

УДК 622.273.2

Д.Д. ВЫГОВСКИЙ к.т.н., доц., каф. РМПИ ДонНТУ, Украина, Д.Д. ВЫГОВСКАЯ к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонНТУ, Украина; Т.П. ПИКУЛЁВА ст. гр. ЭГТ-07 ФЭХТ ДонНТУ, Украина; Ю.Р. ИБРАЕВА ст.гр. ЭГТ-07 ФЭХТ ДонНТУ, Украина; А. А. СИДОРЕНКО ст. гр. ЭГТм-10 ФЭХТ ДонНТУ, Украина.

РОЛЬ ЗАКЛАДКИ ПО ДОСТИЖЕНИЮ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОГАШЕННОГО ВЕРИКАЛЬНОГО СТВОЛА.

Приведены основные положения и подходы применения закладочного материала по обеспечению устойчивости погашенных вертикальных стволов.

ЗАКЛАДКА, ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТОЛ, СЫПУЧИЕ ЗАКЛАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТВЕРДЕЮЩИЕ ЗАКЛАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Анализ известных техногенных аварий и катастроф при закрытии (ликвидации) шахт в угледобывающих странах Европы показывает, что основными их причинами стали: незаполненные или плохо закрытые устья стволов, разрушение под действием горного давления крепи линейных частей стволов при отсутствии в них закладки или чрезмерной ее усадке, разрушение перекрытий стволов или опор на сопряжениях ствола с выработками околоствольного двора, утечка закладки из ствола в примыкающие к нему выработки.

Дальнейший анализ и некоторые обобщения позволяют заключить, что в общем и целом аварии были предопределены чрезмерным (выше допустимого) горным давлением на крепь ствола со стороны окружающих его пород, недостаточной в конкретных условиях сопротивляемостью крепи ствола, низким качеством закладки, нарушением устойчивости опорных сооружений в стволе и стабильности собственно устьев стволов. При этом влияющие факторы проявляются отдельно или в различных сочетаниях, но все они безусловно взаимосвязаны и во многом

взаимообусловлены. То есть вырисовывается некая геомеханическая система (ГС), которую можно представить в виде взаимодействующих элементов, в конечном счете, определяющих устойчивость погашенного (ликвидированного) вертикального ствола (рис.1)

В данном случае под геомеханической системой «ликвидированный вертикальный ствол» следует понимать совокупность элементов ее составляющих: вмещающие ствол породы – крепь ствола – закладка – опорные сооружения в стволе и на сопряжениях с горизонтальными выработками – устье ствола, объединенных временным и пространственным взаимодействием и взаимодействием.

Под долговременной устойчивостью погашенных стволов, обеспечивающей технологическую и экологическую безопасность (устойчивость земной поверхности в районе ликвидированных стволов), следует понимать такое состояние геомеханической системы, когда все ее элементы будут уравновешены и это равновесие не нарушится даже при изменении гидрогеологической и сейсмической ситуации. Эта концепция долговременной устойчивости ликвидированных стволов рассматривает систему взаимосвязанных элементов, в которой любой отдельно выделенный элемент нельзя рассматривать и анализировать его влияние в отрыве от иных.

Концепция долговременной устойчивости погашенного ствола на основе единой геомеханической системы, когда ее элементы уравновешены и образуют единый массив, близкий к природному, представляется более привлекательной как с теоретической так и с практической точек зрения.

