). Отвлечение ремонтных рабочих на другие работы нарушает план ведения ремонта и в ряде случаев он выполняется несвоевременно.

Ремонтные работы ведутся и ремонтно-восстановительными участками (РВУ) с численностью рабочих в несколько десятков человек, объединенных в специализированные бригады. Число ремонтных бригад и их численность определяется протяженностью поддерживаемых выработок, их состоянием (геомеханической характеристикой данного района). Опыт работы РВУ ряда шахт, характеризующихся удовлетворительным состоянием выработок, отсутствием нарушений режима работы предприятия из-за неудовлетворительного эксплуатационного состояния выработок, показывает, что наиболее высокие результаты как по производительности, так и по качеству ремонтных работ достигаются при численности бригад (звеньев) более 4–5 рабочих. При выполнении ремонтных работ двумя и даже тремя рабочими в пределах данного пикета, производительность труда обычно на 30–35 % меньше, чем при выполнении этих же работ бригадой численностью 5 рабочих (шахты им. М.И. Калинина ПО "Донецкуголь", им. Батова ПО "Макеевуголь" и др.).

Положительное влияние на качество работ и производительность труда оказывает специализация бригад по основным видам ремонтных работ. Обобщение опыта работ РВУ позволяет рекомендовать следующий качественный и численный состав бригад:

- по ремонту горных выработок (1–2 бригады численностью 8–10 рабочих);

- по подрывке почвы и перестилке рельсового пути (1 бригада – 10–12 рабочих);

- по восстановлению выработок и их погашению (1–2 бригады – 8–10 рабочих). Целесообразность деления этих бригад на независимые по указанным видам работ исключить нельзя, тем более, что объем погашаемых выработок достаточно высокий и наблюдается тенденция к его уве-

личению. Однако решение этого вопроса затрудняется тем, что качественный состав этих бригад требует высшей квалификации рабочих, простот которых нецелесообразны. При погашении выработок объем работ может планироваться, и бригады будут заняты непрерывно. Что касается восстановления выработок, то планирование этих работ невозможно. В силу изложенного, комплексность бригад указанного назначения может быть сохранена;

монтажная, численность которой определяется из расчета 2 рабочих на обслуживание одной из указанных выше бригад. В задачи монтажной бригады входит: подготовка и доставка к месту работ материала, необходимого для ремонта, уборка выработки после завершения работ. В монтажные бригады целесообразно включать слесарей по монтажу, демонтажу и ремонту оборудования, численность которых определяется по действующим нормативам.

Руководство ремонтными работами при организации ремонта по первым двум схемам осуществляется горными мастерами соответствующих подразделений (участков), в ведении которых находятся выработки, они же и принимают выполнение работы.

При выполнении работ бригадами *PBU* руководство работами осуществляется горными мастерами этого участка, а приемка работ проводится совместно с лицом технического надзора участка (подразделения), в ведении которого находится данная выработка.

Действовавшая, а на многих шахтах продолжающая действовать практика закрепления за ремонтными рабочими выработок из расчета 2 км на 1 рабочего (на больших глубинах — 3 км на 2 рабочих) не является обоснованной и целесообразной и может быть сохранена на предприятиях годовой производительностью до 300 тыс. т. На более крупных предприятиях следует создавать *PBU*, численность которых может приниматься из расчета: годовая производительность до 600 тыс. т — 1 участок; 600 — 1000 тыс. т — 2 участка; более 1000 тыс. т в условиях пологого и наклонного падения — 2 участка; в условиях крутонаклонного и крутого падения — 3 участка. Иногда число *PBU* определяется числом действующих горизонтов.

Проведение работ по ремонту рамных и монолитных крепей, широко применяемых в горных выработках, достаточно полно и неоднократно описано в отечественной горнотехнической литературе, в том числе и в работах [7, 14, 17]. Поэтому рассмотрим только те виды работ (конструкции крепи), которые не нашли достаточно полного отражения в публикациях. В первую очередь это касается нетрадиционных видов крепи — анкерной и набрызгбетонной.

