

УДК 622.235.532.2

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОБЫЧИ РУД НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА КАМЕР*

В. И. ЛЯШЕНКО¹, канд. техн. наук, vilyashenko2017@gmail.com;

О. Е. ХОМЕНКО², д-р техн. наук, проф.; А. Х. ДУДЧЕНКО¹

(¹ ГП “Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии”, г. Желтые Воды, Украина);

² Национальный технический университет “Днепропетровская политехника”, г. Днепр, Украина)

Приведены основные научные и практические результаты повышения безопасности добычи руд на основе использования комбинированной закладки выработанного пространства. Показана актуальность применения твердеющей закладки выработанного пространства очистных камер в сочетании с сыпучей закладкой при подземной разработке месторождений. Представлены методология исследования и особенности изоляции камер эксплуатационных блоков с использованием сыпучей смеси в составе комбинированной закладки.

Ключевые слова: горнорудное производство; безопасность добычи руд; выработанное пространство; закладка выработанного пространства; комбинированная закладка; очистная камера; изолирующие переемы.

INCREASE OF ORES MINING SAFETY BASED ON COMBINED BACKFILLING OF MINING CHAMBERS SPACE

V. I. LYASHENKO¹, PhD (Tech), vilyashenko2017@gmail.com;

O. E. KHOMENKO², Higher Doctorate, Professor; A. Kh. DUDCHENKO¹

(¹ GP “Ukrainian Research and Designing-Surveying Institute of industrial technology”, Zheltye Vody, Ukraine;

² National technical university “Dnepr polytechnica”, Dnepr, Ukraine)

Main research and practical results presented devoted to increase of ores mining safety, based on combined backfilling of mining space. An actuality of the solid stowing usage for backfilling of stoped excavation space shown, when combined with loose stowing during underground mining of deposits.

A methodology of research and peculiarities of mining blocks chambers isolation presented when using loose mixture in the combined stowing.

Key words: ore mining; ores mining safety; workings space; backfilling of workings space; combined backfilling; stoped excavation; isolating cross-connection.

В последние годы на горных предприятиях развитых горнодобывающих стран мира из-за нестабильного финансирования зачастую происходит отставание закладочных работ, что приводит к значительному росту незаложенных подземных пустот и непредсказуемым геомеханическим последствиям (неконтролируемому перераспределению геоэнергии в техногенно нарушенном горном массиве), что значительно снижает уровень безопасности добычи руд [1–5]. При этом подготовка эксплуатационных блоков к отработке 2-й, 3-й и последующих очередей выемки из-за незаложенных камер 1-й очереди

значительно увеличивает время, что ведет к резкому снижению концентрации горных работ, росту объемов запасов руд, подготовленных к выемке, замораживанию значительных оборотных средств и приводит к росту напряжений в горном массиве [6–8]. Поэтому повышение безопасности добычи руд на основе использования твердеющей закладки выработанного пространства очистных камер при учете возможности сыпучей закладки заполнять подходные к камерам выработки под углом не менее 45–55 град. представляет собой важную научную и практическую задачу, требующую решения [9–15].

* В работе принимали участие А. Г. Недельский, В. И. Македонов, А. А. Ткаченко, А. В. Шевченко, А. Г. Скотаренко и другие.

Методика исследований

Авторами выполнен анализ научно-технических источников, использованы методы теоретических обоснований, проведены лабораторные исследования с внедрением результатов в разработку новых технологий и технических средств на основе использования твердеющей закладки выработанного пространства камер в сочетании с сыпучей закладкой при заполнении подходов к камерам выработок под углом не менее 45 град. Исследования включали следующие этапы:

– обобщение и оценка накопленного опыта изоляции очистного пространства при формировании искусственного массива в камере с сыпучей закладкой;

– совершенствование и разработка новых конструкций переносных, многоразовых, изолирующих перемычек и устройств (комбинированное изолирующее устройство; несущая фильтрующая эластичная пневмобаллонная перемычка и др.);

– обоснование параметров перемычек с привлечением методов расчета по разработанным программным продуктам.

Теоретические исследования проведены на основе методов математического и физического моделирования, а лабораторные исследования и промышленное внедрение — с использованием общепринятых и новых методик [16–20].

Обсуждение и оценка результатов исследований

Технология добычи руды с закладкой выработанного пространства камер по всему шахтному полю приводит к повышению ее себестоимости из-за необходимости поддерживать в рабочем состоянии значительно большую часть подземных выработок, коммуникаций, проветривать дополнительное количество проходческих и очистных забоев. Учитывая эти факторы, производство закладочных работ на шахтах должно вестись непрерывно в течение всего года. Наиболее перспективными изолирующими устройствами отработанных камер являются конструкции, которые могут быть изготовлены на месте установки из подручных материалов (пустая порода), а также конструкции многоразового использования, позволяющие максимально повысить безопасность работ, упростить процесс их ведения, снизить стоимость горных и закладочных работ.

Объемы заполнения камер сухими смесями в этом случае зависят больше от горнотехнических условий и могут быть значительными при большой мощности рудного тела (15–20 м) и крутом падении. При этом подэтажные выработки, граничащие с отработанной камерой, как и при отработке вкрест простирания, перекрываются сыпучими смесями, что должно быть принято во внимание при расчетах конструкций по изоляции очистного пространства камер комбинированными смесями.

