

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УДЕРЖИВАЮЩИХ ПЕРЕМЫЧЕК ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАКЛАДКЕ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА КАМЕР*

*В. И. ЛЯШЕНКО¹, канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского отдела, vilyashenko2017@gmail.com;
О. Е. ХОМЕНКО², д-р техн. наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений;
А. Х. ДУДЧЕНКО¹, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела
(¹ ГП “Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной
технологии”, г. Желтые Воды, Украина; ² Национальный технический университет
“Днепропетровская политехника”, г. Днепр, Украина)*

Аннотация. Приведены основные научные и практические результаты совершенствования конструкций удерживающих перемычек (изолирующих устройств) при комбинированной закладке выработанного пространства камер, обеспечивающих повышение безопасности добычи руд. Приведены особенности изоляции очистных камер с использованием сыпучей смеси в составе комбинированной закладки, выполнена оценка технико-экономических показателей, которые могут быть использованы при выборе конструкции перемычки (изолирующего устройства). Предложены новые технические решения для изоляции очистного пространства специальными удерживающими перемычками с применением конструкций многоразового использования из жестких элементов специального профиля и пневмобаллонов. Выполнены расчеты и обоснование конструкций передвижных удерживающих перемычек. Разработанные новые технические решения по различным конструкциям перемычек могут быть использованы при отработке рудных месторождений другими развитыми горнодобывающими странами.

Ключевые слова: отработка рудных месторождений; выработанное пространство; удерживающие перемычки; комбинированная закладка; безопасность добычи руд.

Ссылка для цитирования. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Дудченко А.Х. Совершенствование конструкций удерживающих перемычек при комбинированной закладке выработанного пространства камер // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 5. С. 13–22.

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]. Наиболее перспективными изолирующими устройствами отработанных камер являются конструкции, которые могут быть изготовлены на месте установки из местных материалов (пустая порода), а также конструкции многоразового ис-

пользования, позволяющие максимально упростить процесс их введения и снизить стоимость закладочных работ [6–8]. Поэтому совершенствование конструкций удерживающих перемычек (изолирующих устройств) при комбинированной закладке выработанного пространства камер, обеспечивающих повышение безопасности добычи руд на основе использования твердеющей закладки выработанного пространства очистных камер при учете возможностей сыпучей закладки заполнять подходные к камерам выработки, 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.

Теория и 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 при комбинированной закладке выработанного пространства камер на основе использования

твердеющей закладки выработанного пространства камер различного состава и прочности. Теоретические исследования проведены на основе методов математического и физического моделирования, а лабораторные исследования и промышленное внедрение — с использованием общепринятых и новых методик [16–21].

Обсуждение и оценка результатов исследований

Технология ведения закладочных работ требует выполнения ряда подготовительных мероприятий, предотвращающих проникновение закладки в подходы горные выработки, осуществляющие дренаж и отвод воды из заложеного массива. В настоящее время применяются технологии и технические средства с возведением перемычек. На шахтах ГП «Восточный горно-обогатительный комбинат» («ВостГОК»), Украина, предусмотрено применение трех видов перемычек: железобетонные, деревянные и бетонные. На данный момент применяются железобетонные перемычки для перекрытия горизонтальных выработок сечением 8–9 м² и бетонные сечением 4 м² для перекрытия рудоспусков на горизонте вторичного дробления. 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 на сечение выработки 3×3 м² потребует 3,53 м³ 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 потребует 150 кг стальной арматуры Ø25 мм и 2,8 м³ бетона при необходимости бурения 13 шпурметров 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].

Исследование и разработка переносной удерживающей (изолирующей) перемычки многоразового использования

В технологии погашения выработанного очистного пространства очень важным фактором является длительность подготовки отработанных камер к закладке. В практике работ по изоляции очистного пространства нашли широкое применение перемычки одноразового использования; первоначальная стоимость их изготовления полностью ложится на стоимость закладочных работ. При использовании таких перемычек изоляция выработанных камер занимает много времени и требует больших затрат. Как уже излагалось выше, совершенствование работ в этой

области возможно за счет разработки и применения на практике изолирующих перемычек из легких конструкций, легко монтируемых и демонтируемых, переносных, занимающих мало времени на их установку (не более 1 смены) и выполненных из минимума деталей многоразового использования, возможно комбинированных. Комбинированные перемычки могут состоять из несущих элементов, конструкции которых базируются на разных принципах их распора в перекрываемой выработке и переменной (при необходимости) прочности по высоте (рис. 1).