При текущем и среднем ремонтах выработок, поддерживаемых анкерной (комбинированной) крепью, извлекать анкеры нереально. Эти работы повышенной опасности даже при выполнении их под защитой усиливающей крепи обычно вызывают дополнительные нарушения массива,

в том числе и дополнительный выпуск породы. Поэтому оценочный критерий отдельных видов анкерной крепи (возможность извлечения с целью повторного использования анкеров или их отдельных элементов, в первую очередь — элементов контурного замка) не является обоснованным и во внимание приниматься не должен, в том числе и при погашении выработок. При наличии анкерной крепи следует предусматривать оставление ее на месте и использовать как усиливающий элемент постоянной крепи. При этом анкерная крепь должна переводиться в связную конструкцию. При капитальном ремонте и восстановлении выработок новое возведение анкерной крепи не следует рекомендовать, так как закрепление анкеров при этом будет производиться в весьма деформированном массиве. Это не обеспечит необходимую работоспособность анкерной крепи, фактическая несущая способность анкера при этом составляет 15–20 % возможной, а работы по установке анкера чрезвычайно опасны. Она может быть использована для укрепления массива, вмещающего смежные с ремонтируемым участком крепи. Но при этом следует тщательно изучить состояние массива пород.

Ремонт набрызгбетонной крепи должен предусматривать только усиление применением нового набрызгбетона. Любые другие виды ремонта набрызгбетонной крепи (возведение рамных конструкций крепи, установка анкеров, укладка опалубочного бетона) менее эффективны, так как затраты средств и труда на ремонт увеличиваются на 50–250% и, в отдельных случаях, ухудшается характеристика выработки, в том числе и ее вентиляционный режим.

Набрызгбетон обладает проникающей способностью до 20 см, поэтому происходит полное восстановление монолитности крепи, что способствует восстановлению равномерности ее работы по периметру. При проведении ремонтных работ (нанесение нового набрызга) деформированный участок должен быть обязательно промыт водой или продут сжатым воздухом с использованием набрызгбетонной машины. При нанесении набрызгбетона работы следует начинать с центра сводчатой части и вести к бокам выработки по спирали. При двухслойном (толщина слоя 2–3 см) нанесении набрызга спирали должны перекрещиваться. Такое направление нанесения набрызга улучшает проникающую способность крепежного материала и повышает несущую способность (по данным лабораторных и шахтных исследований на 10–12%) отремонтированной крепи. При ремонте набрызгбетонной крепи и наличии на деформированном участке притока воды тампонажные работы могут не вестись, так как набрызгбетон выполняет и эти функции.

Использование при ремонте набрызгбетона на шахте им. 60-летия СССР (гор. 986 м) снизило стоимость работ, отнесенных к 1 м² площади поперечного сечения выработок, на 61 %, трудоемкость — на 45 %. Остаточные притоки воды (после проведения ремонтных работ) составили: в верхней приемной камере — 0,5 м³/ч, в нижней — 0,6 м³/ч, при одинаковых начальных притоках, отмеченных до проведения ремонтных работ

4,6 — 4,8 м³/ч. В последующие три года эксплуатации выработок приток в первом случае увеличился до 1,1 м³/ч, во втором не превышал 0,8 м³/ч. Таким образом, набрызгбетон эффективен и при длительной защите выработки от поступления воды. Повторный ремонт на участке возведения набрызгбетона не проводили (наблюдения велись в течение трех лет). На первом участке провели повторный тампонаж на глубину 1,2 м (так как наблюдалось "вымывание" бетона), что увеличило конечную стоимость ремонта на 12 % (оценка трудоемкости не проводилась). При соотношении объема ремонтных работ в первом и втором случаях 1:5 продолжительность их проведения была одинакова.

