ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(6):133-144
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.27 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_133

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ДОЗАКЛАДКЕ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

М.А. Васильева[1], А.А. Волчихина[1], М.Д. Морозов[2]

[1] Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: saturn.sun@mail.ru
[2] АО «Полиметалл УК», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Добыча подземным способом сопровождается изменением напряженно-деформированного состояния горного массива, связанного с образованием пустот после отработки. При заполнении отработанных камер закладочной смесью неизбежно образуются пустоты между кровлей выработки и поверхностью закладочного массива, что приводит к негативным последствиям. Эффективность применения существующих методов ликвидации недозаклада сильно ограничена вследствие конструктивных особенностей и принципа работы, существенно ограничивающих их применимость. Проведен анализ эффективности применения существующего мобильного оборудования для проведения работ по закладке выработанного пространства. Обосновано применение в качестве оборудования для ликвидации недозаложеных полостей разработанной в Санкт-Петербургском горном университете мобильной закладочной установки, позволяющей одновременно проводить регулируемую в широком диапазоне производительности подачу закладочной смеси, а также осуществлять сгущение гидросмеси до требуемых параметров. В качестве насосного оборудования предложено использование магнитного насосного агрегата перистальтического действия, осуществляющего транспортирование высококонцентрированных веществ с низким напряжением сдвига. Представлены результаты исследования функционирования разработанного оборудования, выполненного с применением модели многофазного расчета потоков в Ansys Fluent.

Ключевые слова: закладочный комплекс, мобильное оборудование, недозаложенные полости, расходно-напорные характеристики, концентрация, сгущение, бетононасос, перистальтический насос, регулятор подачи.

Благодарность: Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 19-79-10151.

Для цитирования: *Васильева М. А., Волчихина А. А., Морозов М. Д.* Оборудование и технологии для проведения работ по дозакладке выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 6. – С. 133–144. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_133.

Re-backfill technology and equipment

M.A. Vasilyeva[1], A.A. Volchikhina[1], M.D. Morozov[2]

[1] Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: saturn.sun@mail.ru
[2] JSC «Polymetal UK», Saint-Petersburg, Russia

© М.А. Васильева, А.А. Волчихина, М.Д. Морозов. 2021.

Abstract: Underground mining operations alter the stress–strain behavior of rock mass because of generation of mined-out voids. After backfill, voids inevitably remain between the stope roof and backfill mixture surface, which leads to negative consequences. Efficiency of the current methods of under-backfill elimination is limited due to design features of stopes and modes of operations, which essentially confine applicability of these methods. This article analyzes efficiency of the existing mobile equipment available for backfilling. The authors validate re-backfill of under-filled voids using the mobile backfill plant designed at the Saint-Petersburg Mining University. This plant allows wide-range adjustability of backfill feed and thickening of slurry to the required parameters. The pumping equipment can be a peristaltic magnetic pump unit capable to transport highly concentrated substances at low shearing stresses. The studies of the developed equipment performance using the multiphase flow model in AnsysFluent are presented in the article.

Key words: backfill plant, mobile equipment, under-filled voids, head and flow characteristics, concentration, thickening, concrete pump, peristaltic pump, feed regulator.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, grant 19-79-10151.

For citation: Vasilyeva M. A., Volchikhina A. A., Morozov M. D. Re-backfill technology and equipment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(6):133-144. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_133.

Введение

Анализ отечественного и зарубежного опыта применения техники и технологий закладки (дозакладки) выработанного пространства при отработке рудных тел с углом падения от 10 — 15° до 30° позволяет сформулировать принципиальную схему (алгоритм) производства работ (рис. 1):

Этап 1. ПДМ производится отгрузка породной закладки из штрека 2 в область выработанного пространства. Далее выполняется доведение закладочного материала до основания отработанной камеры (блока) и его последующее возведение под кровлю выработки с помощь низкопрофильного роботизированного бульдозера типа DOK-ING (Хорватия).