Выполненные ранее исследования показали, что проникновение твердеющей смеси в навал горной массы с максимальными размерами куска

до 700 мм может достигать глубины более 1 м в виде отдельных протоков [1]. В основной же массе твердеющая смесь пропитывает слой от 0,5 до 0,8 м, образуя после твердения прочный слой (корку), который повторяет поверхность навала. Необходимо заметить, что проникновение раствора твердеющей закладочной смеси в навал сыпучей закладки может достигать величин, когда создаются условия выноса вяжущего на подэтажную выработку. Эти обстоятельства необходимо учитывать при выборе типа перемычек для перекрытия выработок при изоляции выработанных пространств.

Изоляция подэтажных выработок сыпучими породами в области лежащего бока должна быть достаточной для удержания напора твердеющей смеси и предотвращения прорывов в выработки (рис. 1). Решение этого вопроса требует предварительного обследования в каждом частном случае. Перекрытие из породной массы может также служить фильтрационным слоем для дренажа воды, исключая вынос вяжущего из твердеющей смеси за пределы очистного пространства камер. Исследования, выполненные на моделях, обнадеживающие, но не дают возможности отказаться в таких обстоятельствах от перемычек повсеместно. В каждом отдельном случае при принятии решения о сооружении перемычек необходимой прочности и назначения нужно обязательно осуществлять детальное обследование сложившихся условий после заполнения пустот сухими смесями перед их дозакладкой гидравлической или твердеющей смесью.