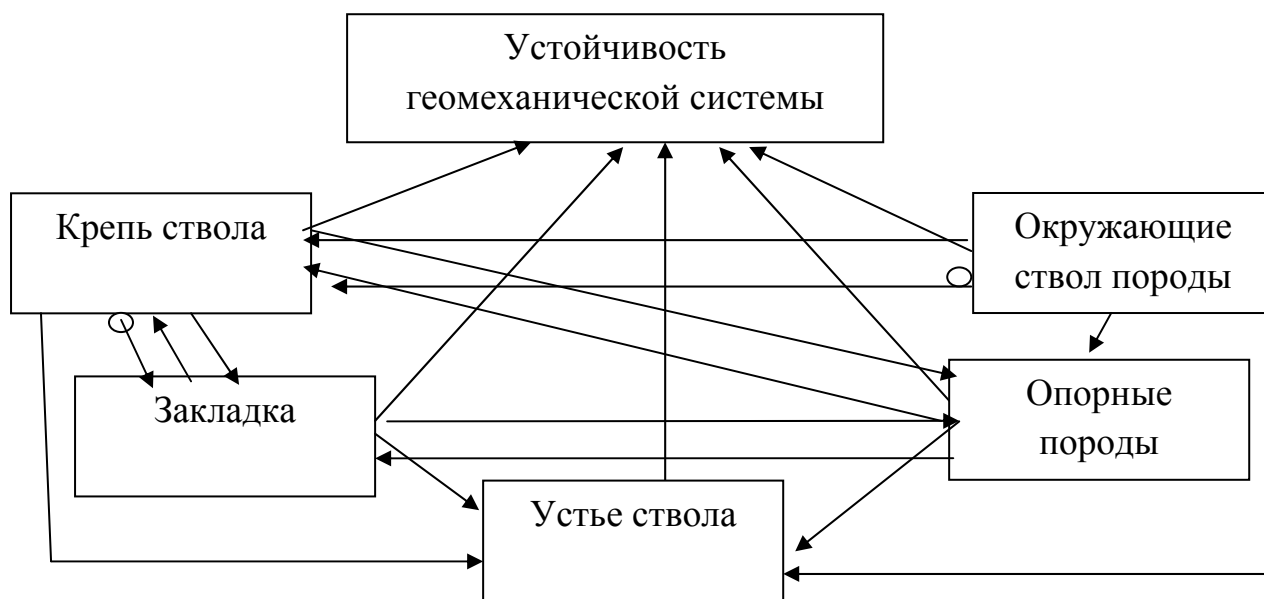


Рисунок 1. Схема взаимосвязей и взаимовлияния элементов геомеханической системы

- связи прямого взаимовлияния
- связи опосредованного влияния (косвенные)

Из приведенной схемы (рис.1) видно, что все элементы геомеханической системы оказывают прямое влияние на ее устойчивость.

По числу взаимовлияющих связей лидирующее место занимает устье ствола (4 связи), по 3 связи имеют опорные сооружения, крепь ствола и закладка. Это позволяет в определенной степени судить об «ответственности» соответствующего элемента за судьбу системы, ее устойчивость.

С позиции влияния на устойчивость геомеханической системы целесообразно рассматривать как единое целое – закладочный массив, состоящий из закладки и опорных сооружений. В этом случае, как следует из приведенной схемы (и практика тому подтверждение), его роль значительно возрастает.

Прямые и обратные связи, существующие между отдельными элементами системы (крепь ствола – закладка, закладка – опорные сооружения), потенциально позволяют находить альтернативные решения путем усиления одного элемента при ослаблении другого.

Кроме прямых (односторонних и двусторонних) связей между влияющими факторами следует обращать внимание на возможное появление связей опосредованного влияния, например окружающих ствол пород на закладку.

Решение проблемы долговременной устойчивости погашенных вертикальных стволов, а, следовательно, и поверхности возможно только на основе использования системного подхода к решению комплекса вопросов, связанных с конкретным влиянием каждого элемента, как во времени, так и в пространстве. «Правила безопасности в угольных шахтах» при ликвидации вертикального ствола требуют полного его заполнения (засыпки) негорючим, неразмокаемым, нерастворимым и нетоксичным материалом. Материал, которым заполняется ствол, получил название закладочного, а размещенный в стволе – закладки.

По своему агрегатному состоянию различают закладку сыпучую и твердеющую, а по гидрологическим условиям ее нахождения в стволе – сухую и обводненную. Все виды закладок имеют свои особенности, рабочие характеристики, которые следует учитывать при оценке степени их влияния на уровень стабильности геомеханической системы «погашенный вертикальный ствол».

Закладка в стволе, и это ее главная задача, призвана максимально усилить подсистему «порода-крепь» за счет бокового отпора крепи, повысить сопротивляемость крепи горному давлению со стороны окружающих ствол пород. И эту функцию закладка может выполнить лишь при условии, что она будет обладать нужными качествами, которые зависят прежде всего от характеристик закладочного материала и технологии закладочных работ.