Снижение затрат средств и труда при проведении ремонтных работ с использованием набрызгбетона было достигнуто на шахте "Ворошиловградская" № 1 ПО "Ворошиловградуголь" при ремонте полевого штрека Машинского блока, поддерживаемого податливой крепью из СВП-27, на 30 и 27 % соответственно; на шахте "Комсомольская" ПО "Антрацит" при ремонте крепи квершлага (гор. 985 м) из СВП-33 — на 35 и 26 %. При этом продолжительность ремонта была снижена в 2 раза по сравнению с ремонтом, проводимым с применением арочной крепи. Аналогичные примеры можно привести и по другим шахтам, в том числе и по эффективному использованию набрызгбетона при ремонте крепи вертикальных выработок (шахты: им. Калинина ПО "Донецкуголь", № 19/20 ПО "Гуковуголь", им. Поченкова ПО "Макеевуголь" и др.). Во всех случаях использования набрызгбетона затраты средств и труда на ремонт были снижены на 15—20 % и более. Таким образом, использование набрызгбетона при проведении ремонтных работ выработок, поддерживаемых как монолитными, так и рамными (арочными) крепями, существенно снижает затраты средств и труда, упрощает организацию этих работ и сокращает время их проведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щадов М.И.* Основные направления развития угольной промышленности в двенадцатой пятилетке. — "Уголь", № 3, 1986, с. 3—8.
2. *Быков А.В.* Ускорить внедрение крепей регулируемого сопротивления на шахтах Донбасса. — "Шахтное строительство", № 3, 1986, с. 3—6.
3. *Строительные нормы и правила. Ч. II* — нормы проектирования, глава 94 — подземные горные выработки (СНиП II — 94—80), М., Стройиздат, 1982.
4. *Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчеты крепи.* М., Стройиздат, 1983.
5. *Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР, Л., ВНИМИ, 1985.*
6. *Кошелев К.В., Томасов А.Г.* Поддержание, ремонт и восстановление горных выработок. М., Недра, 1985.
7. *Гелескул М.Н., Каретников В.Н.* Справочник по креплению капитальных и подготовительных выработок. М., Недра, 1982.
8. *Горное дело.* Терминологический словарь. М., Недра, 1981.
9. *Зборщик М.П.* Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве. Киев, Техника, 1978.
10. *Кошелев К.В., Черняев В.И.* Влияние фактора времени на величину смещения пород в горных выработках. — "Шахтное строительство", № 1, 1985, с. 13—14.
11. *Крепление и охрана выработок в сложных горно-геологических условиях/ Кошелев К.В., Томасов А.Г., Самойлов В.Л., Бурма И.И.* Киев. Техника, 1986.
12. *Баклашов И.В., Картозия Б.А.* Механика подземных сооружений и конструкции крепей. М., Недра, 1984.
13. *Заславский Ю.З., Мостков В.М.* Крепление подземных сооружений. М., Недра 1979.
14. *Охрана подрабатываемых подготовительных выработок /Бажин Н.П., Мельников О.И., Пиховкин В.С., Райский В.В.* М., Недра, 1978.
15. *Кошелев К.В., Ланда А.И., Лазченко К.Н.* Оценка зон влияния геологических нарушений. — "Уголь", № 4, 1982, с. 49—51.
16. *Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах.* М., Недра, 1986.
17. *Черняк И.Л., Бурчаков Ю.И.* Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт. М., Недра, 1984.
18. *Технологические схемы снижения напряжений состояния породного массива вокруг капитальных горных выработок (взрывоцелевая разгрузка) /Кошелев К.В., Стрельцов Е.В., Косков И.Г. и др./Харьков, ВНИИОМШС, 1979.*
19. *Ильющенко В.Г., Чупика А.Н.* Пути повышения состояния выработок на шахтах объединения "Донецкуголь". — "Уголь Украины", № 1, 1978, с. 5—8.
20. *Глушко В.Т., Виноградов В.В.* Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. М., Недра, 1982.
21. *Борзых А.Ф., Худяков А.Н., Онищенко С.И.* Основы геомеханики погашения подготовительных выработок. — "Уголь Украины", № 5, 1983, с. 19—20.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Основы геомеханического состояния породного массива и его влияние на устойчивость горных выработок	6
1.1. Технологические положения.	6
1.2. Рекомендации по учету физико-механических свойств породного массива и характеристики крепи.	10
1.3. Состояние горных выработок и вмещающего массива на различных этапах эксплуатации	17
1.4. Характеристика деформаций выработок и массива горных пород	30
1.5. Факторы, влияющие на состояние породного массива и выработки.	46
1.6. Особенности геомеханических процессов в условиях геологических нарушений	50
1.7. Оценка устойчивости породных обнажений и возможных нагрузок на крепь.	60
Глава 2. Опыт крепления горных выработок	71
2.1. Основные виды крепи, объем их применения и состояние	71
2.2. Критерии оценки конструкций крепи	92
2.3. Направления дальнейшего совершенствования крепи	97
2.4. Методические положения оценки затрат на крепление выработок с учетом срока их эксплуатации	100
2.5. Методические положения расчета параметров крепи	102
Глава 3. Способы охраны горных выработок	105
3.1. Группирование и общая характеристика способов охраны	105
3.2. Методические положения выбора способа охраны	106
3.3. Использование благоприятных горно-геологических и технических условий.	110
3.4. Укрепление пород	125
3.5. Разгрузка породного массива	133
3.6. Комбинированные способы охраны	156
3.7. Условия применения способов охраны	167
Глава 4. Ремонт горных выработок	169
4.1. Общие положения	169
4.2. Пикетирование выработок и контроль за их состоянием	173
4.3. Виды ремонта, паспорт ремонта.	177
4.4. Влияние ремонта на устойчивость выработок	181

