

УДК 622.834:622.268

О МЕХАНИЗМЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ВМЕЩАЮЩЕГО ИХ МАССИВА

Дрибан В. А.

(УкрНИИМИ НАНУ г. Донецк, Украина)

Новиков А. О.

(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина)

На основі теоретичних та експериментальних досліджень, що стосуються стійкості пружно-пластичних систем, розроблена ціла низка способів локальної охорони та підтримання гірничих виробок. Ці способи базуються на ідеях розвантаження гірських порід від підвищених напружень та їх укріплення і дозволяють максимальною мірою використати несучу здатність масиву.

Based on fundamental and experimental research related to the stability of elastic-plastic systems, a number of techniques has been developed for local protection and maintenance of mine workings. These techniques are based on the ideas to relief increased pressures in rocks and allow employing maximally a load-carrying capability of rocks.

Одной из важнейших задач горной геомеханики является обеспечение устойчивости выработок. В условиях глубоких шахт изменяется динамика и характер геомеханических процессов, происходящих в породном массиве, вмещающем выработку.

Анализ существующих представлений о механизме проявления горного давления в окрестности поддерживаемых выработок показал, что образование и развитие зон не обратимых деформаций (ЗНД) во многом определяет их состояние. В тоже

время закономерности процессов, происходящих внутри ЗНД, пока изучены недостаточно.

Существующие на данный момент методы оценки устойчивости выработок и параметров ожидаемого напряженно-деформируемого состояния (НДС) вмещающего массива позволяют рассчитать, как правило, лишь отдельные виды деформаций породных обнажений и применимы в узком диапазоне условий конкретных регионов, в большинстве случаев носят эмпирический характер.

Результаты известных аналитических расчетов имеют значительные расхождения с данными шахтных наблюдений. Одними из главных причин такого противоречия являются механистический перенос основных подходов и соотношений теории сплошных сред на поведение такой сложной среды, как горный массив, а также классических представлений о потере устойчивости упругих систем на упругопластические. Из-за сложностей математического характера в известных решениях, как правило, рассматривается задача о распределении НДС вокруг круглой выработки, внутри которой установлена крепь с равномерным отпором. При выполнении расчетов с реальными значениями параметров, характеризующими физико-механические свойства горных пород, эти решения прогнозируют смещения контура выработок в несколько десятков миллиметров, в то время как, фактически установленные смещения для таких условий на один - два порядка выше. Смещения контура выработок являются следствием весьма сложных геомеханических процессов, происходящих в окружающем породном массиве. Именно это обстоятельство практически вынудило исследователей выстраивать многочисленные деформационные модели (зачастую весьма сложные и тонкие) с введением, вообще говоря, не оправданных допущений [1-3], что привело исключительно к идеализации механизма проявления горного давления, в котором не отражается физическая сущность происходящих геомеханических процессов.

В силу указанных обстоятельств исследования посвященные изучению механизма формирования НДС вмещающего выработки массива, нагрузок на крепи, разработке методов оценки устойчивости и обеспечения длительного эксплуатационного состоя-

ния всего комплекса горных выработок на протяжении последних 30-40 лет являются предметом многочисленных дискуссий.

В ряде работ [4-8] предложен новый подход к оценке устойчивости выработок. В них критерий устойчивого и не устойчивого состояния упругой системы Эйлера перенесен в упруго-пластическую область деформирования и сформулирован в бифуркационной форме. Для случая, когда возможен равновесный переход системы из исходного состояния в некоторое другое (бифуркация равновесия) при неизменных внешних силах – ее состояние неустойчиво. Идея такого подхода заключается в том, что если при решении задачи о бифуркации состояния системы выделяются значения внешних параметров, при которых становятся возможными разные, но бесконечно близкие значения внутренних параметров, то в условиях пластичности появляется другая дополнительная возможность определения характерных значений внешних параметров. А именно, при рассмотрении упругопластической задачи в приращениях можно выделить такие значения, которые отвечают неединственности решения системы уравнений для приращений. В противоположность классическим задачам устойчивости движения, характерным для теоретической механики, на первый план выступают не свойства инерционности, а природа связей, в качестве которых выступают определяющие соотношения пластичности, эквивалентные в какой-то мере меняющимся связям с сухим трением. Именно это обстоятельство позволяет отказаться от постулата о непрерывной зависимости параметров, определяющих движение системы в данный момент, от таковых в любой предыдущий конечно удаленный момент. В соответствии с этим появилась возможность определить понятие неустойчивости движения даже более эффективным, чем по Ляпунову способом. Невозмущенное движение, начиная с данного момента, является неустойчивым, если исчезающее малое изменение параметров движения в данный момент времени приводит к конечному их изменению в любом последующем конечном временном интервале.

На основе новых подходов и решений задачи об устойчивости массива горных пород вокруг протяженной одиночной выработки [6-8] было установлено, что по мере развития деформаци-

онных процессов в зависимости от величины горного давления и физико-механических свойств пород, вмещающий массив последовательно проходит дискретный полубесконечный ряд равновесных состояний. При этом, можно выделить такие значения деформаций контура выработки, которые отвечают не единственности решения системы уравнений пластичности, т.е. достигается такое возмущение контура выработки, при котором при неизменных внешних параметрах нагружения происходит переход из сложившегося напряженного состояния массива в некоторое другое, то есть появляется точка бифуркации. Проведенные для различных геомеханических условий расчеты показали, что относительные возмущения контура выработки, при которых наступает потеря устойчивости, составляют 12-18 %, что хорошо коррелирует с данными инструментальных наблюдений за смещениями пород в выработках [9].

В отличие от устоявшихся представлений о процессах формирования и эволюции в процессе своего развития НДС вмещающего выработку массива установлено, что они происходят скачкообразно, последовательно проходя дискретный ряд равновесных состояний, отвечающих определенному соотношению физико-механических свойств вмещающих пород и уровню горного давления.

Установлено, что процесс потери устойчивости выработки инициируется формированием и попеременным вдавливанием двух клиновидных областей вмещающего массива. Визуально этот процесс выглядит, как образование складок.