Этап 2. Продолжается заполнение выработанного пространства. Процесс оканчивается в момент формирования породной закладки под углом 30° (предельный угол работы низкопрофильного бульдозера) и соединения угла естественного откоса с сопряжением штрека 2. С целью исключения разрушения (обрушения) налегающих пород и возникновения предельно допустимых зон повышенного давления над краевыми частями массива горных пород рекомендуется на стадии этапа 2 производить заполнение неизбежно образующегося недозаклада твердеющими смесями с помощью закладочного оборудования по временно монтируемому гибкому закладочному трубопроводу.

Этап 3. На заключительном этапе формируется закладочная перемычка и производится дозакладка оставшихся пустот твердеющими материалами с использованием оборудования, оснащенного системой регулировки и контроля подачи закладочной смеси.

Методы и описание

Рассмотрение существующих принципиальных схем дозакладки выработ-

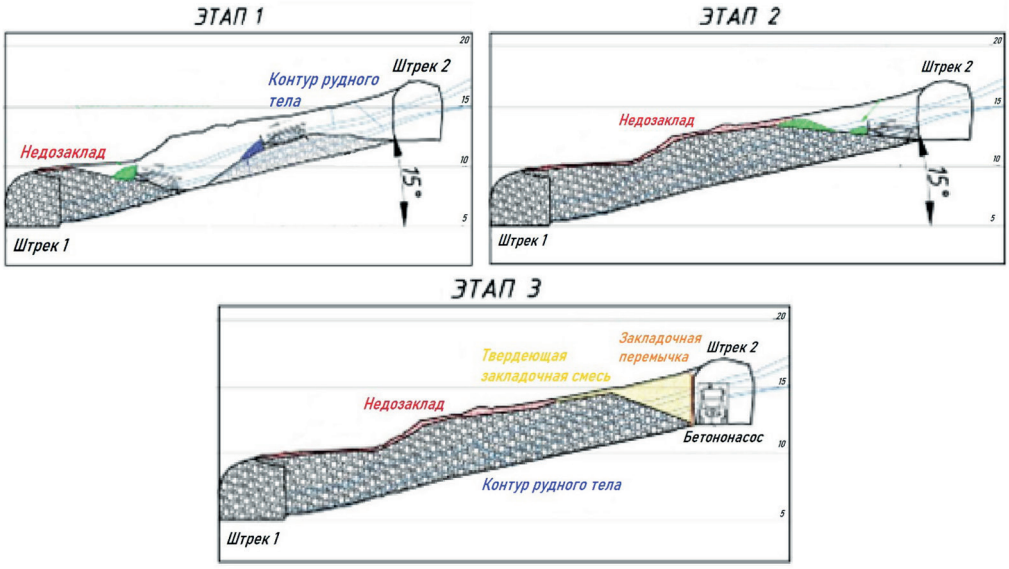


Рис. 1. Алгоритм поэтапной закладки выработанного пространства
Fig. 1. Staged backfilling algorithm

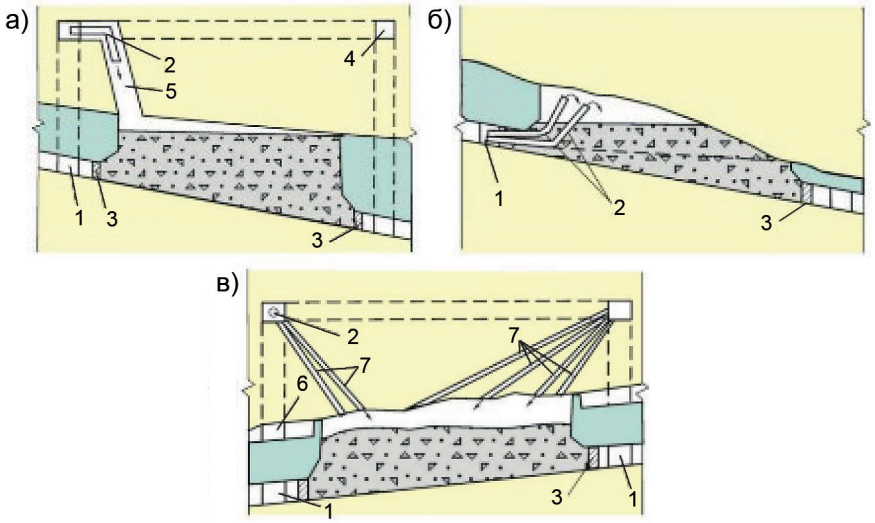


Рис. 2. Технологические схемы дозакладки пустот в различных горно-геологических условиях: 1 — транспортный штрек; 2 — закладочный трубопровод; 3 — изолирующие перемычки; 4 — вентиляционно-закладочные штреки; 5 — вспомогательные закладочные выработки; 6 — подэтажный штрек; 7 — скважины