4.5. Параметры ремонта выработок	189
4.6. Восстановление выработок	198
4.7. Особенности ремонтных работ в наклонных выработках	204
4.8. Погашение выработок	206
4.9. Организация работ при ремонте и погашении выработок	211
Список литературы	216

К 76

Кошелев К.В., Петренко Ю.А., Новиков А.О.

Охрана и ремонт горных выработок./Под ред. К.В. Кошелева — М.: Недра, 1990. — 218 с.: ил.

ISBN 5-247-00659-3

Рассмотрены физико-механические свойства пород, определяющие состояние массива, методики прогнозной оценки устойчивости породных обнажений в выработке. Дан анализ расчетных методов определения нагрузок на крепь. Описаны основные виды крепи, применяемые в выработках различного назначения, методика оценки затрат на крепление с учетом последующего поддержания. Приведены способы охраны горных выработок и их основные технико-экономические показатели. Изложены организация и содержание ремонтных и восстановительных работ.

Для инженерно-технических работников горных предприятий и шахтостроительных организаций.

2502010400 — 033

245—90

ББК 33.141

043 (01) — 90

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ (ПРАКТИЧЕСКОЕ) ИЗДАНИЕ

Кошелев Константин Васильевич
Петренко Юрий Анатольевич
Новиков Александр Олегович

ОХРАНА И РЕМОНТ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Заведующий редакцией *О.И. Паркани*
Редактор издательства *Э.Н. Чернегова*
Обложка художника *А.А. Смирнова*
Технические редакторы *Л.А. Миронова, Н.С. Анашкина*
Корректор *И.П. Розанова*
Оператор *Н.В. Штанько*
ИБ № 7273

Подписано в печать с репродуцируемого оригинал-макета 27.12.89. Т — 20 115.
Формат 60x88^{1/16}. Бум. офсетная № 2. Гарнитура Пресс-роман. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 13,72. Усл. кр.бл. 13,96. Уч.-изд. л. 15,15. Тираж 3670 экз.
Зак. № 704 /1435-9. Цена 75 коп.