В зависимости от тяжести горно-геологических и геомеханических условий поддержания выработки деформирование вмещающего массива при потере устойчивости может проходить по двум внешне близким схемам, требующим, различных инженерных решений. Первая (мягкая) (рис. 1) потеря устойчивости сопровождается формированием «клина вдавливания» с углом раскрытия 140-150°, внутри которого происходят расслоения пород по нормали к напластованию с сохранением их структуры. В этом случае для сохранения устойчивости выработки необходимо выполнить предварительное укрепление массива, например, пу-

тем направленного нагнетания вяжущих или установки анкеров в точно выбранном направлении.

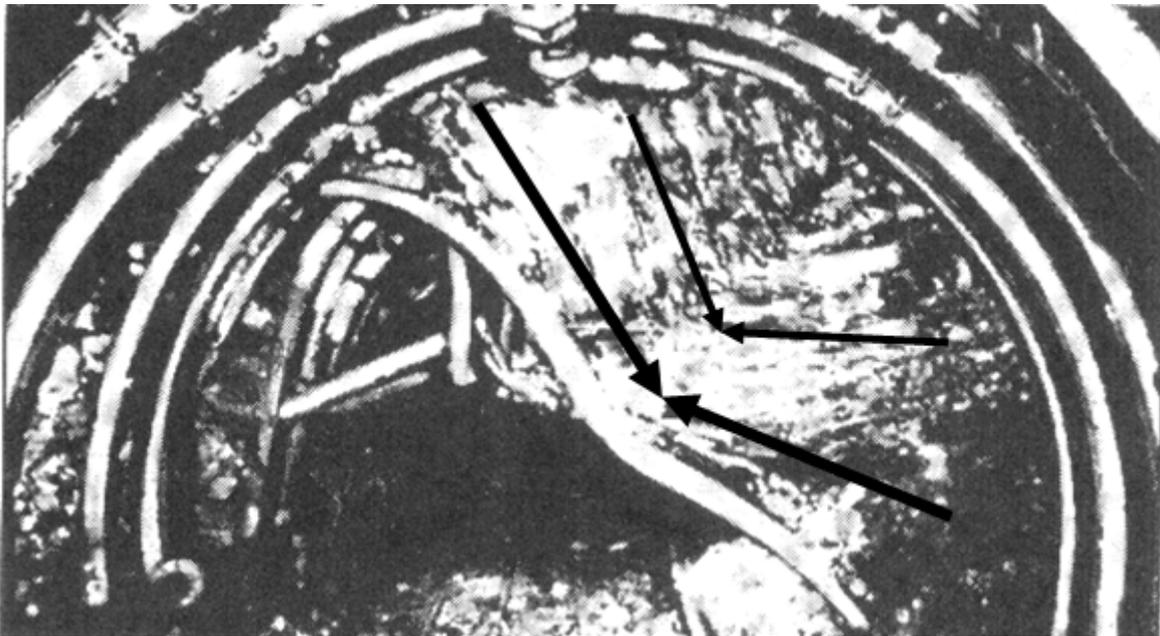


Рис. 1. Потеря выработкой устойчивости по первой схеме

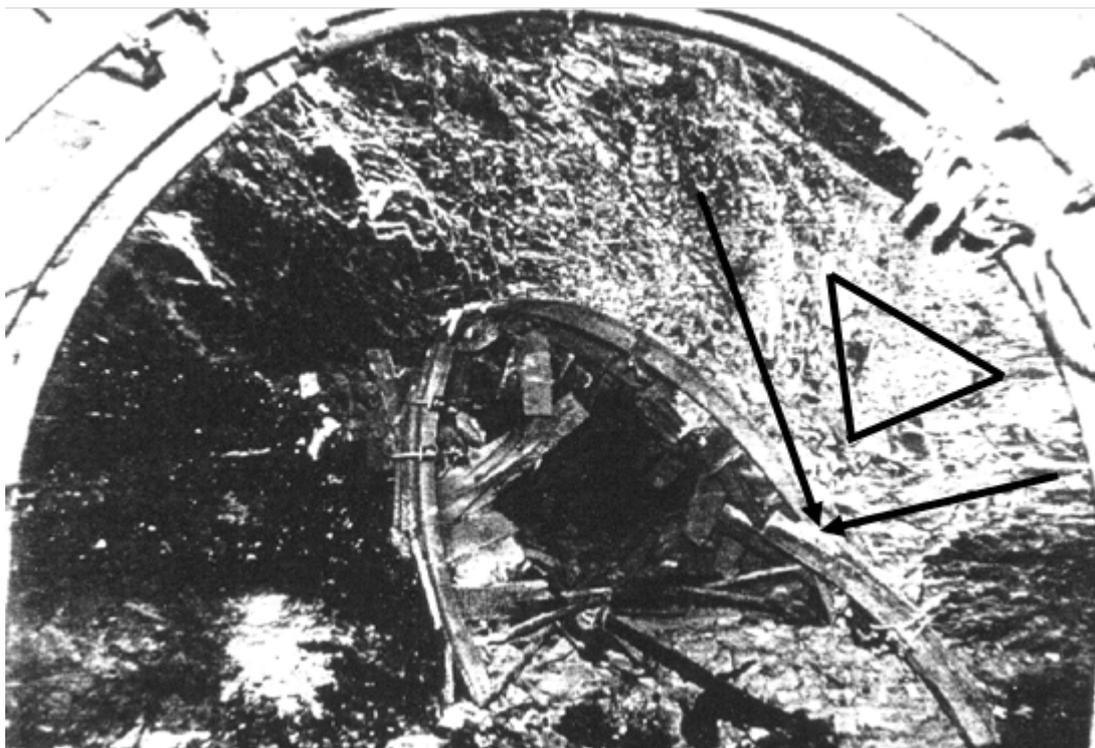


Рис. 2. Потеря выработкой устойчивости по второй схеме

При потере устойчивости по второй схеме (жесткая) (рис. 2) происходит формирование «клина вдавливания» с углом раскрытия близким к прямому, при этом, внутри клина образуется ядро перемятых уплотненных пород с полной потерей структуры, а со стороны противоположной основному направлению деформирования, появляется дополнительное вдавливание, соответствующее предыдущей стадии деформирования. В этом случае для сохранения устойчивости выработки, простого механического воздействия недостаточно. Требуются мероприятия по управлению напряженно-деформированным состоянием массива, например, локальная разгрузка либо изменение его физико-механических свойств.