Важнейшими характеристиками и свойствами закладочного материала являются: минеральный состав, механическая прочность, структура (кусковатость, форма частиц, фракционность - гранулометрический состав), величина сцепления частиц – сопротивление сдвигу, связность, компрессионные свойства, величины сил внешнего и внутреннего трения; деформационные характеристики, другие физико-механические свойства, которые в основном определяют плотность, кусковатость и, в конце концов, усадку закладки.

Усадка закладки определяет величину обнажения крепи ствола и окружающих его пород вплоть до земной поверхности.

Именно вид закладочного материала, прежде всего, определяет основные характеристики закладки и поэтому требует более детального рассмотрения.

Основными требованиями к закладочному материалу применительно к проблеме ликвидации вертикальных стволов являются:

- Высокая устойчивость в течении длительного времени, которая возможна при отсутствии склонности закладки к размягчению и пучению;
- Нерастворимость в условиях затопления ствола агрессивными шахтными водами;
- Невозможность самовозгорания, появления вредных испарений или образования токсичных веществ при выщелачивании.

Все материалы, соответствующие этим требованиям, делятся на сыпучие и твердеющие [2].

Сыпучие закладочные материалы.

Породы от проведения и ремонта горных выработок. Это породы карбона, к которым в Донбассе относятся песчаники, аргиллиты, алевролиты и известняки. При выборе этих пород в качестве закладочного материала оценивается: предел прочности на сжатие, плотность, крепость, способность к размоканию и выщелачиванию, пластичность и угол внутреннего трения. Реже всего применяются глинистые породы, так как они легко размокают и способны к «вытеканию» в горные выработки. В то же время их можно использовать в качестве уплотнения между кусками более прочных пород, например, песчаников. Из них хорошо делать «прослойки» между песчаными материалами. Песчаник является лучшим закладочным материалом, но он весьма опасен как источник искрообразования при ударах об армировку ствола. Для снижения этой опасности следует уменьшать кусковатость материала до 250 мм и менее. Все используемые для закладки ствола породы не должны иметь включений угля.

Отходы строительного-ремонтных работ.

Требования к ним как к закладочному материалу, аналогичны вышеописанным. Применение строительного мусора привлекательно с точки зрения уменьшения объемов городских свалок.

Перегоревшие породы шахтных отвалов.

Они наиболее доступны, имеются в достаточном количестве, сравнительно дешевы, чаще всего расположены вблизи ликвидируемых стволов. Однако, необходимо учитывать, что перегоревшая порода разлагается, имеет малую прочность, малую водонепроницаемость, повышенное содержание растворимых солей, большое количество глинистых включений. В связи с этим она не всегда обеспечивает устойчивость закладки. Решение о возможности использования породы шахтных отвалов в качестве закладочного материала должно приниматься только на основе их всестороннего лабораторного анализа.

Щебень.

Это один из самых дорогих, но и самых качественных закладочных материалов. Он обладает хорошей фильтрационной способностью, мало подвергается эрозии, практически не склонен к текучести, нерастворим, имеет большой угол внутреннего трения.

Песок (SiO_2).

Его использование ограничено в силу способности к «вытеканию» в горные выработки (особенно при увлажнении) и высокой стоимости.

Вышеназванные материалы представляют собой дискретные с определенными формами и размерами физические тела, которые могут, в большей или меньшей мере, претерпевать изменения под воздействием внешних сил – механических, гидродинамических, горного давления, а также физико-химических процессов.

Важнейшими рабочими характеристиками сыпучего закладочного материала является его гранулометрический состав (размеры частиц) и форма частиц. И та и другая характеристики оказывают существенное влияние на процесс укладки материала, который определяет плотность закладки и, в конечном счете, скорость и величину ее усадки в вертикальном стволе.

При определенном фракционном составе материала плотность закладки становится максимальной, а пустотность – минимальной (рис.2). Из рисунка следует, что при наличии в закладке только крупных (например, более 80 мм в поперечнике) фракций ее пустотность может достигнуть 20-25%. А это значит, что с течением некоторого времени усадка закладки в стволе глубиной, к примеру, 500 м может в принципе достигнуть 100м и более. На этом участке произойдет обнажение крепи, что серьезно ослабит подсистему «порода - крепь». Но не следует ориентироваться и на закладку, состоящую исключительно из мелких фракций. Получение мелкофракционного состава требует значительных средств на дробление закладочного материала и это может оказаться самым существенным. Мелкие фракции в большей степени, чем крупные размокают, частично растворяются, выщелачиваются, усиливая нередко при этом агрессивность водной среды, а затем либо вытекают из ствола, либо образуют непроницаемый массив для воды и газа. Следовательно, необходимо выбирать оптимальный фракционный состав для конкретных условий.