Fig. 2. Flow charts of void re-backfill in different geological conditions: 1 — haulage drift; 2 — backfill pipeline; 3 — isolation partitions; 4 — ventilation and backfill drifts; 5 — auxiliary backfill openings; 6 — sublevel drift; 7 — boreholes

танного пространства в различных горнотехнических ситуациях позволяют сделать вывод, что выбор той или иной схемы в каждом конкретном случае зависит от горно-геологических условий, параметров закладываемых полостей и фактически имеющейся сети горных выработок на рассматриваемом участке (рис. 2) [1—4].

При использовании схем, представленных на рис. 2, твердеющие закладочные смеси подаются в выработанное пространство:

- через специальные вспомогательные закладочные выработки, пройденные с вышележащего горизонта (рис. 2, *а*);
- по трубам, расположенным в выработках отрабатываемого горизонта (рис. 2, *б*);
- по скважинам, пробуренным из выработок вышерасположенного горизонта (рис. 2, *в*).

Полнота закладки очистного (выработанного) пространства с большей вероятностью обеспечивается при:

- оформлении кровли и почвы выработанного пространства в соответствии с углами растекания закладочной смеси, составляющими 4—7° и более;
- подаче смеси в высшую точку кровли закладываемого очистного пространства через скважины, пробуренные с закладочного горизонта, или по наклонному трубопроводу, проложенному непосредственно в выработанном пространстве;
- закладке камер со слабонаклонной кровлей участками длиной 8—10 м в отступающем порядке через трубопроводы, выводимые за перемычки (рис. 3).

Для повышения полноты закладки также применяются различные мобильные закладочные комплексы, располагающиеся в выработках в непосредственной близости к месту проведения работ [5—8].

Бетононасосы положительно зарекомендовали себя при ведении закладочных работ и дозакладке образующихся пустот твердеющими смесями на многих месторождениях. Основными производителями бетононасосов являются компании: SERMAC, CIFA, «Стройпарк» и т.д.

Применение данного оборудования обусловлено заявляемыми низкими энергозатратами, мобильностью, а также теоретической возможностью обеспечения полного заполнения очистной заходки или выработанного пространства посредством операции инъектирования гидросмеси. Однако его гидравлическая система, чаще всего одноконтурная, не позволяет проводить регулировку производительности в широких пределах, и поршневой насос всегда работает на пике своих возможностей, быстро выходя из строя.

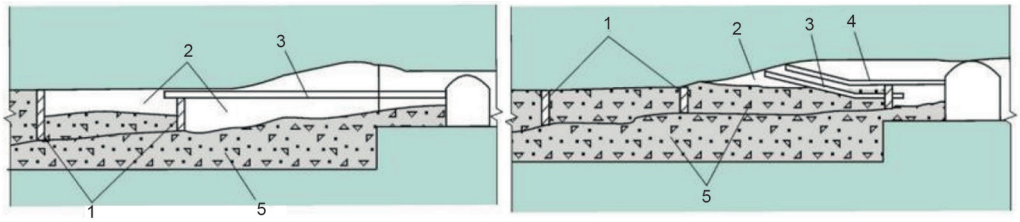


Рис. 3. Закладка камер в отступающем порядке через трубопроводы: 1 — изолирующие перемычки; 2 — дозакладываемое выработанное пространство; 3 — закладочный трубопровод; 4 — воздухоотводящий трубопровод; 5 — закладочный массив

Fig. 3. Retreat backfill via pipelines: 1 — partitions; 2 — mined-out void to be re-filled; 3 — backfill pipeline; 4 — air offtake; 5 — backfill

Также принимая во внимание реологические свойства перекачиваемого вещества, а именно то, что гидросмесь является дилатантной жидкостью, такое оборудование имеет существенные ограничения по максимальной концентрации последней. Это объясняется степенным законом изменения диапазона скоростей сдвига: с увеличением концентрации твердого вещества в гидросмеси и скорости воздействия на нее нелинейно возрастают силы внутреннего сопротивления сдвигу вещества.