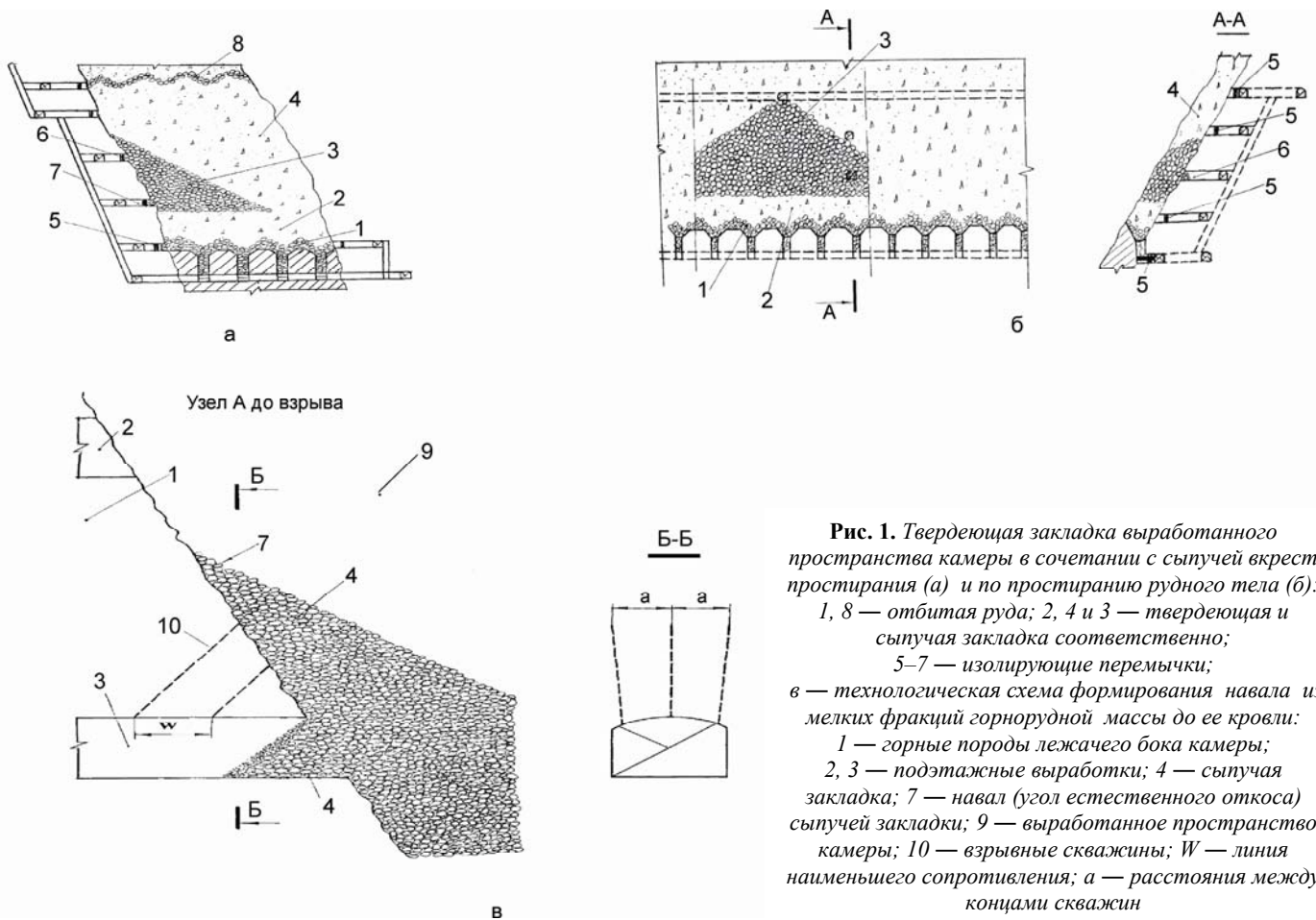


Рис. 1. Твердеющая закладка выработанного пространства камеры в сочетании с сыпучей вкрест простираения (а) и по простираению рудного тела (б): 1, 8 — отбитая руда; 2, 4 и 3 — твердеющая и сыпучая закладка соответственно; 5–7 — изолирующие перемычки; в — технологическая схема формирования навала из мелких фракций горнорудной массы до ее кровли: 1 — горные породы лежащего бока камеры; 2, 3 — подэтажные выработки; 4 — сыпучая закладка; 7 — навал (угол естественного откоса) сыпучей закладки; 9 — выработанное пространство камеры; 10 — взрывные скважины; W — линия наименьшего сопротивления; а — расстояния между концами скважин

Для уменьшения глубины проникновения твердеющих смесей в навал по лежащему боку при засыпке камер в области подэтажных выработок целесообразно размещение сыпучих смесей от проходки выработок с кусковатостью до 300 мм, что позволит мелкокусовыми фракциями заштыбовать неровности лежащего бока и исключить возможность протекания раствора в выработки. После выпуска на днище камеры сыпучая масса формируется в виде гребней и откосов в форме конической поверхности высотой до 5–6 м. Ввиду чрезвычайно неровного рельефа рудной массы, оставшейся на воронках выпуска, поверхность ее соприкосновения с закладкой по сравнению с горизонтальной площадью подсечки блока увеличивается примерно в 2–3 раза. После подачи твердеющей смеси на такой навал рудная масса пропитывается по увеличенной поверхности и связывается в виде прочной корки толщиной до 0,8 м, образуя сложный рельеф. Руда, пропитанная твердеющей смесью, может быть потерянной, а взорванная корка при отбойке днища в нижнюю камеру приведет к разубоживанию закладкой. Поэтому возникают трудности в подготовке днища перед закладкой блоков, которые заключаются:

– в сложности контроля уровня заполнения воронок днища рудной массой;

– весьма трудном процессе выравнивания (планирования) рудной массы на днище.

Наиболее благоприятные условия заполнения закладочным материалом объема выработанного пространства днища создаются при качественном дроблении рудной массы, особенно при последних взрывах, когда воронки заполняются мелкокусовой сыпучей смесью. Это необходимо для более надежного удержания твердеющих растворов на навале сухой смеси и исключения протекания его через выпускные выработки (дучки). Если воронки не будут заполнены сухой смесью, то ввиду их большой глубины, достигающей вместе с конусом отбитой руды до 10 м, последние заполняются в первую очередь закладочным твердеющим раствором, который создает давление до 2 атм и потребует установки напорных перемычек большой прочности, что нецелесообразно.

Объем, заполненный закладочной смесью в воронках днища блока, который будет обрабатываться одновременно с нижней камерой, является разубоживающим материалом, наносящим ущерб:

– во-первых, теряется закладка в объеме, который в каждом частном случае разный и который может превышать по стоимости затраты на подготовку днища к закладочным работам;

– во-вторых, разубоживающая закладка, как мелкий материал после измельчения кусками руды в камере, будет переработана в конечной стадии извлечения металла.

Следовательно, для исключения этого ущерба необходимо создание на днище блока спланированной границы твердеющая смесь – рудная масса. Для этого производят планировку воронок в днище блока и удаляют рудную массу с лежачего бока во избежание потерь разбуриванием и взрыванием днища, образуя таким образом более выровненную поверхность мощного навала.

В зависимости от конкретных горнотехнических условий могут быть применены различные способы планировки воронок в днище блоков [2],

Особенности изоляции выработанного пространства камер

Использование подземного способа добычи полезного ископаемого развивается за счет применения систем разработки с закладкой выработанного пространства смесями в различных комбинациях: гидравлическая с сыпучей крупнокусковой; твердеющая с сыпучей крупнокусковой; гидравлическая и твердеющая с дроблеными породами и т. д. Использование сыпучей закладки в составе комбинированных схем ведения закладочных работ может иметь удельный вес в пределах 5–10 %. Искусственный массив на основе сыпучей закладочной смеси можно возводить по раздельному или полураздельному способу [1].

Раздельный способ характеризуется тем, что сыпучие смеси транспортируют в вагонах и заполняют ими изолированные камеры и отработанные маломощные залежи. Гранулометрический состав сыпучих материалов, полученных после проходки выработок, находится в пределах 0–350 мм, а после рудоконтрольной станции — в пределах 0–700 мм. При комбинированной закладке камеры, отработанной вкрест простирания, сыпучую закладку подают на слой твердеющей смеси высотой от 6 до 8 м прочностью до 5 МПа. Она размещается в виде навала на лежачем боку камеры с откосом в сторону висячего бока, который формируется под естественным углом от 37 до 45 град. (угол формируется в зависимости от гранулометрического и минералогического составов сыпучих закладочных материалов). В процессе формирования навала сыпучей закладки происходит ее гравитационное перераспределение, которое также зависит от этих же факторов. Более крупные куски располагаются на поверхности слоя (навала) и по периферии закладываемого пространства, что сни-

жает плотность формируемого искусственного массива, а затем со временем вызывает его усадку на 20–30 %. Располагаясь на лежачем боку, сыпучая закладка перекрывает поэтажные выработки, изолируя очистное пространство камеры от внутришахтных коммуникаций. Заполнение таких камер сыпучей закладкой производится с обязательным перекрытием твердеющей смесью, которой необходимо заполнить оставшийся объем очистного пространства.