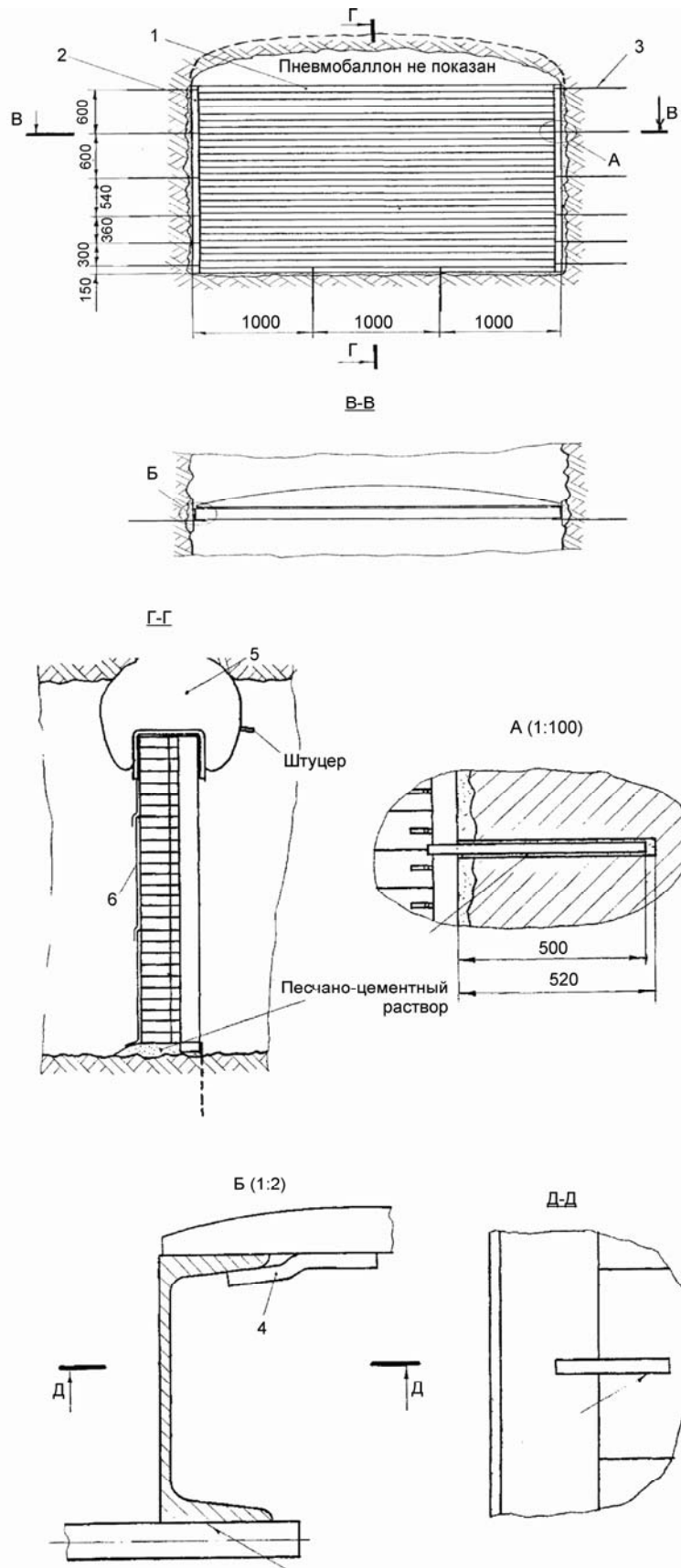


Рис. 1. Конструкция переносной удерживающей (изолирующей) перемычки многоразового использования

Fig. 1. Design of moveable holding (isolating) bridge of non-expendable usage

Новая конструкция перемычки выполнена из комплекта коробчатых балок 1, изготовленных из листовой стали толщиной 3 мм, опирающихся своими концами на общую раму 2, закрепленную к стенкам выработки штырями 3. С целью уменьшения массы балки выполнены бочкообразными, т. е. примерно равнопрочными по действующим изгибающим моментам. Балки на раме располагаются горизонтально со стороны действующих нагрузок и закреплены жесткими защелками 4. Вначале собирается рама, состоящая из трех балок-швеллеров, которые состыковываются в виде П-образной конструкции переключением вниз и прикрепленной к почве и стенкам выработки с помощью анкерных штырей. Анкерные штыри и балки рамы связаны сваркой. Зазоры между стенкой выработки и балками рамы ликвидируются с помощью их заделки цементным раствором не ниже марки 200. После закрепления рамы собираются перемычки

посредством монтажа балок. Масса одной балки не превышает 32 кг.

Число балок, монтируемых последовательно снизу вверх, равно 24. Перемычка монтируется на высоту выработки, равную 2550 мм. Остальное пространство между жесткой перемычкой и подготовленной потолочной выработкой заполняется пневмобаллонной конструкцией из мягких тканей 5. С целью обеспечения легкого демонтажа перемычки, контактирующей с закладочным материалом, ее поверхность смазывается минеральной смазкой и прокладывается мешковиной 6. Расчет балки на прочность выполнен по наибольшему давлению со стороны закладочного раствора — у подошвы выработки (1 кг/см^2). Изолирующее перекрытие конструктивно выполнено из комплекта двух опорных балок со свободно опирающимися концами на общую раму, закрепленную на стенках выработки. Балки на раме расположены горизонтально.