В ДонНТУ за последние 30 лет был разработан и апробирован целый ряд локальных способов охраны выработок. Указанные способы базируются на идеях разгрузки пород от повышенных напряжений и их укрепления и позволяют в максимальной степени использовать несущую способность массива. Так, для направленного, локального повышения прочности пород разработаны и запатентованы способы укрепления с использованием эффекта вакуумирования (рис. 3).

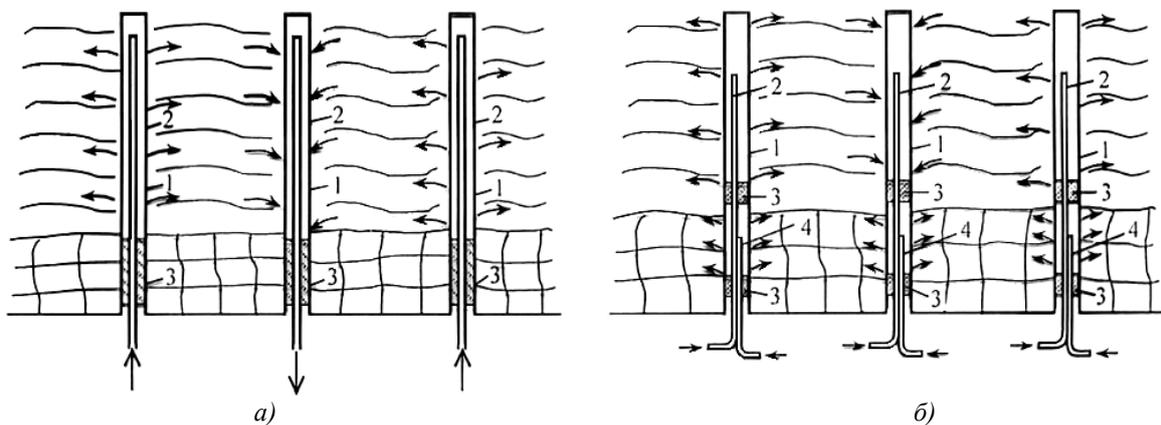


Рис. 3. Способы направленного укрепления пород с использованием эффекта вакуумирования (А.С. СССР № 973852) (а) и воздушной «опалубки» (А.С. СССР № 1747708) (б): 1 – скважина; 2 – иньектор; 3 – распорно-изолирующее устройство; 4 – трубка подачи сжатого воздуха

Сущность предлагаемых способов заключается в следующем. В кровлю или бока выработки, в пределах участка породного обнажения на котором по расчетам необходимо повысить прочность пород бурят скважины. После этого в них устанавливают герметизирующие устройства. Затем, одновременно с нагнетанием укрепляющих растворов в одни скважины производят отсос воздуха из других скважин (рис. 3а). Этим обеспечивается направленное движение укрепляющих растворов в заданных областях. С целью предупреждения протекания нагнетаемого укрепляющего раствора через наиболее нарушенный слой приконтурных пород в полость выработки, в усовершенствованном способе (рис. 3б), в скважины для укрепления подают на участке нарушенных пород между герметизирующими устройствами (за пределами укрепляемого участка) сжатый воздух.

Для повышения устойчивости приконтурных пород (в том числе и локального) разработаны и запатентованы следующие способы повышения устойчивости на основе применения анкерного крепления.

Усовершенствованный способ опорно-анкерного крепления [10] позволяет обеспечить устойчивость пород на контуре выработки при величине коэффициента бокового распора (λ) меньше единицы. Суть способа состоит в создании начального натяжения в анкерах (P_n), устанавливаемых в боках выработки в 2-6 раз выше (в зависимости от величины коэффициента бокового распора), чем в анкерах, устанавливаемых в кровлю (рис. 4). При этом снижаются напряжения, действующие в кровле выработки, предупреждается образование зон разрушения пород на ее контуре.

С целью предупреждения развития разрушений в массиве (на отдельных его участках) предложен способ установки анкера [11]. Для этого анкерная штанга в импульсном режиме впрессовывается в заранее пробуренный шпур с меньшим, чем у нее диаметром. При вдавливании анкера происходит упруго-вязкое деформирование пород по его контакту со стенками шпура, при этом, создаваемое давление на торец анкера (до 200 МПа) передается на прилегающий массив, как в продольном, так и в поперечном направлении. Способ позволяет повысить устойчивость поддерживаемой выработки путем изменения вида и параметров

напряженного состояния укрепляемых пород, так как в результате увеличения коэффициента бокового распора у них возрастет предел прочности и угол внутреннего трения.