Образованный на лежачем боку навал 4 с откосом из горной массы толщиной в 3–4 м и обратный откос в выработке 3 (узел А) создают препятствие 5, противостоящее проникновению твердеющего раствора 6, который подают на указанный навал 4 выше уровня выработки 3 на 2 м). После остановки подачи порции твердеющей смеси твердые компоненты оседают, избыточная вода в основном вытесняется на поверхность и дренируется через навал 4, увлекая за собой вяжущее в ближнюю к лежачему боку зону. Из-за сложной формы поверхности лежачего бока и его трещиноватости возможна утечка раствора на первоначальной стадии процесса твердения закладки 6. Поэтому целесообразно подготовить более плотный слой из сыпучей смеси 5 в области устья выработки 3 путем взрывания двух рядов коротких параллельных скважин общей длиной не превышающей 20 м. Скважины 10 диам. 67 мм бурят во время обустройства запасов руды в камере под углом 50–60 град. к потолочине выработки 3, а взрывают после перекрытия лежачего бока сыпучей смесью 4, причем взрывание всех скважин (до 6 ед.) осуществляют одним замедлением. Затем дополнительно подают в камеру из транспортных сосудов объем пустых пород и забалансовых, по

при этом необходимо стремиться придать отбитой руде такую поверхность, чтобы после ее выпуска закладочный массив в нижней части поперечного сечения камеры приобрел наиболее устойчивую форму — форму свода. Предложенный способ планировки имеет ряд преимуществ и обосновывает необходимость его внедрения в производство, так как:

– снижается ущерб от разубоживания твердеющей закладкой;

– уменьшаются потери руды в пропитанном слое твердеющей смесью из-за уменьшения после планирования днища поверхности границы раздела двух сред твердеющая смесь – сыпучая рудная масса;

– нет необходимости в перемычках (заходки взорваны и образован спланированный взрывом навал в пределах объема бывшего днища камеры).

содержанию полезного компонента, руд (далее — забалансовые руды), выравнивают откос 7 навала 4 в камере.

Полученное таким способом изолирующее устройство 5 из пустых пород должно надежно удерживать раствор твердеющей закладки 6, подаваемый в камеру 9. Для проверки работоспособности предлагаемого изолирующего устрой-

ства 5 из пустых пород или забалансовых руд необходимо проведение испытаний на практике, возможно, с использованием для надежности легкой фильтрующей перемычки. Степень надежности такого изолирующего устройства камеры должна быть выше, чем перемычки, рассчитанной согласно стандарту предприятия на давление в 0,1 МПа.

Определение параметров перемычки

Чтобы обеспечить надежное перекрытие горной выработки цельнооболочной перемычкой, необходимо определить достаточную для закупоривания выработки площадь поперечного сечения цилиндрического участка оболочки. Площадь поперечного сечения перекрываемой выработки S_B и радиус цилиндрического участка оболочки R_0 связаны между собой следующей зависимостью:

$$R_0 = \sqrt{\frac{S_B}{\pi}}, \text{ м.} \quad (1)$$

Максимальная величина площади поперечного сечения горных выработок, перекрываемых изолирующими перемычками, как на действующих, так и на проектируемых горных предприятиях ГП «Восточный горно-обогатительный комбинат» («ВостГОК»), Украина, составляет 10 м^2 . Чтобы обеспечить запечатывание выработки такого сечения цельнооболочной эластичной перемычкой, радиус цилиндрического участка оболочки согласно формуле (1) должен иметь размер $R_0 = \sqrt{10/3,14} = 1,8 \text{ м}$.

Устойчивость перемычки к нагрузкам, создаваемым закладочным материалом, зависит от длины цилиндрического участка оболочки и избыточного давления воздуха в ее полости. Величина нагрузки на перемычку Q_n от подвижного закладочного материала, подаваемого в погашаемую камеру, определяется величиной столба закладки под перемычкой, объемным весом пульпы закладки и вычисляется по формуле

$$Q_n = h_c \gamma_3 S_B K_n, \text{ т,} \quad (2)$$

где h_c — расстояние между поверхностью образуемого искусственного массива и серединой перекрываемой выработки, м; γ_3 — плотность пульпы закладочного материала, т/м^3 ; S_B — площадь поперечного сечения перекрываемой выработки, м^2 ; K_n — коэффициент, учитывающий снижение подвижности закладочного материала при отфильтровании избыточной воды через перемычку.