Исследование на прочность балки, расположенной у подошвы выработки, от изгибающих нагрузок

Распределенная нагрузка на балку определяется согласно формуле

$$q = pB, \text{ кг/см}, \quad (1)$$

где p — давление закладочного материала, кг/см^2 ; B — ширина балки, см.

Максимальный изгибающий момент на балку

$$M_{\max} = \frac{1}{8} ql^2, \text{ кг}\cdot\text{см}, \quad (2)$$

где l — длина балки, см.

Момент сопротивления балки

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}, \text{ см}^3, \quad (3)$$

где B и H — наружные габариты балки, см; b и h — внутренние габариты балки, см.

Напряжение на изгиб материала балки определяется согласно формуле

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W}, \text{ кг/см}^2. \quad (4)$$

Пример 1. Исходные данные: $p = 1 \text{ кг/см}^2$; $B = 10 \text{ см}$; $l = 300 \text{ см}$; $H = 20 \text{ см}$; $b = 9,4 \text{ см}$; $h = 19,4 \text{ см}$. Решение. Распределенная нагрузка, максимальный изгибающий момент и момент сопротивления, напряжение на изгиб материала балки согласно формулам (1)–(4) составят:

$$q = pB = 1 \times 10 = 10 \text{ кг/см}; \quad M_{\max} = \frac{1}{8} ql^2 = \frac{1}{8} \times 10 \times 300^2 = 112500 \text{ кг}\cdot\text{см};$$

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{10 \times 20^3 - 9,4 \times 19,4^3}{6 \times 20} = 94,7 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{112500}{94,7} = 1188 \text{ кг/см}^2; \quad [\sigma] = 1200 \div 1800, \text{ кг/см}^2.$$

Условие на прочность балки от изгибающих нагрузок выполняется $\sigma < [\sigma]$, так как $1188 < 1200 \div 1800$. Выбран материал балки Ст3. До-

пускается применение более прочной стали, но не выше Ст3, так как конструкция балки сварная.

Обоснование прочности балки от срезающих нагрузок

Максимальная поперечная сила у опоры балки определяется согласно формуле

$$Q_{\max} = \frac{1}{2} ql, \text{ кг.} \quad (5)$$

Площадь сечения балки

$$S = BH_0 - \epsilon h_0, \text{ см}^2. \quad (6)$$

Напряжение среза материала балки

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{S}, \text{ кг/см}^2. \quad (7)$$

Пример 2. Исходные данные: $q = 10$ кг/см; $l = 300$ см; $B = 10$ см; $H_0 = 5$ см; $\epsilon = 9,4$ см; $h_0 = 4,4$ см. *Решение.* Максимальная поперечная сила у опоры балки, площадь ее сечения и напряжение среза материала согласно формулам (5)–(7) составят:

$$Q_{\max} = \frac{1}{2} ql = \frac{1}{2} \times 10 \times 300 = 1500 \text{ кг};$$

$$S = BH_0 - \epsilon h_0 = 10 \times 5 - 9,4 \times 4,4 = 50 - 41,36 = 8,64 \text{ см}^2;$$

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{S} = \frac{1500}{8,64} = 173,6 \text{ кг/см}^2;$$

Условие на прочность балки от срезающих нагрузок выполняется, так как $\tau < [\sigma]$, что подтверждено расчетом: $173,6 < 900 \div 1300$ кг/см². Выбран материал балки Ст3. Допускается применение более прочной стали, но не выше Ст3, так как конструкция балки сварная. При указанных исходных данных масса балки не более

$$m = 2\gamma\delta l \left(B + h_0 + \frac{H - h_0}{2} \right) = \\ = 2 \times 7,8 \times 0,3 \times 300 \left(10 + 5 + \frac{20 - 5}{2} \right) = 31,6$$

где δ — толщина стенки балки, см; $\delta = 0,3$ см.

Масса конструкции перемишки в целом составляет не более 1 т. Эта комбинированная перемишка переносная, пригодна к применению в режиме высокого давления (до 1 кг/см²), а также может выполнять функции фильтрационной.

Исследование и разработка комбинированной переносной изолирующей перемишки многоразового использования для пневмобаллонных конструкций

Изолирующая перемишка предназначена для перекрытия выработок, заполненных сыпучей закладкой и находящихся в зоне прогнозированного проникновения твердеющей закладочной смеси или вяжущего раствора (рис. 2, а). Она состоит из эластичной оболочки 1, двух или трех распорных стоек 2, двух подвесных штанг 3, системы наполнения сжатым воздухом, контроля и поддержания на рабочем уровне избыточного

давления в полости оболочки 4. Оболочку перемишки изготавливают герметичной из прорезиненной ткани. Она состоит из скошенного цилиндрического участка 5 и двух торцевых примыканий. Передний торцевой участок 6 имеет выпуклую форму и оснащен патрубком 7 для подачи воздуха в полость оболочки, трех накладок 8 для крепления оболочки к распорным стойкам.