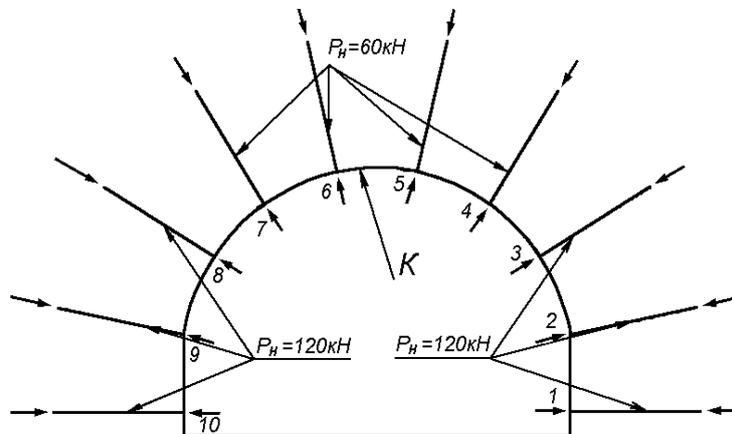


Рис. 4. Усовершенствованный способ опорно-анкерного крепления

Для устранения концентраций напряжений вокруг мест установки анкерных штанг, с целью расширения области использования анкерного крепления, локального повышения устойчивости горной выработки, проводимой в породах любой категории устойчивости, запатентован способ крепления горной выработки анкерной крепью [12]. Сущность способа заключается в выборе такого материала анкерной штанги и ее диаметра, расстояния между соседними анкерными штангами, угла наклона анкерных штанг к поверхности породного обнажения, чтобы отношение приведенного модуля упругости создаваемой породно-анкерной конструкции $E_{пр}$ к модулю упругости анкеруемой породы E_n , находилось в пределах от 1 до 1,25, при этом приведенный модуль упругости породно-анкерной конструкции $E_{пр}$ рассчитывают по формуле:

$$E_{пр} = \frac{2 \cdot E_a \cdot d_a \cdot \sin \alpha + (t - d_a) \cdot E_n}{t},$$

где E_a – модуль упругости материала, из которого изготовлена анкерная штанга, МПа; d_a – диаметр анкерной штанги, м; α – угол наклона анкерной штанги к поверхности породного обнаже-

ния, град; t – расстояние между соседними анкерными штангами, м; E_n – модуль упругости скрепляемых анкерами пород, МПа.

Способ пространственного анкерования [14] позволяет создать вокруг выработки (отдельного участка ее контура) породно-анкерную оболочку (конструкцию) с высокой остаточной несущей способностью, которая дает возможность породам на контуре деформироваться в значительных пределах (рис. 5). Сущность способа заключается в том, что закрепляемая поверхность породного обнажения по длине выработки или ее участка условно разбивается на четные и нечетные полосы. В пределах каждой полосы размечаются квадраты. Квадраты в четных полосах смещены вдоль оси выработки относительно квадратов нечетных полос на половину стороны своего основания. Анкеры устанавливают в вершинах квадратов, при этом направление установки анкеров совпадает с большими диагоналями кубов, боковыми гранями которых являются указанные квадраты.

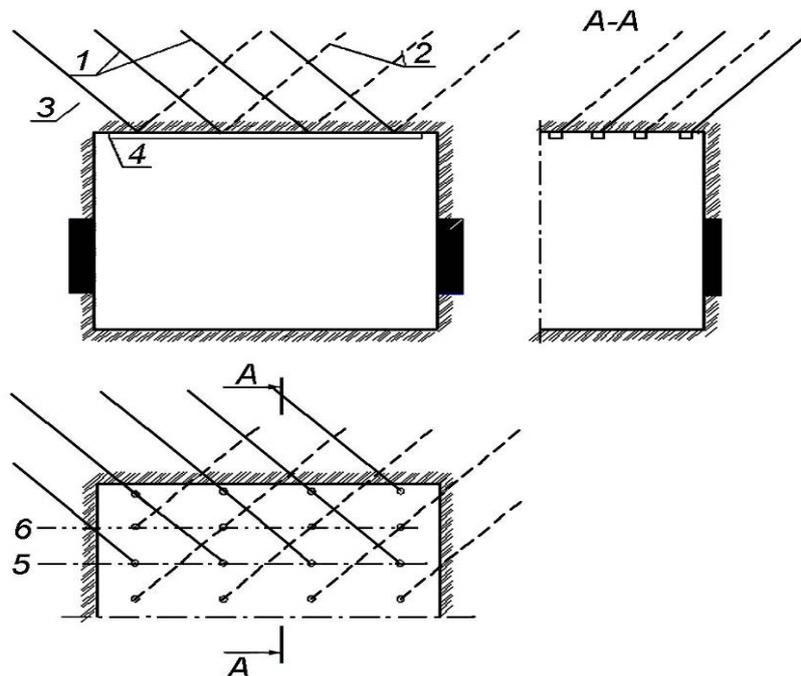


Рис. 5. Пространственная схема расположения анкеров с их ориентацией по смещенным диагоналям куба: 1 – анкеры четного ряда; 2 – анкеры нечетного ряда; 3 – кровля выработки; 4 – анкерный подхват, 5 – четные полосы; 6 – нечетные полосы

Анкеры устанавливают с наклоном к забою выработки. В четных и нечетных рядах анкеры направлены в противоположные стороны относительно продольной оси выработки.

Для выработок, поддерживаемых в сложных горно-геологических условиях, разработан способ комбинированного крепления выработки анкерной крепью [15].

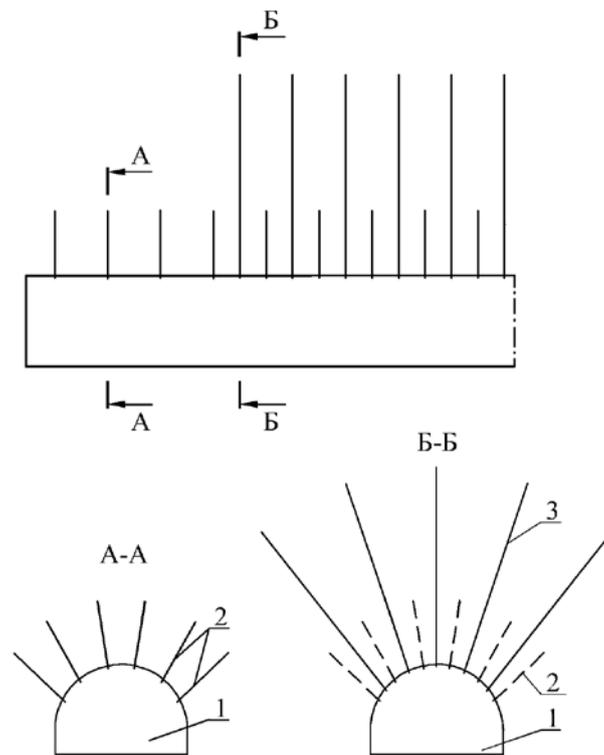


Рис. 6. Схема комбинированного способа крепления выработки анкерной крепью: 1 – забой выработки; 2 – жесткая анкерная крепь; 3 – податливая анкерная крепь