Плотность пульпы закладочного материала зависит от состава твердой фракции, а также ко-

личества воды и составляет $1,5\text{--}1,8 \text{ т/м}^3$ [7]. Для установленной технологии заполнения камер закладочным материалом в зоне подэтажной выработки, перекрытой изолирующей перемычкой, расстояние между поверхностью возводимого искусственного массива и серединой выработки составляет $2,5\text{--}3,5 \text{ м}$. При таких условиях максимальная величина нагрузки на перемычку от подвижного закладочного материала согласно формуле (2) составит $Q_n = 3,5 \times 1,8 \times 10 \times 0,5 = 31,5 \text{ т}$.

С целью предотвращения смятия перемычки подвижным закладочным материалом в полости оболочки необходимо создать избыточное давление, превышающее удельную нагрузку от закладки. Величину удельной нагрузки на перемычку от закладки P_n определяют из зависимости

$$P_n = h_c \gamma_3 K_n, \text{ т/м}^2. \quad (3)$$

Для принятых выше условий ведения закладочных работ удельная нагрузка на перемычку согласно формуле (3) будет равна $P_n = 3,5 \times 1,8 \times 0,5 = 3,1 \text{ т/м}^2 = 0,31 \text{ кг/см}^2$. В связи с этим из условия несмятия эластичной перемычки, установленной в горной выработке, подвижным закладочным материалом в полости оболочки необходимо создать избыточное давление воздуха не меньше величины удельной нагрузки ($0,31 \text{ кг/см}^2$). Цельнооболочная перемычка удерживается в горной выработке и противостоит нагрузке от закладочного материала силой трения Q_T поверхности цилиндрического участка оболочки о стенки выработки, которую рассчитывают из выражения

$$Q_T = P_n \Pi L_K K_{тр}, \text{ т,} \quad (4)$$

где P_n — избыточное давление воздуха в полости оболочки, т/м^2 ; Π — периметр перекрываемой выработки, м; L_K — длина контактной зоны мягкой оболочки с боковыми стенками выработки, м; $K_{тр}$ — коэффициент трения ткани оболочки о стенки выработки, доли ед.

Максимальный периметр перекрываемой выработки, выраженный через радиус цилиндрического участка оболочки

$$\Pi = 2\pi R_0, \text{ м,} \quad (5)$$

при радиусе оболочки 1,8 м согласно формуле (5) составит $\Pi = 2 \times 3,14 \times 1,8 = 11,3$ м.

Надежность перекрытия выработки цельно-оболочной эластичной перемычкой обеспечивается превышением силы трения цилиндрического участка оболочки о стенки горной выработки над величиной нагрузки от закладочного материала с двукратным коэффициентом запаса ($K_3 = 2$). Указанное условие описывается выражением

$$Q_n K_3 = P_{\text{и}} \Pi L_{\text{к}} K_{\text{тр}}. \quad (6)$$

Необходимая длина контактной зоны цилиндрического участка оболочки со стенками выработки, обеспечивающая надежное закрепление перемычки, определяется из зависимости (6) и выражается формулой

$$L_{\text{к}} = \frac{Q_n K_3}{P_{\text{и}} \Pi K_{\text{тр}}}, \text{ м.} \quad (7)$$

Для принятых выше условий перекрытия горной выработки эластичной перемычкой и техно-

логии закладки выработанного пространства гидравлической или твердеющей закладкой необходимая длина цилиндрического участка оболочки согласно формуле (7) составит

$$L_{\text{к}} = \frac{31,5 \times 2}{3,1 \times 11,3 \times 0,7} = 2,57 \text{ м.}$$

Таким образом, изоляцию камеры, погашаемой твердеющей или гидравлической закладкой от горных выработок в условиях действующих и проектируемых предприятий ГП «ВостГОК», целесообразно осуществлять фильтрующей цельнооболочной эластичной перемычкой, оболочка которой имеет следующие геометрические параметры: радиус цилиндрического участка — 1,8 м; длина цилиндрического участка — 2,6 м; общая длина оболочки (расстояние между полюсами торцевых участков) — 6,2 м. Избыточное давление воздуха в полости оболочки должно превышать 0,031 МПа.

Совершенствование изолирующих устройств

Необходимыми условиями при совершенствовании конструкций устройств, перекрывающих выработку для изоляции очистного пространства от внутришахтных коммуникаций, являются максимально возможная надежность, минимальные трудоемкость и материальные затраты. Из-за сложности доставки материалов до места сооружения перемычек и отсутствия средств механизации сооружение перемычек является трудоемким процессом. По своему назначению к конструкции перемычки, согласно технологии, предъявляются следующие технические требования:

- высокая надежность ее работы, способность противостоять давлению гидростатического столба закладки и предотвращать прорывы закладочных смесей в действующие горные выработки;
- высокая устойчивость по отношению к действию взрывов с момента установки до заполнения закладкой ее верхнего уровня;
- возможность фильтрации излишней воды, не участвующей в гидратации вяжущего, поданной при транспортировании закладки;
- простота конструкции, удобство транспортирования и монтажа по месту установки;
- минимальные затраты времени на ее строительство;
- минимальные материальные затраты;
- возможность демонтажа отдельных ее элементов или полный демонтаж перемычки с целью повторного или многократного ее использования по назначению;

- высокий уровень технологичности конструкции, состоящей из унифицированных элементов облегченного типа (до 50 кг);
- возможность максимального использования местного материала (дробленая порода);
- максимальный уровень механизации отдельных операций при ее сооружении;
- надежное обеспечение контакта по контуру выработки;
- максимальный уровень безопасности труда в процессах выполнения операций.