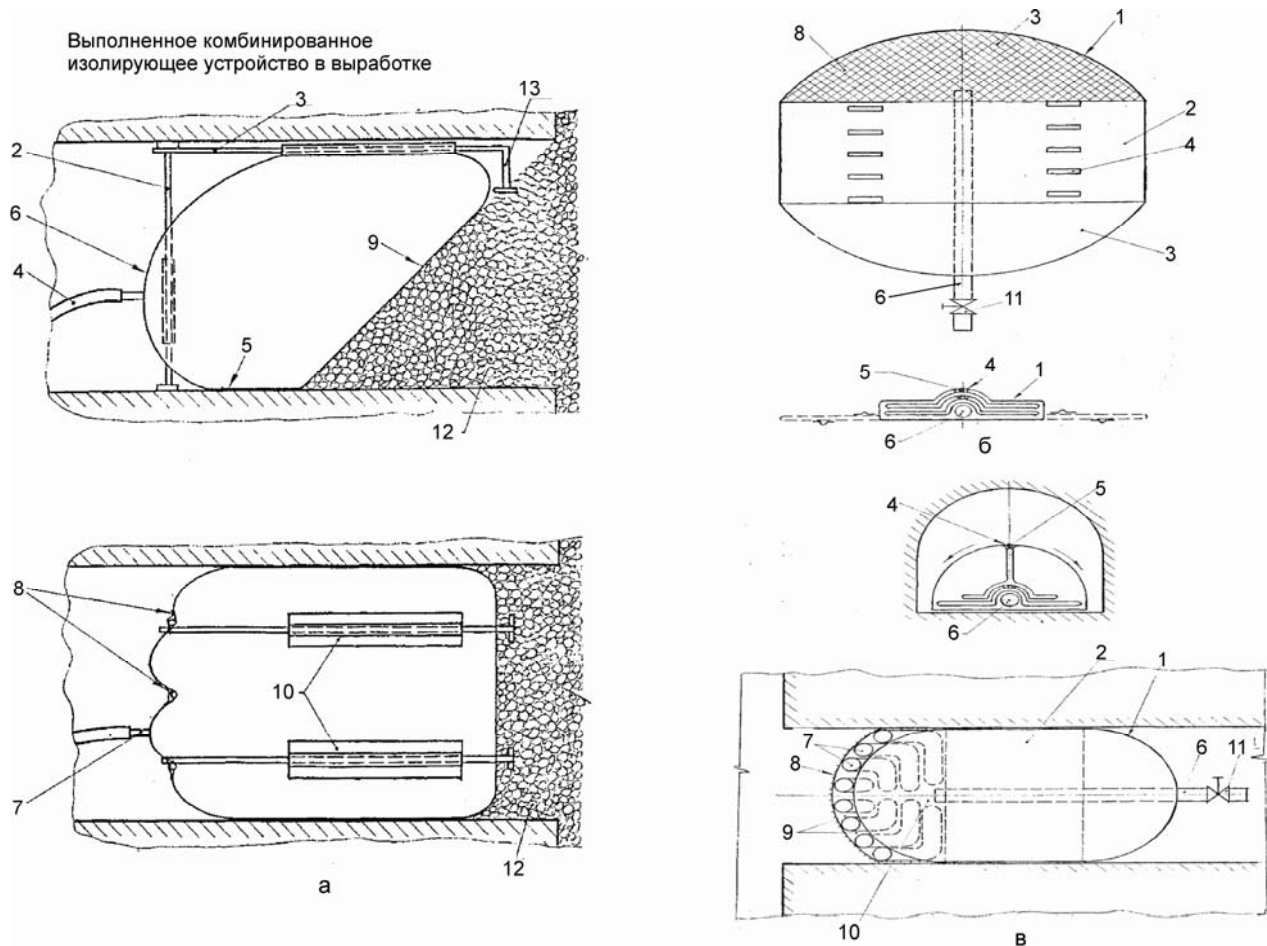


Рис. 2. Конструкции комбинированной переносной изолирующей перемычки многоразового использования для пневмобаллонных конструкций:

а — перекрытие выработок, заполненных сыпучей закладкой и находящихся в зоне прогнозируемого проникновения твердеющей закладочной смеси или вяжущего раствора; *б* — фильтрующая перемычка; *в* — с выпуском осветленной воды из камеры

Fig. 2. Design of a combined moveable isolating bridge of non-expandable usage for pneumobottle structures: *a* — excavation bridge, filled by loose stowing and hardening stowing mixture or binding solution, located in predictable penetration zone; *b* — filtering bridge; *v* — with discharging of clarified water from chamber

Заднее торцевое примыкание 9 имеет плоскую форму, поверхность которого наклонена под углом естественного откоса, образованного сыпучим материалом. Цилиндрический участок оболочки имеет скошенную форму, нижняя часть которого выдвинута вперед по отношению к верхней. Периметр поперечного сечения цилиндрического участка должен превышать периметр перекрываемой выработки. В верхней части цилиндрического участка образованы два кармана 10, в которые вводят подвесные штанги. Монтаж изолирующей перемычки в выработке осуществляется следующим образом.