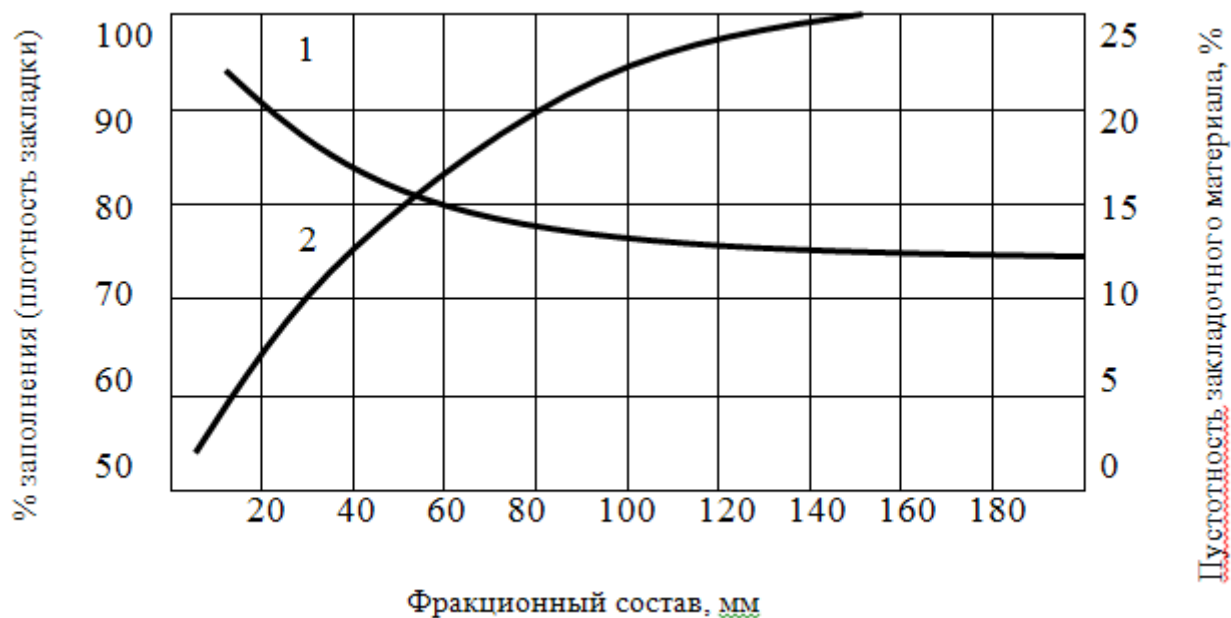


Рис. 2. Зависимость плотности закладки и ее пустотности от фракционного состава:
 1 - процент заполнения (плотность закладки), %; 2 - пустотность закладки, %.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что наиболее оптимальным гранулометрическим составом закладочного материала, подготовленного на поверхности, являются смеси, содержащие примерно 40% кусков с диаметром 250...80 мм, 20% – с диаметром 0...30 мм, 15% – 30...15 мм и 25% – с диаметром менее 15 мм [3].

Английскими предписаниями на основании опробованных исследований регламентируется такой состав подготовленной на поверхности смеси: 250..20 мм >80%, 20 мм и менее < 20%. При этом фракция до 1 мм не должна превышать 5 %. Чешские исследователи считают, что плотность закладки будет максимальной, если состав фракции 250...80 мм занимает 74%, 80..50 мм – 7%, менее 50 мм – 19%. Ситовый анализ пород отвалов шахт Донбасса показывает, что гранулометрический состав многих из них близок к оптимальному и может быть приемлем для засыпки стволов при условии дополнительного дробления на мелкие фракции кусков пород с поперечными размерами более 180 мм (примерно 15% объема).