Он позволяет создавать вокруг выработок породно-анкерные конструкции с высокой несущей способностью, работающие в ограниченно-податливом режиме и допускающие их деформирование до максимальных значений остаточных деформаций. Для этого (рис. 6) в забое выработки 1 возводят в кровлю и бока жесткую анкерную крепь 2, при этом вокруг выработки образуется породно-анкерная оболочка с высокой несущей способностью, выполняющая роль крепи. С отставанием от забоя возводят податливую анкерную крепь 3 на глубину, больше рас-

четного размера формирующейся вокруг выработки зоны разрушенных пород. При удалении забоя, разрушение пород в пределах породно-анкерной оболочки не происходит. Процессы деформирования и разрушения начинаются в глубине массива за ее пределами. Возводимая с отставанием от забоя податливая анкерная крепь позволяет перемещаться жесткой породно-анкерной оболочке в полость выработки, не разрушаясь, при этом, максимально используется ее несущая способность, что способствует скорейшему установлению в массиве равновесного состояния и стабилизации смещений пород. Многократно увеличивается работоспособность крепи, повышается устойчивость выработки, снижаются материальные и трудовые затрат на поддержание.

С целью обеспечения длительной устойчивости выработок, снижения затрат на их поддержание и упрощения технологии крепления была разработана рамно-анкерная крепь [16], общий вид которой показан на рисунке 7.

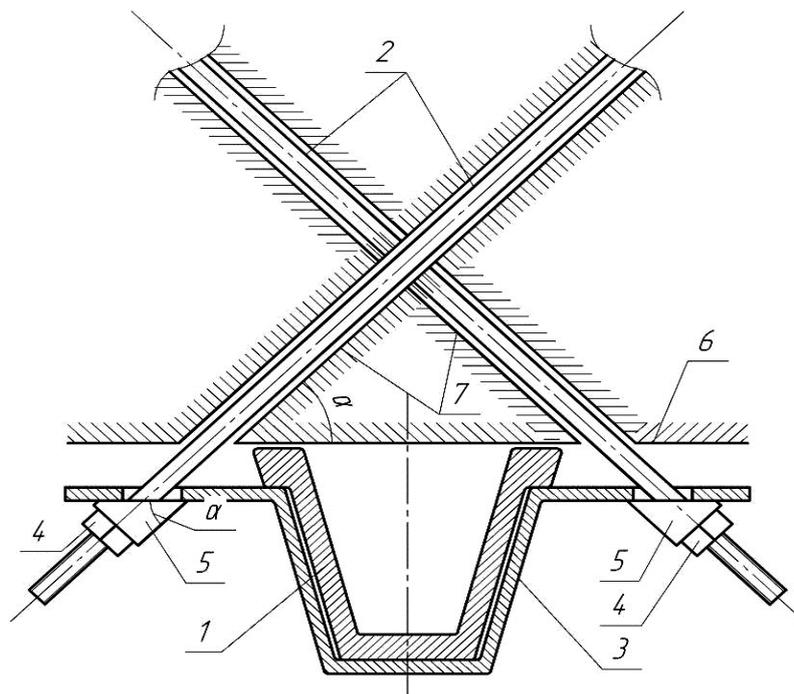


Рис. 7. Общий вид рамно-анкерной крепи: 1 – рама податливой крепи; 2 – жесткие анкеры; 3 – планка; 4 – гайки; 5 – фигурные шайбы; 6 – закрепляемая поверхность; 7 – шпурь для установки анкерных штанг; α – угол установки анкерных штанг

Она состоит из податливой рамы 1, жестких анкеров 2, связанных с рамой посредством планки 3, гаек 4 и фигурной шайбы 5. Для установки анкеров в закрепляемую поверхность 6 бурятся шпурсы 7 под углом $\alpha = 40^\circ - 70^\circ$.

Устанавливаемая в забое проводимой выработки рамная крепь, обеспечивает необходимый подпор породам на контуре выработки и препятствует развитию разрушений вглубь массива до момента установки анкерной крепи. После установки анкерной крепи в приконтурном ненарушенном массиве создается жесткая породно-анкерная конструкция, в которой за счет скрещивающегося расположения анкеров, обеспечивается дополнительный подпор породам на контуре выработки и достигается положительный технический эффект. Благодаря своему пространственному расположению анкера вовлекаются в совместную работу с рамной крепью. При этом, происходит не только объединение усилий рамной и анкерной крепи по восприятию горного давления, но и обеспечивается их жесткий и согласованный режим работы за счет соединения их в единую конструкцию планкой, фигурными шайбами и гайками.

Для сохранения устойчивости выработок, в которых она потеряна по второй схеме, разработаны способ поддержания «крепь-охрана» (рис. 8), комбинированный способ охраны (рис. 9) и способы борьбы с пучением (взрывоцелевая разгрузка (рис. 10) и образования компенсационной полости в почве выработки (рис. 11)), позволяющие управлять напряженно-деформированным состоянием вмещающего массива.

В геомеханических условиях, когда применение традиционной конструкции анкеров не позволяет существенно влиять на величину, действующих на контуре выработки, напряжений, предложен способ поддержания выработок «крепь-охрана» [13]. Идея способа состоит в совмещении процессов разгрузки вмещающего выработку массива от повышенных напряжений и его крепления. Это достигается путем взрывного раскрепления трубчатых анкеров специальной конструкции, устанавливаемых по периметру выработки на определенном расстоянии. При раскреплении анкеров, часть энергии взрыва расходуется на образование зоны разгрузки на заданном от контура выработки удалении, а

остальная – на развальцовывание анкеров в шпурах. При этом, вокруг выработки искусственно образуется область из нарушенных пород, а образованная породно-анкерная оболочка выполняет роль крепи (рис. 8).