Торкрет-установки также осуществляют подачу закладочной смеси в выработку с помощью трубопровода, что способствует заполнению полостей в выработке. При заполнении недозакладa используется технология сухого торкретирования — подача сухой смеси, которая соединяется с водой непосредственно в распылителе в процессе работ по торкретированию набрызг-бетоном.

Торкрет-установка обладает относительно небольшими габаритами, износостойкостью и низким уровнем энергозатрат. Преимуществом работы данного оборудования является возможность подачи массы на большие расстояния.

Из недостатков данного оборудования стоит отметить: ограниченность в маневренности из-за небольшой длины шланга, по которому поступает смесь; скорость выбрасываемой смеси может достигать 130 м/с, что способствует отскоку поступающего потока от стен камеры или нижележащих слоев. При отскоке части закладочной смеси она может оказаться за пределами выработки, что приводит к потерям до 10 — 25% смеси.

Для проведения закладочных и дозакладочных работ также существуют метательные закладочные машины. В нижней части кузова находится люк, через который пустая порода попадает в метательное устройство, выбрасывающее закладочный материал. Положительной стороной метательной закладки является получение закладочного массива с достаточно высоким заполнением выработанного пространства как твердеющей, так и породной закладкой. Однако, как показывает практический опыт, метательные закладочные машины для дозакладки не пригодны.

На практике использование ленточно-лопастных метателей оборудования требует постоянного обслуживания, центрирования ленты и корректировки ручного механизма изменения угла выброса закладочного материала. Конструктивно более простыми и надежными в эксплуатации являются метатели роторного типа. Однако стоит отметить, что они нашли применение в основном при работе в закладочном комплекте лавы с селективной выемкой сильвинита для равномерного заметывания прослойки вмещающей пустой породы в закладочное пространство на калийных рудниках).

Сводная таблица основных параметров и технических характеристик мобильного оборудования, применяемого при проведении работ по дозакладке выработанного пространства, представлена в таблице.

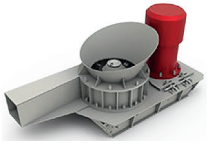
Обсуждение

Недостатком имеющихся способов закладки выработанных пространств является тот факт, что при их реализации не обеспечивается полное заполнение закладочным материалом. Следует также отметить, что при осуществлении известных способов между кровлей выработанного пространства и закладочным массивом, как правило, образуется недозаклад [9].

Основными причинами недозакладa являются:

1. Технические трудности полного заполнения слабонаклонного выработанного пространства закладочным материалом.

Технические характеристики мобильного оборудования, применяемого для закладочных работ выработанного пространства
Specifications of mobile backfill equipment

Тип оборудования	Марка	Тип закладки	Производительность, м³/ч	Давление, МПа	Мощность двигателя, кВт	Объем загрузочного бункера, л	Подача горизонтальная/вертикальная, м	Размеры длина-ширина-высота, мм	Масса, кг
Бетононасос	SERMAC (SCL120C)	твердеющая	79 – 120	8,1/13,7	160	600	–		
	CIFA (PC907/612)		87/56	7,3/11,6	118/110	450	500/120	5332-1850-2471	4990
	SANY (HBT60C-1413D)		65/40	8/13	115	600	400/100	6691-2068-2607	6100
Торкрет машина	TORNADO AC-6	твердеющая	7	0,5	15	140	200/100	2500-1100-1450	1200
	СО-49ПБН		4	1,5	4,25	150	120/50	1600-500-1025	230
	SPG-6		6	0,2 – 0,4	5,5	150	200/40	520-820-1280	700
Метательная машина 	МЗК «Универсал»	сухая	300	25	75/90/110	–	10	2840-1190-1653	2600

2. Организационные причины, человеческий фактор, культура производства.