Надо иметь в виду, что гранулометрический состав закладки в стволе отличается от подготовленного на поверхности. В результате падения материала в ствол количество крупных фракций (более 25 мм) уменьшается в среднем на 10%, на эту же величину возрастает процентное содержание более мелких фракций. С ростом высоты столба закладки влияние кинетической энергии падающего материала на нижележащие слои закладки уменьшается вследствие появления эффекта «подпружинивания», вязкости и пластичности. Понятно, что степень дробления и уплотнения закладочного материала, а, следовательно, плотность и пористость закладки, зависит от физико-механических свойств материала, крупности кусков и высоты их падения в ствол.

Состояние закладки в стволе можно характеризовать двумя основными временными периодами: во время засыпки и после ликвидации (засыпки) ствола. В первом периоде проявляются динамические нагрузки на закладку в результате самого процесса свободного падения материала. Во втором – закладка находится в статическом состоянии, приобретает как бы свойства вязко-пластического

материала с определенными вертикальными и горизонтальными составляющими давления по всей глубине ствола.

Выбор типа сыпучего закладочного материала зависит от конкретной горнотехнической ситуации и геологических (гидрогеологических) условий расположения ствола. Так, в случае вероятного заполнения ствола водой необходимо использовать крупнофракционный неразмокаемый материал. Английские инструкции требуют, чтобы он содержал 80 % фракции 20-250 мм, не менее 15 % фракций 2-20 мм и менее 5% материала крупностью до 2 мм. Такое соотношение обеспечит надлежащую водо- и газопроницаемость закладки.

Если существует опасность появления в стволе взрывоопасной концентрации метана, следует использовать мелкофракционный материал, исключающий искрообразование при ударе породы об элементы армировки ствола. Для извлечения металлических предметов из закладываемого материала над конвейером устанавливаются мощные электромагниты.

Твердеющая закладка

Твердеющая закладка — это материал, набирающий прочность в ликвидируемом стволе с течением времени. Этот вид закладки необходимо использовать при сооружении опорных перемычек на сопряжениях ствола с горизонтальными выработками, а также различного рода «стволовых пробок». Кроме того, твердеющая закладка обязательно используется для заполнения верхней части ствола на всю высоту наносов.

Прочность конструкций из твердеющей закладки определяется исходя из величины давления на них со стороны вышерасположенного материала. При этом помимо размеров ствола и свойств сыпучей закладки необходимо учитывать возможность ее увлажнения.

Основными компонентами твердеющей закладки являются наполнитель, связующие добавки и вода. Это своего рода бетон с относительно низкими значениями предела прочности на сжатие (не менее 2 МПа). В качестве наполнителя используются мелкие фракции доменных, шлаков, зола тепловых электростанций.

Доменные шлаки являются достаточно хорошим заполнителем, который при правильном использовании обеспечивают высокую прочность закладки. Их применение сдерживается наличием большого количества окислов металлов, способных к растворению, и возможные радиоактивные выделения. В любом случае для использования доменных шлаков необходима предварительная экологическая экспертиза их состава.

Зола тепловых электростанций является вторым по значимости заполнителем твердеющей закладки. Это недорогой и сравнительно доступный материал. Ее использование в качестве сыпучей закладки связано с определенным риском, обусловленным изменчивостью физико-механических свойств во времени и невысокой прочностью. В смеси с водой () зола тепловых электростанций обладает высокой текучестью и может произойти ее «вытекание» в горизонтальные выработки. Вместе с тем зола обладает хорошими вяжущими свойствами. В смеси с отходами цементной промышленности (100 кг на 1 м³ золы) она обеспечивает устойчивость и необходимую прочность закладки. Важно отметить, что свойства закладки сильно зависят от типа золы. В связи с этим перед выполнением закладочных работ необходима серия лабораторных испытаний.

Хотя хорошо известно, что твердеющая закладка по сравнению с сухой сыпучей имеет лучшие прочностные и компрессионные характеристики, а это благоприятно влияет на устойчивость с ее применением погашенного ствола. Однако хорошо известно и то, что твердеющая закладка по стоимости ее составляющих, приготовлению и технологии ведения закладочных работ значительно дороже обычной сыпучей. И это обстоятельство нередко априори становится основной преградой ее рассмотрения и использования при ликвидации вертикальных стволов угольных шахт [4].

Классическим и на практике идеальным видом твердеющей закладки является бетон на основе портландцементов. Однако он и очень дорогой. Этот вид закладки видимо следует применять только в самых ответственных местах, главным образом при возведении опорных сооружений в стволах. В других местах можно использовать и более дешевые материалы.