Согласно технологии закладочных работ закладываемые камеры должны быть надежно изолированы по всем выработкам, входящим в очистное пространство. Поэтому строительство изолирующих устройств осуществляют на всех нисходящих вертикальных и горизонтальных выработках ниже уровня погашаемой пустоты. В зависимости от назначения для изоляции закладываемых объемов пустот от действующих (эксплуатируемых) горных выработок применяют стационарные (бетонные и деревянные) и переносные перемычки различных конструкций. Возведение применяемых на рудниках бетонных и деревянных стационарных изолирующих перемычек требует значительных материальных затрат. Изолирующая деревянная перемычка типа 1, предписываемая стандартом предприятия ГП «ВостГОК» «Система разработки подэтажными штреками (ортами) с заполнением выработанного пространства камер твердеющей смесью. Закладка выработанного пространства» на сечение выработки $3 \times 3 \text{ м}^2$, потребует $3,53 \text{ м}^3$ леса

не ниже 2-го сорта и большого количества специальных металлических изделий (скобы — 75 шт., глухари Ø10 мм — 100 шт., опорные пластины — 11 шт.). Железобетонная перемычка типа 5 потребует 150 кг стальной арматуры Ø25 мм и 2,8 м³ бетона при необходимости бурения 13 шпурометров по периметру выработки (сечение 2,90×3,35 м²).

Недостатком железобетонных перемычек является необходимость выдерживания их в течение 10 сут перед закладкой очистного пространства. В практике горнодобывающих предприятий СНГ на закладочных работах широко применяются деревянные перемычки с распорной крепью как с фильтрующими, так и с глухими стенками. В последние 15–20 лет при ведении закладочных работ находят широкое применение фильтрующие тканевые передвижные и надувные перемычки [3, 4]. Исходя из вышеизложенных требований к изолирующим перемычкам наиболее полно отвечают им:

- конструкции изолирующих устройств, строительство которых осуществляют из местных материалов, например дробленой породы;
- конструкции переносных изолирующих устройств, которые возможно использовать по назначению неоднократно, частично или полностью.

Первые конструкции имеют большое преимущество, так как для их строительства потребуются минимальные затраты за счет использования при их сооружении пустых пород, которые необходимо выдавать на поверхность или добавлять в виде сыпучей смеси в комбинированную закладку из твердеющего раствора. Этого материала достаточно имеется в подземных условиях и его использование с этой целью наиболее полно соответствовало бы интересам предприятия. Создаваемая подушка на днище камер из рудной массы с обязательным заполнением выпускных воронок (дучек) служит этой же цели. Этот 6-метровый фильтрующий слой является изолирующим устройством, несущим на себе всю нагрузку 5-метрового гидростатического столба (первой порции раствора, подаваемой в камеру твердеющей смеси), через который из него частично отводится вода. Бетонирование устьевого части течек днища на горизонте вторичного дробления, выходящих на откаточную выработку, заканчивает сооружение этого изолирующего устройства в днище блока.

При закладке отработанных камер сыпучими смесями создаются подобные условия на лежащем боку в подэтажных выработках, где сыпучая смесь из пустой породы и забалансовой руды полностью его перекрывает навалом до 8–10 м (в зависимости от места положения выработок). Эти, созданные из пустых пород напорные и

фильтрующие изолирующие устройства наиболее дешевые. Но они могут быть применены не повсеместно, а только при условии использования в составе комбинированной закладки сыпучих смесей, при заполнении камер 2-й очереди, при отработке рудных тел вкрест простирания, а также при отработке камер по простиранию. Конструкции изолирующих перемычек, которые возможно демонтировать и переносить на другие места, имеют значительные преимущества перед применяемыми конструкциями на рудниках за счет возможности их многократного использования. Стоимость этих перемычек и их эксплуатационные расходы относятся на значительно большие объемы закладочных работ.

Очень важным фактором является длительность монтажа перемычек. Чем меньше необходимо времени для строительства перемычек, тем быстрее возможна сдача блока под ликвидацию пустот. Это возможно при условии разработки легких конструкций из спецпрофиля, способных нести нагрузки до 1 кг/см², детали которых унифицированы, быстро собираемы, легко переносимые и демонтируемые.

Авторами выполнен анализ технических решений, который представлен различными конструкциями перемычек: по назначению — глухими (водонепроницаемыми) и дренирующими; по восприятию нагрузки от закладочной смеси — натяжными, распорными, гравитационными; по конструктивным решениям — арочными, анкерными, пневматическими, комбинированными и др.; по применяемым материалам — деревянными, бетонными, железобетонными, металлическими, тросовыми, тканевыми. Эти технические решения могут быть прототипами для разработки рабочей документации на переносные многократного использования конструкции изолирующих перемычек.