3. «Усадка» закладочного массива с течением времени под действием сил собственного веса.

Наличие незаложенных пустот (полостей) между кровлей и закладочным массивом может приводить:

1. К неоднократным опусканиям подрабатываемого массива горных пород, увеличению степени разрушения подрабатываемых массивов.

2. К возникновению зон повышенного горного давления над краевыми частями массива горных пород, следствием чего является увеличение вероятности самопроизвольных обрушений кровли в периоды ведения в них горных работ.

Одним из наиболее распространенных методов обеспечения эффективности работ по дозакладке выработанного пространства является применение смесей повышенной пластичности, которая достигается за счет увеличения расхода вяжущего и воды [10—12]. Однако это приводит к удорожанию работ, а также к возрастанию рисков прорыва воды и обрушения из-за сильного обводнения выработок [13].

Предложения

В Санкт-Петербургском горном университете разработана конструкция мобильной закладочной установки (МЗУ), защищенная рядом патентных свидетельств, предназначенная для проведения работ по закладке (дозакладке) выработанного пространства твердеющими смесями с одновременным сгущением закладочной пульпы и отводом отработанной воды для ее повторного применения [14—16]. Транспортирование сгущенной пульпы в выработанное пространство осуществляется магнитным перистальтическим насосом.

Работает установка следующим образом: поступающая в резервуар исходная пульпа сталкивается с отклоняющим гидродинамическим профилем (рис. 4). Твердые частицы при этом замедляют свое движение и оседают на дно резервуара. Часть более мелких частиц может быть захвачена потоком и столкнуться с цилиндрическим гидродинамическим профилем, который также снижает скорость движения твердых частиц, вынуждая их оседать на дно резервуара. Поток образовавшейся осветленной воды направляется к выпускному патрубку, где поточный плотномер *6* замеряет параметры осветленной воды и передает сведения на регулятор подачи магнитного перистальтического насоса *8*.

Если в осветленной воде отмечается относительно высокое содержание твер-

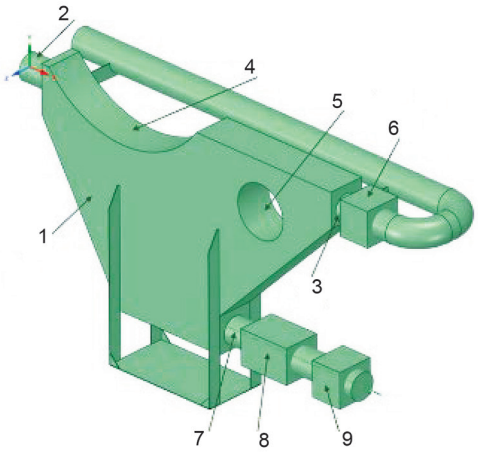


Рис. 4. Мобильная закладочная установка: 1 — центральный резервуар; 2 — впускной патрубок; 3 — выпускной патрубок; 4 — отклоняющий гидродинамический профиль; 5 — цилиндрический гидродинамический профиль; 6 — ультразвуковой поточный плотномер; 7 — патрубок для сгущенной смеси; 8 — перистальтический насос; 9 — ультразвуковой поточный плотномер

Fig. 4. Mobile backfill plant: 1 — central reservoir; 2 — inlet pipe; 3 — outlet pipe; 4 — deflection hydrodynamic profile; 5 — cylindrical hydrodynamic profile; 6 — ultrasonic continuous density detector; 7 — thickened mixture pipe; 8 — peristaltic pump; 9 — continuous ultrasonic density detector

дых частиц, регулятор подачи передает сигнал на активатор магнитного перистальтического насоса, увеличивая его производительность. При снижении концентрации закладочной смеси, замеряемой поточным плотномером 9, поточный регулятор передает сигнал о снижении производительности перистальтического насоса, что приводит к повышению концентрации закладочной смеси на выходе из трубопровода [17 — 19].