Первоначально почву выработки 11 в месте установки перемычки (участок длиной 2–2,5 м от навала пород) очищают от дробленого материала до скального массива. В перекрываемой выработке на расстоянии 1,5–2,0 м от нижней

кромки породного откоса 12 устанавливают распорные стойки. Одну стойку монтируют посередине выработки, а две крайние — на удалении 70–90 см от средней. Распорные стойки надежно раскрепляют между кровлей и защищенной от раздробленной породы почвой выработки. В карманы оболочки вводят подвесные штанги и прикрепляют их одним концом к распорным стойкам. Подпорки 13, прикрепленные к противоположным концам подвесных штанг, располагают на навале сыпучего материала, обеспечивая этим примыкание подвесных штанг к кровле выработки. Переднюю торцевую поверхность оболочки с помощью накладок прикрепляют к распорным стойкам. Входной патрубок оболочки перемычки подсоединяют к наполнительной системе, сообщаемой с шахтной пневматической сетью или специальным компрессором.

После выполнения указанного комплекса подготовительных работ приступают к заполнению полости оболочки воздухом. Так как оболочка пневмоопалубки подвешена под кровлей выработки на двух подвесных штангах, то в процессе наполнения полости оболочки воздухом происходит равномерное заполнение ее по всему объему и исключается зацепление ткани за выступы стенок выработки. Цилиндрический участок оболочки полностью перекрывает сечение выработки, так как периметр поперечного сечения оболочки превышает периметр выработки. Скос задней торцевой поверхности оболочки накладывается на откос сыпучего материала закладки. Цилиндрическим участком оболочка распирается в стенки горной выработки. Передняя торцевая поверхность оболочки упирается в

распорные стойки, которые усиливают устойчивость к нагрузкам переемычки. В полости оболочки создают и постоянно, на время перекрытия выработки, поддерживают на рабочем уровне (0,01–0,04 МПа) избыточное давление воздуха.

После приобретения твердеющей закладкой распалубочной прочности и прекращения фильтрационного поступления твердеющего раствора в выработку осуществляют демонтаж изолирующей переемычки в обратной последовательности. Описанная выше конструкция изолирующей переемычки обеспечивает надежную герметизацию закладываемой камеры и исключает поступление в перекрываемую выработку вяжущего раствора и закладочного материала.

Исследование и разработка конструкции несущей фильтрующей переемычки

При заполнении выработанного пространства твердеющей или гидравлической закладкой необходимо осуществить изоляцию погашаемой камеры устойчивыми к большим нагрузкам и обладающими фильтрационными свойствами переемычками, которые устанавливают в выработках, имеющих сообщение с камерой [4]. Конструкция такой переемычки (см. рис. 2, б) состоит из эластичной оболочки 1, приспособления для пакетирования оболочки, дренажной и наполняющей систем.

Оболочка переемычки состоит из цилиндрического участка 2 и двух торцевых примыканий 3, обеспечивающих замкнутость конструкции. Оболочку изготавливают из прочной технической ткани, покрытой с двух сторон слоем резины толщиной 1–2 мм. Периметр поперечного сечения цилиндрического участка оболочки выбирают больше периметра перекрываемой выработки. Длину цилиндрического участка оболочки устанавливают из условия надежного раскрепления переемычки в выработке и противодействия выдавливающим усилиям от столба подвижной закладки. Торцевые примыкания оболочки изготавливают полусферической формы, обеспечивающей минимальные растягивающие напряжения в конструкции.

Пакетировочное устройство переемычки состоит из ограничивающих элементов 4, расположенных с наружной поверхности цилиндрического участка оболочки, и стержней 5, на которые нанизываются ограничивающие элементы. Ограничивающие элементы представляют собой ряды петель, прикрепленных к наружной поверхности цилиндрического участка оболочки вдоль ее образующей симметрично вертикальной осевой плоскости конструкции.

Отвод избыточной воды из закладочного материала осуществляют дренажной системой пе-

ремычки, состоящей из фильтрующего элемента и отводной трубы 6. Фильтрующий элемент формируют на всей полусферической торцевой поверхности оболочки. Он состоит из эластичного каркаса 7, выполненного в виде герметичных рукавов, периодически прикрепленных к торцевой поверхности оболочки. С наружной стороны эластичный каркас обтянут фильтровальной сеткой 8, обеспечивающей отвод воды и задерживающей твердые составляющие закладочного материала. В результате такого формирования фильтрующего элемента по всей поверхности торцевого участка будут образованы каналы 9, сообщающиеся в нижней части оболочки и создающие узел 10 для сбора воды, дренируемой из закладки. Отводная труба дренажной системы расположена в нижней части переемычки, сообщается одним концом со сборным узлом, а другим выступает за пределы передней торцевой поверхности оболочки. Отводная труба обеспечивает перепуск дренируемой из закладочного материала воды через переемычку и оснащена заслонкой 11.