Одним из способов снижения стоимости закладочного материала является применение крупнокускового заполнителя и отходов металлургических заводов и электростанций. Отходы энергетической и металлургической промышленности, песок обладают практически идеальными характеристиками уплотнения пустот крупнодробленого заполнителя. При этом максимальный размер частиц крупнокускового заполнителя не должны превышать 20...45 мм и составлять 60%. Остальные 40% — мелкие фракции. Такое соотношение обеспечивает максимальную плотность твердеющей закладки.

Для условий ликвидации вертикальных стволов шахт Донбасса наиболее привлекательными являются отвальные породы. Но их использованию должны предшествовать испытания на прочность, размягчение при увлажнении и исследования на наличие вредных примесей, склонность к самовозгоранию. Но в условиях незначительной газопроницаемости последним можно пренебречь. Весьма важно оценить гранулометрический состав породных отвалов и соотнести его с оптимальным для твердеющей закладки. Как видно из табл. 3, в которой представлен усредненный гранулометрический состав отвалов шахт Донецкой области, примерно 25% отвальных пород требуют дополнительного дробления, что связано с достаточно большими затратами.

Таблица.3. Средний фракционный состав породных отвалов.

Выход (%) фракций, мм					
500	300	200	100	50	25 и менее
10	15	22	19	25	<9

Менее затратны металлургические шлаки, которые характеризуются повышенной плотностью, но требуют сравнительно больших затрат на их транспортирование. Однако, решение об отказе от использования, в частности, доменных шлаков по этой причине не однозначно. Дело в том, что в ряде случаев возможно и целесообразно использование доменного шлака в качестве вяжущего вместо цемента. Минеральный состав портландцемента и доменного шлака

отличаются только разным содержанием трикальций-силиката и алюмината, что обуславливает меньшую скорость и большую продолжительность твердения. Но в условиях длительного времени неподвижного состояния закладки в стволе это существенного влияния на результаты не оказывает. Более важным является то обстоятельство, что доменные шлаки обладают большой твердостью и требуют немалых затрат на измельчение. Поэтому в каждом конкретном случае необходимы технико-экономические расчеты получения оптимального состава твердеющей закладки с учетом мест, назначения и объемов ее использования. Так, при больших значениях гидростатического давления на опорные сооружения в стволах видимо целесообразно использовать щебень с однородным гранулометрическим составом, как наиболее надежный наполнитель твердеющих закладок.

Существенного улучшения реологического состояния твердеющей закладки можно достичь за счет применения пластификаторов (например, глины, 10-15% от вяжущего) [2], добавляемых к наполнителю. Пластификаторы повышают текучесть смеси, улучшают заполнение объема ствола, позволяет экономить связующие и повышают прочность закладок.

Важное место в эффективном использовании твердеющей закладки занимает технология возведения закладочного массива. Наиболее полно эти вопросы представлены в работе Цыгалова М.Н. [5]. Закладочный материал при закладке линейной части вертикального ствола заполняет ее под действием гравитационных сил. На сопряжениях же ствола с горизонтальными выработками сооружение опор может осуществляться путем выкладки специально изготовленных блоков, скрепленных вяжущим раствором, или путем подачи твердеющей закладки по трубам. Закладка подбирается с такими характеристиками, чтобы несущая способность опор и перемычек превышала давление вышерасположенной закладки [4, 5].

Возможен и отдельный способ возведения массива твердеющей закладки в стволе, когда сухой материал наполнителя и вяжущих подается в ствол совместно и взаимодействует с водой при ее притоке, образуя монолит за определенный промежуток времени. При этом в случае необходимости возможно применение пластификатора (глины) и ускорителя твердения (хлорида кальция, сульфата натрия и др.).

Этот способ возведения твердеющей закладки эффективен в линейных частях вертикального ствола, особенно в условиях слабых вмещающих пород.

В устьях вертикальных стволов, расположенных в наносах, возможен инъекционный способ упрочнения сыпучей закладки путем ее пропитывания вяжущими растворами.

Обобщая выше сказанное, следует подчеркнуть, что твердеющая закладка является одним из основных гарантов долговременной устойчивости земной поверхности в районе стволов, а ее оптимальный состав, рациональная технология могут обеспечить и экономическую целесообразность ее применения.