При разработке переносных конструкций и стационарных перемычек необходимо учитывать особенности их нагружения — перекрывающих выработки и сдерживающих напор раствора твердеющей или гидравлической закладки. Прочность перемычки должна противостоять давлению на нее, которое зависит от высоты гидростатического столба и плотности раствора (рис. 2). Давление на вертикальную перемычку в нижней ее части максимальное, а у потолочины равно

$$P_B = \gamma(H_{г.с} - h_B), \quad (8)$$

где P_B — давление на перемычку у потолочины, МПа; γ — плотность закладочного раствора, т/м³; $H_{г.с}$ — высота гидростатического столба, м; h_B — высота выработки, м.

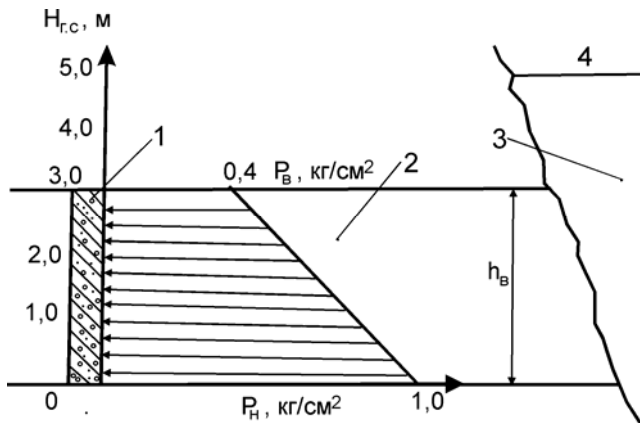


Рис. 2. Схема к определению прочности изолирующей перемычки в зависимости от высоты гидростатического столба и плотности раствора:

1 — изолирующая перемычка; 2–4 — часть выработанного пространства камеры для заполнения твердеющей закладочной смесью и требуемый уровень ее заполнения соответственно (другие обозначения — в тексте)

Согласно требованиям действующего стандарта предприятия высота гидростатического столба на уровне подошвы перемычки не должна превышать 5 м. По технологии закладку

твердеющей смеси осуществляют до уровня, превышающего высоту выработки на 2 м, из расчета, что давление на перемычку не должно превышать 0,1 МПа, а затем делают перерыв на 3–4 сут. Давление на перемычку у потолочины ниже, чем у почвы выработки ($P_в = 1$ МПа), на $\Delta p = 0,6$ МПа и равно 0,4 МПа.

Учитывая это, можно сделать вывод, что прочность перемычки по высоте может изменяться согласно эпюре и нет необходимости усиливать конструкцию в верхней части до прочности перемычки внизу, прочность конструкции перемычки по высоте может быть переменной. Это положение можно и нужно учитывать при расчете конструкций изолирующих устройств, что позволит снизить материальные затраты на их строительство. В связи с этим выполнен проверочный расчет на прочность стандартной железобетонной перемычки по типу 5 по программе, разработанной НИИ автоматизированных систем планирования и управления в строительстве (НИИАСС). В результате расчета определили, что на заданную нагрузку перемычка должна быть толщиной 250 мм и армироваться арматурой диам. 12 мм класса А-III с шагом 200 мм.

Направления дальнейших исследований

На основании многолетних исследований направление обеспечивается следующими технологическими решениями [7–10]:

- разделением рудных месторождений естественными и искусственно сооружаемыми массивами на участки, размеры которых не превышают размеров предельных пролетов зон консолидации структурных породных блоков. Это позволяет минимизировать затраты на погашение пустот изоляцией их перемычками при разработке пологих рудных тел и заполнением закладочной смесью прочностью до 1,2–3,0 МПа при разработке крутопадающих рудных тел на основе отходов собственного и смежных производств, а также дешевых местных минеральных ресурсов;

- групповой (централизованной) подготовкой эксплуатационных блоков к очистной выемке наклонными выработками (съездами) для механизации доставки горной массы, материалов и оборудования, комфортного выхода людей из забоев, совершенствования управления вентиляцией и другими технологическими процессами;
- интенсификацией производственных процессов на основе высокопроизводительной самоходной горной техники.

Таким образом, при формировании искусственного закладочного массива из комбинированной закладки с отдельной подачей составляющих компонентов высыпаемый из транспортных сосудов сыпучий материал, располагаясь на лежащем боку камеры, перекрывает подэтажные

выработки и изолирует очистное пространство от них. Для принятия решения о строительстве перемычек на пересыпанных выработках необходимой прочности и назначения обязательно обследование сложившихся условий после заполнения пустот сыпучими смесями перед дозакладкой камеры твердеющими растворами. Для снижения ущерба от разубоживания твердеющей закладкой на днище блока необходимо создание спланированной границы твердеющая смесь – рудная масса посредством разбухания и взрывания днища закладываемого блока. В результате образуется мощный слой отбитой горной массы, при этом нет необходимости в строительстве напорных перемычек, так как заходки взорваны и перекрыты. Стоимостные параметры и трудоемкость, определенные по результатам материальных и трудовых затрат при строительстве перемычек на предприятиях, являются тем уровнем, ориентируясь на который необходимо осуществлять выбор новых конструкций устройств, перекрывающих выработки. Конструкция изолирующего устройства, выполненная из пустых пород в процессе заполнения выработанного пространства сыпучими материалами и упрочненная посредством взрыва двух рядов скважинных зарядов, размещенных в потолочине выработки, представляет собой надежную перемычку на подэтажной выработке в лежачем боку и может быть рекомендована для камер вторых очередей.