Перед каждой установкой переемычки в выработке осуществляют пакетирование оболочки. Для этого из оболочки и эластичного каркаса удаляют воздух. Оболочку с раскрытыми ограничивающими элементами расстилают на горизонтальном основании отводной трубой книзу. Ближайшие к серединной плоскости оболочки пары рядов ограничивающих элементов сводят к осевой плоскости, а петли поочередно нанизывают на стержень. Таким образом осуществляют несколько этапов (два или три) пакетирования оболочки. Спакетированную оболочку стягивают ремнями с ручками для транспортирования. В таком виде оболочку доставляют механическим или ручным способом в перекрываемую выработку.

В месте установки перемычки подошву выработки очищают от раздробленной горной массы до скального массива. Спакетированную оболочку располагают на очищенном участке выработки вдоль ее осевой линии. При этом оболочку ориентируют таким образом, чтобы фильтрующий элемент был направлен в сторону погашаемой камеры, а закрытые ограничивающие элементы пакетировочного устройства кверху. Оболочку освобождают от ремней. Рукава наполняющей системы перемычки подсоединяют к входным патрубкам оболочки и эластичного каркаса фильтрующего элемента. Затем в полость оболочки нагнетают воздух. При достижении оболочкой выполненного состояния осуществляют раскрытие верхнего ограничивающего элемента путем извлечения стержня из петель. В результате этого зарезервированные участки полотна оболочки освобождаются. При дальнейшем наполнении полости оболочки воздухом происходит разворачивание ее цилиндрического участка от середины к краям. Периметр цилиндрического участка увеличивается на величину запакетированного полотна. Ткань оболочки плавно облегает неровности стенок выработки. В результате этого обеспечивается полное перекрытие оболочкой сечения выработки. Затем наполняют воздухом рукава эластичного каркаса и доводят давление в них до рабочего уровня. Полость оболочки наполняют воздухом до рабочего уровня, составляющего 0,05–0,07 МПа. Отвод-

ную трубу дренажной системы перекрывают заслонкой.

Заполнение камеры закладочным материалом осуществляют после того, как убедятся в надежной работе всех систем фильтрующей перемычки. Подачу твердеющей закладочной смеси в камеру прекращают после перелива уровня почвы выработки на 1–2 м. После осадения твердого материала в верхнем слое закладки открывают заслонку отводной трубы и выпускают осветленную воду из камеры (см. рис. 2, в). Затем продолжают заполнять камеру закладочным материалом с отводом лишней воды через дренажную систему. Поступление закладочного материала в камеру прекращают после перелива кровли выработки на 1–2 м. Такое состояние закладочных работ сохраняют в течение нескольких дней, до момента потери закладочным материалом подвижности и приобретения необходимой прочности. Во время выполнения указанных работ в полостях оболочки и эластичного каркаса поддерживают на рабочем уровне избыточное давление воздуха с помощью наполняющей системы. После приобретения искусственным массивом распалубочной прочности из оболочки и эластичного каркаса выпускают воздух, а перемычку отсоединяют от наполняющей системы. В процессе опорожнения полости оболочки осуществляют ее пакетирование. Стянутую ремнями спакетированную оболочку доставляют к новому месту установки.

Перспективные направления исследований

Традиционные технологии разработки рудных месторождений, развивающиеся с учетом охраны недр, окружающей природной среды и человека, по мнению авторов, должны совершенствоваться в следующих направлениях.

1. Создание и внедрение природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств для систем разработки с заполнением выработанного пространства закладочными материалами различного состава и прочности, с изоляцией пустот, а также комбинированных технологий.

2. Снижение потерь и разубоживания руды. Это направление реализуется путем бурения вертикальных или близких к ним по направлению взрывных скважин на контакте с закладочным массивом; применения системы разработки с поэтажной выемкой и твердеющей закладкой, гибких разделяющих перекрытий и предварительного заиливания; укрепления вмещающих пород и участков вблизи тектонических нарушений взрывоинъекцией и армирующими элементами с использованием энергии взрыва; отбойки и магазинирования руды под наносами, которые снимают лишь на период выпуска руды, после чего выработанное пространство закладывают и

восстанавливают рыхлые отложения; выпуска замагазинированной руды под искусственной потолочной, которую создают из твердеющей смеси или упрочненных горных пород, включая армирование и замораживание.

Таким образом, изоляцию камеры, погашаемой твердеющей или гидравлической закладкой от горных подходов выработок, в условиях действующих и проектируемых предприятий ГП «ВостГОК» целесообразно осуществлять фильтрующей цельнооболочной эластичной перемычкой, оболочка которой имеет следующие геометрические параметры. Радиус и длина цилиндрического участка составляют 1,8 и 2,6 м соответственно. Общая длина оболочки (расстояние между полюсами торцевых участков) — 6,2 м. Избыточное давление воздуха в полости оболочки должно превышать величину 0,031 МПа. При формировании искусственного закладочного массива из комбинированной закладки с раздельной подачей составляющих компонентов сыпучий материал, располагаясь на лежащем боку камеры, перекрывает подэтажные выработки, при этом изолирует очистное пространство от них.