Основными, наиболее существенными факторами, влияющими на долговременную устойчивость ликвидируемых вертикальных стволов, являются:

- виды и характеристики закладочного материала;
- статика и динамика поведения закладки;
- характер и геометрия взаимодействия закладочного материала на контакте с крепью ствола;
- геологические и гидрогеологические характеристики пород, пересекаемых стволом;
- характеристики (параметры) опорных перемычек;
- характеристики (параметры) ствольных опор, характер их взаимодействия с закладкой и боковыми породами ствола в период его засыпки, а также в ближайшей и отдаленной перспективе.

Длительная устойчивость ликвидируемых стволов во многом предопределяется свойствами закладочного материала и схемой заполнения этим материалом ствола по высоте. При этом главным (ведущим) здесь являются свойства закладочного материала, которые в основном диктуют схему закладки.

В заключении необходимо отметить, что правильный выбор закладочного материала при ликвидации вертикальных стволов угольных шахт является одновременно научной, технической, экологической, экономической и социальной задачей. Ее решение должно основываться на богатом практическом опыте угледобывающих стран Европы и учитывать специфику шахт Донбасса.

Библиографический список

1. Ярембаш И.Ф., Циганенок И., Ворхлик И.Г. и др. общие принципы и основные способы обеспечения устойчивости ликвидированных вертикальных шахт // Изв. Донецкого горного института, 2000. — №1. — С.80-85.
2. Выбор закладочного материала ликвидируемых вертикальных стволов / Циганенок И., 1. Ярембаш И.Ф., Ворхлик И.Г. и др. // Изв. Донецкого горного института, 1999. — №1. — с. 70 – 73.
3. Ворхлик И.Г., Стрельников В.И., Ярембаш И.Ф. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт (под редакцией проф. Ярембаша И.Ф.). Донецк, 2004. – 238с.
4. О твердеющей закладке как гаранта долговременной устойчивости земной поверхности в районе ликвидированного ствола // Наукові праці Донецького Національного технічного університету, 2003, випуск 63, - С. 56-61.
5. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред.. Броникова Д.М., Цагалова М.Н. — М.: Надра, 1989. - С. 400.

Д.Д. ВИГОВСЬКИЙ к.т.н., доц. каф. РРКК ДонНТУ, Україна; Д.Д. ВИГОВСЬКА к.т.н., доц. каф. РРКК ДонНТУ, Україна; Т.П. ПИКУЛЬОВА ст. гр. ЕГС-07 ФЕХТ ДонНТУ, Україна; Ю.Р. ІБРАЄВА ст. гр. ЕГС-07 ФЕХТ ДонНТУ, Україна, А. О. СИДОРЕНКО ст. гр. ЕГСм-10 ФЕХТ ДонНТУ, Україна.

РОЛЬ ЗАКЛАДКИ ПО ДОСЯГНЕННЮ СТАБІЛЬНОСТІ ГЕОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОГАШЕНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТОВБУРА.

Наведенні основні положення і підходи застосування закладного матеріалу по забезпеченню стійкості погашених вертикальних стволів.

ЗАКЛАДКА, ГЕОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, ВЕРТИКАЛЬНИЙ СТОВБУР, СИПУЧІ ЗАКЛАДНІ МАТЕРІАЛИ, ЗАКЛАДНІ МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ТВЕРДНУТЬ

D.D. VIGOVSKIY candidate of technical science, associate professor of department of DMD of DonNTU, Ukraine; D.D. VIGOVSKA candidate of technical science, associate professor of department of DMD of DonNTU, Ukraine; T.P. PIKULOVA student of EMT group, faculty of ECT of DonNTU, Ukraine; U.R. IBRAEVA student of EMT group, faculty of ECT of DonNTU, Ukraine; A. O. Sidorenko student of EMT group, faculty of ECT of DonNTU, Ukraine.

The role of stone gobbing to achieve stability geomechanical system extinguished the vertical trunk.

The main provisions and approaches of packing material to ensure the sustainability of extinguished the vertical trunk.

GOBBING, GEOMECHANICAL SYSTEM, THE VERTICAL TRUNK, BACKFILL GRANULAR MATERIALS, HARDENING BACKFILL MATERIALS