Набор выполнен на наборно-пишущей машине

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра".
125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 9 НПО "Всесоюзная книжная палата" Госкомитета СССР
по печати.

109033, Москва, Волочаевская ул., 40

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧНЫЕ СПОСОБЫ
ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

В Донецком политехническом институте (кафедра горной геомеханики) разработаны способы повышения устойчивости горных выработок, основанные на активном управлении состоянием вмещающего массива горных пород. Их использование уменьшает смещения контура выработки, предупреждает пучение почвы, снижает материало- и трудоемкость крепления, повышает безопасность работ.

Экономический эффект внедрения способов на шахтах Донбасса составляет от 20 до 100 руб. на 1 м выработки.

1. Способ взрывощелевой разгрузки (рис. 1) предназначен для предупреждения пучения пород почвы в горизонтальных и наклонных

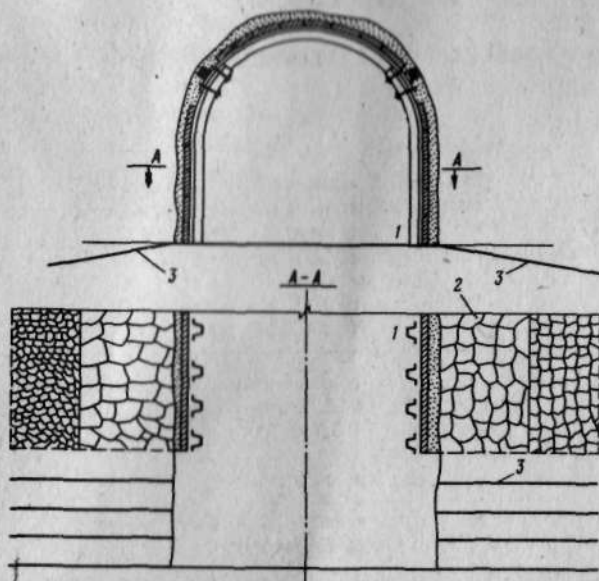


Рис. 1. Способ взрывощелевой разгрузки:

1 — горная выработка; 2 — зона разгруженных от повышенных напряжений пород; 3 — разгрузочные шпury.

горных выработках, сооружаемых в породах с прочностью не менее 40 МПа ($f \geq 4$). Он реализуется при буровзрывном и комбайновом проведении выработок путем взрывания зарядов ВВ в шпурах глубиной до 2,5 м, пробуренных в боках выработки. Способ легко вписывается в технологический цикл и не снижает темпы проведения выработок. Для его реализации не требуется специального оборудования. Дополнительные затраты при этом не превышают 7 руб., а эффект от внедрения за счет устранения затрат на подрывку пород почвы — не менее 20 руб. на 1 м выработки.

2. Сущность комбинированного способа охраны горных выработок (рис. 2) заключается в проведении передовой выработки с разгрузкой массива от повышенных напряжений и образованием вокруг нее зоны неупругих деформаций необходимых размеров. В дальнейшем ее расширяют до проектных размеров и возводят облегченную крепь. К основным параметрам способа относят: площадь поперечного сечения передовой выработки, выбираемую в зависимости от проектного