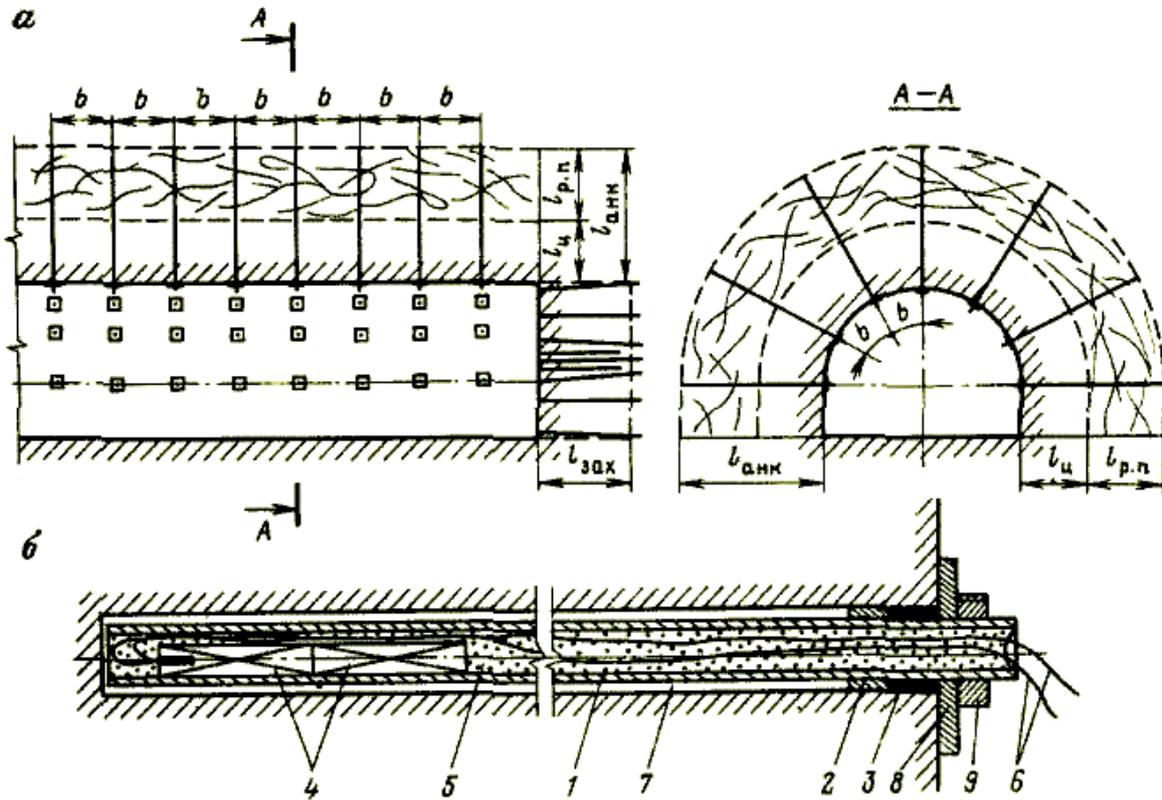


Рис. 8. Схема проведения выработки с использованием способа «крепь-охрана» (а) и конструкция заряда ВВ (б): 1 – трубчатый анкер; 2 – гайка стопора пакера; 3 – пакер; 4 – патроны ВВ; 5 – песчано-глинистая забойка; 6 – провода электродетонаторов; 7 – шпур; 8 – опорная плита; 9 – натяжная гайка

Комбинированный способ охраны предназначен для снижения напряженного состояния вмещающего выработку пород и рекомендуется для применения с целью улучшения условий поддержания выработок. Сущность способа (рис. 9) заключается в проведении передовой выработки с разгрузкой массива от повышенных напряжений и образованием вокруг неё ЗНД необходимых размеров. В дальнейшем выработку расширяют до проект-

ных размеров и возводят облегченную крепь. К основным параметрам способа относят: площадь поперечного сечения передовой выработки, выбираемую в зависимости от проектного сечения; отставание забоя выработки проектного сечения от забоя передовой выработки; параметры взрывной разгрузки в передовой выработке. Применение способа позволяет на 30-40 % снизить материальные трудовые затраты на поддержание выработки.