Выводы

1. Разработана комбинированная напорная перемычка, элементы которой выполнены из спецпрофиля и пневмобаллона, она 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. Рекомендована фильтрующая цельнооболочная эластичная перемычка, оболочка которой имеет радиус и длину цилиндрического участка 1,8 и 2,6 м соответственно. Общая длина оболочки (расстояние между полюсами торцевых участков) — 6,2 м. Избыточное давление воздуха

в полости оболочки должно превышать величину 0,031 МПа. Комбинированное изолирующее устройство, выполненное в виде рамы с пневмооболочкой, может быть рекомендовано к применению как надежное средство многоразового использования.

3. Предложенная несущая фильтрующая эластичная пневмобаллонная перемычка многоразового использования с полостью оболочки, наполненной воздухом, до рабочего уровня 0,05–0,07 МПа обеспечивает отфильтровывание лишней воды из закладочного материала, тем самым ускоряя процесс твердения и повышая прочность искусственного массива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мясников К.В., Руденко В.В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. — М.: Недра, 1964. — 160 с.
2. Требуков А.Л. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. — М.: Недра, 1981. — 172 с.
3. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
4. Рахутин В.С., Хмарский В.В., Андронов А.А. и др. Пневматическая закладочная перемычка // Горный журнал. 1986. № 9. С. 32, 33.
5. Закладочные работы в шахтах: справочник / Д.М. Бронников, М.Н. Цыгалов, М.И. Весков, Н.Ф. Замесов; под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. — М.: Недра, 1989. — 400 с.
6. Ляшенко В.И. Совершенствование технологий и технических средств на горных предприятиях атомной энергетики СНГ // Горный журнал. 1999. № 12. С. 8–11.
7. Добыча и переработка урановых руд / Под общ. ред. А.П. Чернова. — Киев: Адеф–Украина, 2001. — 238 с.
8. Зинченко А.В. Оценка нагрузок на перемычки при закладке отработанных камер отходами обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 6. С. 268–271.
9. Каплунов Д.Р., Юков В.А. К оценке эффективности освоения техногенных образований // Маркшейдерский вестник. 2008. № 5. С. 8–12.
10. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Арсентьев В.А. и др. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений // Горный журнал. 2012. № 2. С. 41–43.
11. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 4. С. 116–124.
12. Ляшенко В.И. Повышение безопасности при подземной разработке сложноструктурных месторождений // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 54–59.
13. Ляшенко В.И. Природо- и ресурсосберегающие технологии подземной разработки сложноструктурных месторождений // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. № 12. С. 17–25.
14. Кубарев М.С., Стровский В.Е., Перегон И.В. Методический подход к оценке эколого-экономической эффективности использования отходов // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 1. С. 31–38.
15. Ляшенко В.И., Голик В.И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. С. 137–152.
16. Хоменко О.Е., Ляшенко В.И. Повышение безопасности добычи руд на основе использования геознергии // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 7. С. 20–26.
17. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Дудченко А.Х. Повышение безопасности добычи руд на основе использования комбинированной закладки выработанного пространства камер // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 3. С. 17–25.
18. Hassani F.P., Benzaazoua M., Nokken M. Evaluation of the effect of sodium silicate addition to mine Backfill, Gelfill // 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul. 2011. Vol. 1. P. 317–324.
19. Szponder D.K., Trybalski K. The determination of physico-chemical and mineralogical properties of fly ash used in mining industry // 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul, 2011. Vol. 2. P. 629–639.
20. Maanju S.K., Saha K. Impact of Mining Industry on Environmental Fabric — A Case Study of Rajasthan State in India // Journal Of Environmental Science. Toxicology And Food Technology. 2013. Vol. 6. Is. 2. P. 8–13.
21. Chowdhury S.R., Yanful E.K., Pratt A.R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation — an experimental study // Environmental Science and Pollution Research. 2014. Vol. 21. P. 10096–10107.

DESIGN IMPROVEMENT OF THE HOLDING BRIDGE STRUCTURE WHILE IN COMBINED BACKFILLING OF THE MINED-OUT SPACE OF CHAMBERS

V. I. LYASHENKO¹, PhD (Tech), Head of Research Department, vilyashenko2017@gmail.com;

O. E. KHOMENKO², HD (Tech), Professor of Department of Deposits Mining;

A. KH. DUDCHENKO¹, Senior Research Assistant of Research Department

(¹ GP "Ukrainian Research, Designing and Survey Institute of Industrial Technology", Zheltye Vody, Ukraine);

² National Technical University "Dneprovskaya Polytechnika", Dnepr, Ukraine)

Abstract. Main scientific and practical results of the design improvement of the holding bridge structure (isolating elements) while in combined backfilling of the mined-out space of chambers, that provides safety betterment while in ores mining. Peculiarities of stowing isolation while in utilization of loose mixture within a combined stowing presented, estimation of technical and economic indices made, which can be used while selecting bridge structure (isolating element). New technical solution proposed for isolation of mined-out space by special holding bridges using non-expendable structures made of rigid elements of special profile and pneumobottles. Calculation and basis made for structures of moveable holding bridges. New technical solutions developed for different structures of bridges can be used for ore deposits mining by other developed mining countries.