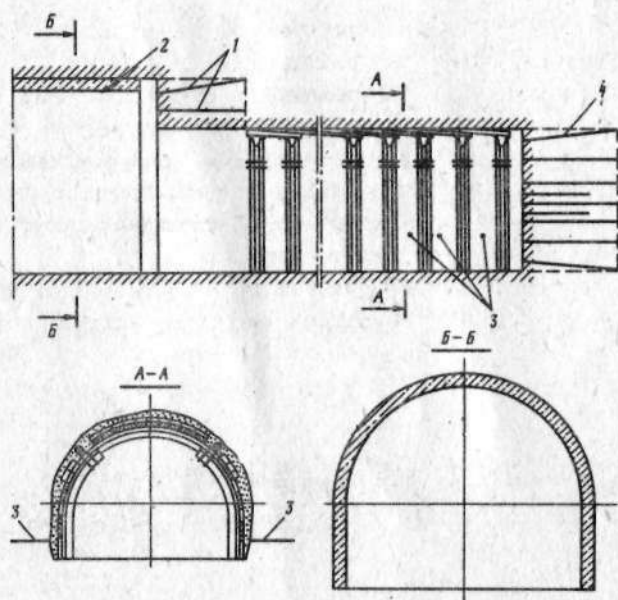


Рис. 2. Комбинированный способ охраны капитальных выработок:

1 — шпуры для расширения передовой выработки до проектных размеров; 2 — выработка проектного сечения; 3 — разгрузочные шпуры; 4 — шпуры для проведения передовой выработки

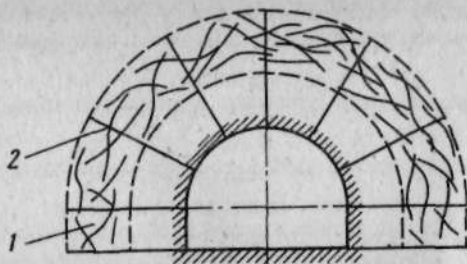


Рис. 3. Способ поддержания выработок "крепь—охрана"

1 — зона активной разгрузки; 2 — трубчатые анкеры

сечения; величину отставания забоя выработки проектного сечения от забоя передовой выработки (продолжительность расширения); параметры взрывной разгрузки в передовой выработке. Применение способа позволяет снизить материалоемкость и трудоемкость поддержания выработки на 30–40 %.

3. Способ поддержания выработок "крепь—охрана" (рис. 3) позволяет осуществлять разгрузку вмещающего выработку массива от повышенных напряжений одновременно с креплением выработки. Для реализации способа по контуру выработки бурят шпур, устанавливают трубчатые анкеры, в которых взрывают камуфлетные заряды ВВ (рис. 4). При этом часть энергии взрыва расходуется на раскрепление анкера в шпуре, а другая часть — на образование вокруг выработки зоны разгруженных от напряжений пород.

Применение способа позволяет снизить трудоемкость поддержания выработок на 20–30 %, уменьшить смещения контура выработки в 1,5–2 раза.

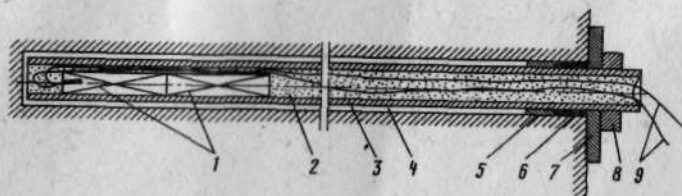


Рис. 4. Конструкция заряда ВВ в трубчатом анкере:

1 — патроны ВВ; 2 — песчано-глинистая забойка; 3 — трубчатый анкер; 4 — шпур; 5 — гайка; 6 — пакер; 7 — опорная плита; 8 — гайка; 9 — провода электродетонаторов

По предлагаемым способам охраны горных выработок Донецкий политехнический институт может обеспечить выполнение следующих видов работ:

обоснование параметров способов охраны для конкретных горно-геологических условий;

разработку технологии и выбор средств механизации для реализации способов;

проведение опытной эксплуатации с обучением рабочих и инженерно-технических работников технологии реализации способов;

осуществление авторного надзора при внедрении результатов работы;

оценку технико-экономических показателей результатов внедрения способов.

Авторы разработок: К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, Н.В. Игнатович, В.И. Каменец.

С предложениями обращаться по адресу:
340000, г. Донецк, улица Артема, 58
Донецкий политехнический институт,
кафедра горной геомеханики,
тел. 99-99-42, 99-99-41.