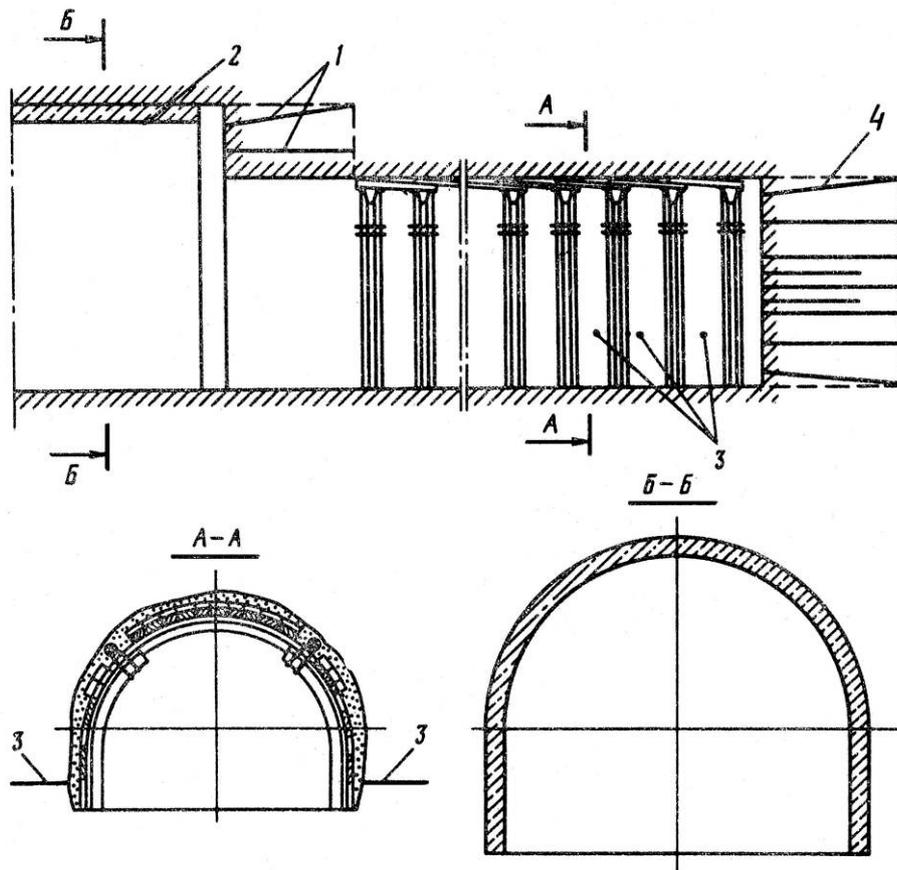


Рис. 9. Комбинированный способ охраны капитальных выработок: 1 – шпуры для расширения передовой выработки до проектных размеров; 2 – выработка проектного сечения; 3 – разгрузочные шпуры; 4 – шпуры для проведения передовой выработки

Способ взрывощелевой разгрузки (рис. 10) предназначен для предупреждения пучения пород почвы в выработках, проводимых буровзрывным способом, сооружаемых в породах с прочностью не менее 40 МПа. Он реализуется путем взрывания заряда

взрывчатого вещества (ВВ) в шпурах глубиной до 2,5 м, пробуренных через бока выработки в почву. Способ хорошо вписывается в технологический цикл работ по проведению выработки и не снижает скорость ее проведения. Схема расположения разгрузочных шпуров является составной частью паспорта проведения выработки. Способ предупреждает выдавливание пород почвы за счет искусственного образования в приконтурном массиве локальных областей пониженных напряжений, наличие которых позволяет перенести действующие повышенные напряжения вглубь массива. При этом в почве выработки образуется зона разгрузки с минимальными деформациями, что обеспечивает использование несущей способности разгруженного от напряжений массива для предупреждения пучения.

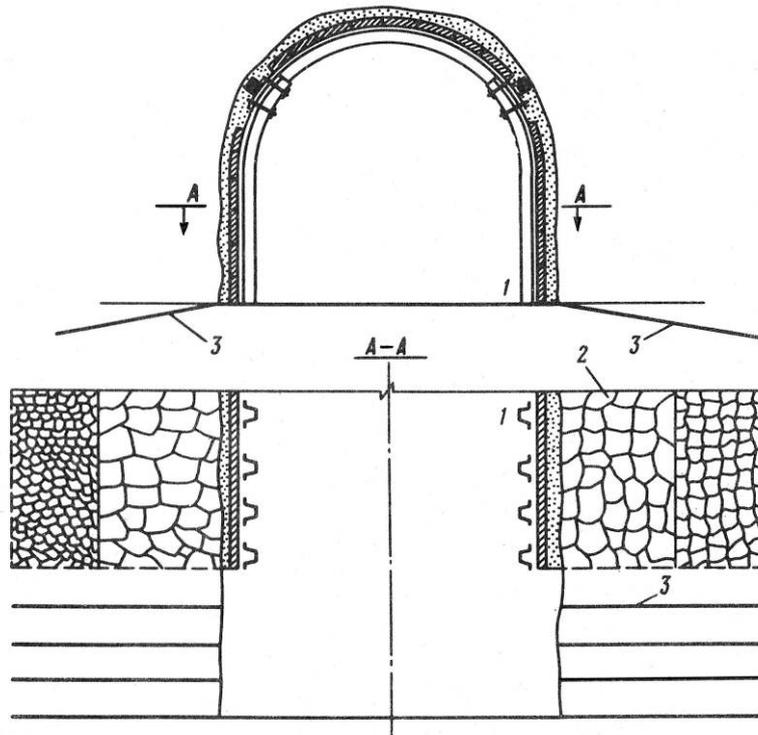


Рис. 10. Способ взрывощелевой разгрузки: 1 – горная выработка; 2 – зона разгруженных от напряжений пород; 3 – разгрузочные шпуры

К основным параметрам способа относят: длину разгрузочных шпуров, углы наклона их к горизонту в сторону почвы и от-

носительно продольной оси в сторону забоя, расстояние между разгрузочными шпурами и величину заряда ВВ в них. Способ борьбы с пучением путем образования компенсационной полости в почве выработки (рис. 11) предназначен для предупреждения выдавливания пород почвы в выработках, носящего характер складкообразования. Способ может применяться как при сооружении, так и при эксплуатации выработок. Сущность способа заключается в предотвращении эффекта складкообразования пород непосредственной почвы выработки путем искусственного создания компенсирующей полости на пути смещения слоев почвы по плоскостям напластования. Для этого в почву выработки в направлении перпендикулярном напластованию бурят шпуры, в которые помещаются камуфлетные заряды ВВ, взрывааемые за один прием с различными сериями замедления. Работы по созданию компенсационных полостей могут осуществляться как в забойной части выработки при ее сооружении, так и при эксплуатации выработки в случае начала интенсивного выдавливания пород, а также одновременно с ведением работ по поддирке. К параметрам способа относят: глубину разгрузочных шпуров, расстояние между ними, величину заряда ВВ в шпуре.