Key words: ore deposits mining, mined-out space; holding bridges; combined backfilling; ore mining safety.

For citation. Lyashenko V.I., Khomenko O.E., Dudcheko A.Kh. Design improvement of the holding bridge structure while in combined backfilling of the mined-out space of chambers. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii.* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information.* 2018, no. 5, pp. 13–22. (In Russ.).

REFERENCES

1. Myasnikov K.V., Rudenko V.V. *Primenenie tverdeyushhej zakladki pri razrabotke rudny'x mesto-rozhdenij* [Application of hardening stowing at ore deposits mining]. Moscow: Nedra, 1964, 160 p. (In Russ.).
2. Trebukov A.L. *Primenenie tverdeyushhej zakladki pri podzemnoj doby'che rud* [Application of hardening stowing at underground ores mining]. Moscow: Nedra, 1981, 172 p. (In Russ.).
3. Xomyakov V.I. *Zarubezhny'j opyt zakladki na rudnikax* [Foreign experience of stowing at ore mines]. Nedra, 1984, 224 p. (In Russ.).
4. Rahutin V.S., Hmarskiy V.V., Andronov A.A., Volkov Yu.V., Gor'kov A.S., Kutenev V.S. Pneumatic filling jumper. *Gornyj zhurnal.* 1986, no. 9, pp. 32, 33. (In Russ.).
5. Bronnikov D.M., Cygalov M.N., Veskov M.I., Zamesov N.F. *Zakladochny'e raboty v shaxtax: spravochnik* [Stowing operations in mines]. Bronnikov D.M., Cygalov M.N. ed. Nedra, 1989, 400 p. (In Russ.).
6. Lyashenko V.I. Improving of technologies and technical means at mining plants of nuclear power industry of CIS. *Gornyj zhurnal.* 1999, no. 12, pp. 8–11 (In Russ.).
7. *Doby'cha i pererabotka uranovy'x rud* [Mining and processing of uranic ores]. Chernov A.P. ed. Kiev: Adef–Ukraine, 2001, 238 p.
8. Zinchenko A.V. Estimation of loads at bridges when stowing the mined-out chambers by concentration wastes. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'.* 2004, no. 6, pp. 268–271. (In Russ.).
9. Kaplunov D.R., Yukov V.A. Estimation of efficiency of man-caused formations mastering. *Markshejderskij vestnik.* 2008, no. 5, pp. 8–12. (In Russ.).
10. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Arsent'ev V.A., Kvitka V.V., Mannanov R.Sh. A new technology and equipment for high efficiency backfilling of mined-out space in underground deposits mining. *Gornyj zhurnal.* 2012, no. 2, pp. 41–43. (In Russ.).
11. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. Problems and prospective of development of resources saving geotechnologies of complex mastering of the Earth interior. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki polezny'x iskopaemy'x.* 2012, no. 4, pp. 116–124. (In Russ.).
12. Lyashenko V.I. Increasing of safety during underground mining of deposits with complicated structure. *Bezopasnost' truda v promy'shlennosti.* 2014, no. 9, pp. 54–59. (In Russ.).
13. Lyashenko V.I. Environment and resources saving technologies of underground mining deposits with complicated structure. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information.* 2016, no. 12, pp. 17–25. (In Russ.).
14. Kubarev M.S., Strovsky V.E., Peregon I.V. Methodic approach to estimation environment and economical efficiency of wastes utilization *Izvestiya VUZov. Gornyj zhurnal.* 2017, no. 1, pp. 31–38. (In Russ.).
15. Lyashenko V.I., Golik V.I. Scientific, designing and information provision of uranium production development. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'.* 2017, no. 7, pp. 137–152. (In Russ.).
16. Xomenko O.E., Lyashenko V.I. Increasing of safety of ores mining based on geoenergy utilization. *Bezopasnost' truda v promy'shlennosti.* 2017, no. 7, pp. 20–26. (In Russ.).
17. Lyashenko V.I., Xomenko O.E., Dudchenko A.Kh. Safety increasing of ores mining based on use of combined backfilling of mined-out chamber spaces. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information.* 2018, no. 3, pp. 6–14. (In Russ.).
18. Hassani F.P., Benzaazoua M., Nokken M. Evaluation of the effect of sodium silicate addition to mine Backfill, Gelfill. 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul. 2011, vol. 1. pp. 317–324.
19. Szponder D.K., Trybalski K. The determination of physico-chemical and mineralogical properties of fly ash used in mining industry. 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul, 2011, vol. 2. pp. 629–639.
20. Maanju S.K., Saha K. Impact of Mining Industry on Environmental Fabric — A Case Study of Rajasthan State in India. *Journal of environmental science. Toxicology and food technology.* 2013, vol. 6, no. 2, pp. 8–13.
21. Chowdhury S.R., Yanful E.K., Pratt A.R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation — an experimental study. *Environmental science and pollution research.* 2014, vol. 21, pp. 10096–10107.