Выводы

1. Разработанная комбинированная напорная перемычка, элементы которой выполнены из спецпрофиля и пневмобаллона, является переносной конструкцией многоразового использования. Масса ее не превышает 1000 кг при сечении выработки $3 \times 3 \text{ м}^2$. Рекомендуется для разработки рабочей документации, изготовления и внедрения в производство.

2. Комбинированное изолирующее устройство, предназначенное для перекрытия засыпанных сыпучей закладкой выработок, находящихся в зоне возможного проникновения твердеющей закладки или раствора с вяжущим, выполнено в виде рамы с пневмооболочкой и мо-

жет быть рекомендовано к применению как надежное средство многоразового использования.

3. Несущая фильтрующая эластичная пневмобаллонная перемычка многоразового использования, основные элементы конструкции которой изложены в а. с. 1286220 СССР, может быть рекомендована для установки в выработках, имеющих сообщение с камерой и на которых ожидаются большие нагрузки гидростатического столба гидравлической или твердеющей смеси. Такая конструкция перемычки обеспечивает отфильтровывание лишней воды из закладочного материала, обеспечивая этим ускорение процесса твердения и повышение прочности искусственного массива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Требуков, А. Л. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд [Текст] / А. Л. Требуков. — М.: Недра, 1981. — 172 с.
2. Хомяков, В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках [Текст] / В. И. Хомяков. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
3. Симаков, В. А. Обоснование эффективности выщелачивания металлов из руд [Текст] / В. А. Симаков // Горный журнал. — 1987. — № 1. — С. 24, 25.
4. Ляшенко, В. И. Совершенствование технологий и технических средств на горных предприятиях атомной энергетики СНГ [Текст] / В. И. Ляшенко // Горный журнал. — 1999. — № 12. — С. 8–11.
5. Добыча и переработка урановых руд [Текст] / Под общ. ред. А. П. Чернова. — Киев: Адеф–Украина, 2001. — 238 с.
6. Каплунов, Д. Р. К оценке эффективности освоения техногенных образований [Текст] / Д. Р. Каплунов, В. А. Юков // Маркшейдерский вестник. — 2008. — № 5. — С. 8–12.
7. Каплунов, Д. Р. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений [Текст] / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, В. А. Арсентьев [и др.] // Горный журнал. — 2012. — № 2. — С. 41–43.
8. Трубецкой, К. Н. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли [Текст] / К. Н. Трубецкой, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2012. — № 4. — С. 116–124.
9. Голик, В. И. Извлечение металлов из хвостов обогащения железных руд [Текст] / В. И. Голик, О. Н. Полухин // Цветная металлургия. — 2013. — № 4. — С. 45–50.
10. Голик, В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА [Текст] / В. И. Голик, О. Н. Полухин, А. Н. Петин, В. И. Комащенко // Горный журнал. — 2013. — № 4. — С. 91–94.
11. Ляшенко, В. И. Повышение безопасности при подземной разработке сложноструктурных месторождений [Текст] / В. И. Ляшенко // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 9. — С. 54–59.
12. Ляшенко, В. И. Природо- и ресурсосберегающие технологии подземной разработки сложноструктурных месторождений [Текст] / В. И. Ляшенко // Черная металлургия: Бюл. ин-та “Черметинформация”. — 2016. — № 12. — С. 17–25.
13. Кубарев, М. С. Методический подход к оценке эколого-экономической эффективности использования отходов [Текст] / М. С. Кубарев, В. Е. Стровский, И. В. Перегон // Изв. вузов: Горный журнал. — 2017. — № 1. — С. 31–38.
14. Ляшенко, В. И. Повышение безопасности и эффективности горного производства на основе самоходной техники [Текст] / В. И. Ляшенко, П. А. Кислый, Б. П. Кислый // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 3 (89). — С. 34–41.
15. Ляшенко, В. И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи [Текст] / В. И. Ляшенко, В. И. Голик // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 7. — С. 137–152.
16. Хоменко, О. Е. Повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии [Текст] / О. Е. Хоменко, В. И. Ляшенко // Безопасность труда в промышленности. — 2017. — № 7. — С. 20–26.
17. Hassani, F. P. Evaluation of the effect of sodium silicate addition to mine Backfill, Gelfill [Text] / F. P. Hassani, M. Benzaazoua, M. Nokken // 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul. — 2011. — V. 1. — P. 317–324.
18. Szponder, D. K. The determination of physico-chemical and mineralogical properties of fly ash used in mining industry [Text] / D. K. Szponder, K. Trybalski // 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul. — 2011. — V. 2. — P. 629–639.
19. Maanju, S. K. Impact of Mining Industry on Environmental Fabric — A Case Study of Rajasthan State in India [Text] / S. K. Maanju, K. Saha // Journal Of Environmental Science. Toxicology And Food Technology. — 2013. — V. 6. — Is. 2. — P. 8–13.
20. Chowdhury, S. R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation — an experimental study [Text] / S. R. Chowdhury, E. K. Yanful, A. R. Pratt // Environmental Science and Pollution Research. — 2014. — V. 21. — P. 10096–10107.