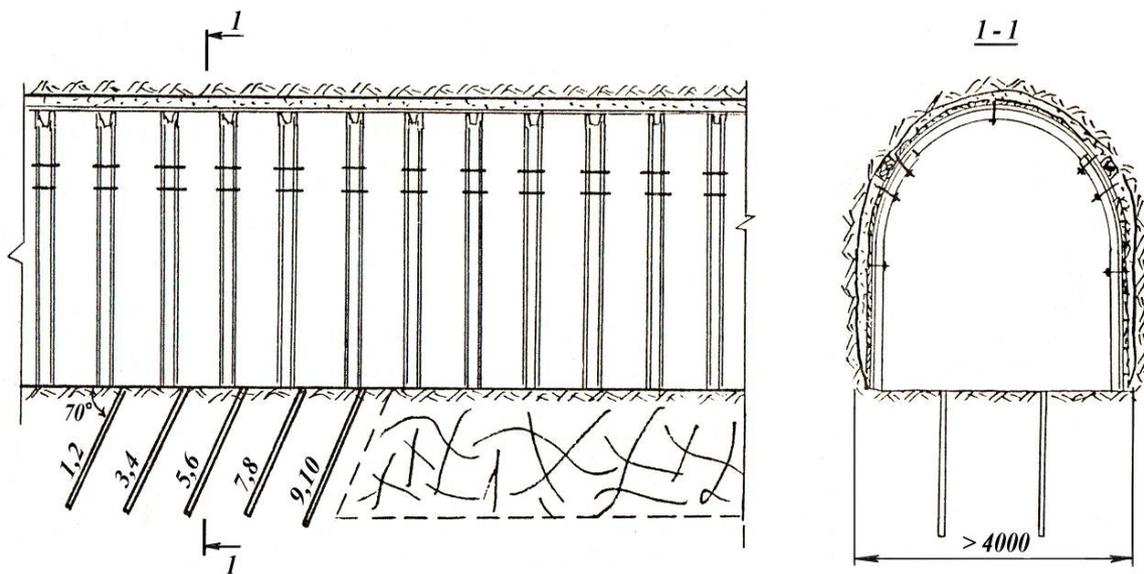


Рис. 11. Способ борьбы с пучением путем образования компенсационной полости в почве выработки

Все описанные способы охраны прошли широкую промышленную апробацию на шахтах Восточного Донбасса и показали высокую техническую эффективность.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1979. – 301 с.
2. Протосеня А.Г., Ставрогин А.Н., Черников А.К., Тарасов В.Г. К определяющим уравнениям состояния при деформировании горных пород в запредельной области // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1981. – № 3. – С. 33 – 43.
3. Протосеня А.Г., Ставрогин А.Н., Черников А.К., Тарасов В.Г. Запредельное состояние горных пород и его связь с задачами неоднородной теории пластичности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1979. – № 6. – С. 3 – 9.
4. Driban, V. New approach to assessment of mine working stability [Text] / V. Driban // 7-th International Scientific Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection SGEM – Albena, (Bulgaria). – 2007. – P. 251 – 259.
5. Driban, V. On the of mine working stability [Text] / V. Driban // Форум гірників – 2007 – Дніпропетровськ. – 2007. – С. 35 – 41.
6. Driban, V. On the new approach to the problem of maintenance mine workings [Text] / V. Driban // 21th World Mining Congress “New Challenges and Visions for Minings” – Krakow (Poland). – 2008. – P. 65 – 72.
7. Дрибан В.А. Об одном подходе к оценке устойчивости массива горных пород вокруг выработок / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАНУ. – Донецьк, 2010. – № 7 – С. 211 – 223.
8. Дрибан В.А. Об одном пути потери устойчивости горной выработки выработок / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАНУ. – Донецьк, 2011. – № 9 часть I. – С. 309 – 335.
9. Дрибан В.А. Определение критерия устойчивости выработок / Дрибан В.А., Южанин И.А., Терлецкий А.М. / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАНУ. – Донецьк, 2010. – № 7 – С. 190 – 198.

10. Патент на корисну модель № 45341. Україна. МКИ E21B 13/00. Спосіб опорно-анкерного кріплення гірничих виробок / М.М. Касьян, О.О. Новіков, Ю.А. Петренко, В.А. Плетнев, С.Ю. Гладкий, І.М. Шестопапов. Заявл. 05.05.2009. Опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. – 6 с.: ил.
11. Патент на корисну модель № 558763 Україна. МКИ E21D 20/00. Спосіб встановлення анкера / Касьян М.М., Новіков О.О., Петренко Ю.А., Дрипан П.С., Шестопапов І.М., Гладкий С.Ю., Виговський Д.Д. – Заявл. 04.06.2010 ; опубл. 27.12.2010 ; бюл. № 24. – 6 с.
12. Патент № 95155 Україна. МКИ E21D 20/00, E21D11/00. Спосіб кріплення гірничих виробок анкерним кріпленням / Касьян М.М., Новіков О.О., Петренко Ю.А., Плетнев В.А., С.Ю. Гладкий, І.М. Шестопапов. – Заявл. 25.12.2009; опубл. 25.06.2011; бюл. № 12. – 8 с.
13. Временная инструкция по применению способа поддержания горных выработок «крепь-охрана» : РД 12.18.072-88 / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков и др. – утв. Минуглепром СССР 26.09.88. – Донецк-Харьков, 1988. – 39 с.
14. Патент на корисну модель №42320. Україна. МКИ E21D 11/00, E21D 13/00. Спосіб кріплення гірничих виробок / М.М. Касьян, В.А. Плетнев, С.Ю. Гладкий, І.Г. Сахно, О.О. Новіков, І.М. Шестопапов. – Заявл. 23.02.2009 ; опубл. 25.06.2009 ; бюл. № 12. – 6 с. : ил.
15. Патент на корисну модель № 53899. Україна. МКИ E21D 13/00. Спосіб комбінованого кріплення гірничої виробки анкерним кріпленням / М.М. Касьян, О.О. Новіков, Ю.А. Петренко, І.Г. Сахно, І.М. Шестопапов, В.А. Плетнев, С.Ю. Гладкий. – Заявл. 29.03.2010 ; опубл. 22.10.2010 ; бюл. № 20. – 4 с. : ил.
16. Патент на корисну модель № 62682. Україна. МКИ E21D 13/00. Рамно-анкерне кріплення / М.М. Касьян, О.О. Новіков, Ю.А. Петренко, І.М. Шестопапов, П.С. Дрипан, С.Ю. Гладкий, Д.Д. Виговський. – Заявл. 10.02.2011 ; опубл. 12.09.2011 ; бюл. № 17. – 6 с. : ил.