Для оценки работоспособности установки и определения картины движения твердых частиц закладочной смеси в мобильном дозакладочном устройстве была настроена модель многофазного расчета потоков в Ansys Fluent. Построение картины в расчетной области (рис. 5) выполнено при следующих начальных условиях:

- скорость потока во входном патрубке v_i = 5,5 м/с;
- массовая доля частиц во входящем потоке M_i = 233,15 кг/с;
- давление на входе в резервуар МЗУ P_i = 500 Па.

Характер картины распределения массовой доли частиц в расчетной области соответствует представлению о механизме работы МЗУ:

- однородный гетерогенный поток с начальными параметрами поступает в резервуар и взаимодействует с первым гидродинамическим профилем (область A);
- часть твердых частиц смеси теряют скорость и оседают на направляющую поверхность (область B);
- часть частиц сохраняют скорость потока и при дальнейшем движении сталкиваются со вторым гидродинамическим профилем, теряют скорость и оседают на стенки и дно резервуара (область C);
- в нижней части резервуара образуется слой сгущенной смеси, которая направляется в перистальтический насос (область D).

Анализ картины распределения векторов скоростей воды в расчетной области полностью соответствует теоретическим расчетам величин скорости частиц и направлениям основного потока их движения. Разработанная модель позволяет провести численный эксперимент с целью установления закономерностей влияния факторов на основные показатели процесса и выявления их рациональных значений.

Место размещения МЗУ определяется объемом и пространственным расположением пустот, интенсивностью и направлением развития горных работ. В случае возможности получения непосредственного доступа к закладываемым пустотам местом размещения МЗУ мо-

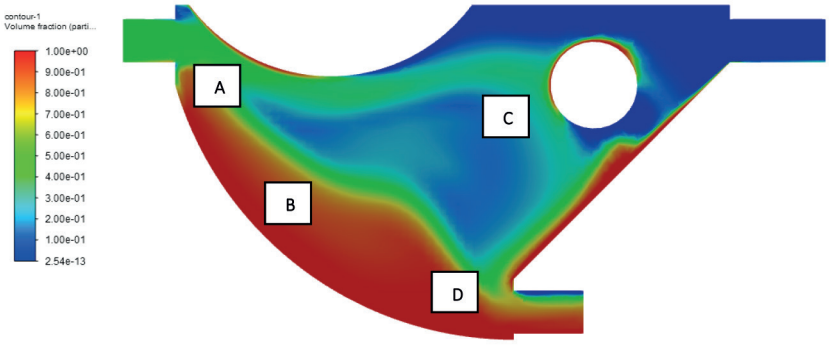


Рис. 5. Модель многофазного потока распределения плотности расчетной области
Fig. 5. Model of multiphase flow density distribution in computational domain

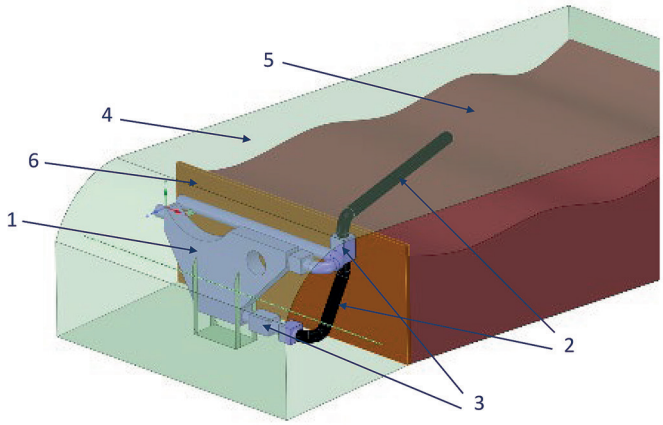


Рис. 6. Схема расположения МЗУ в нарезной выработке для проведения работ по закладке (дозакладке) с помощью мобильной дозакладочной установки из нарезной выработки: 1 — МЗУ; 2 — закладочный гибкий рукав; 3 — магнитный перистальтический насос; 4 — недозаклад; 5 — массив закладки; 6 — закладочная перемычка

Fig. 6. Arrangement of mobile backfill plant in board gate for backfill (re-backfill) operations: 1 — mobile backfill plant; 2 — flexible backfill hose; 3 — peristaltic magnetic pump; 4 — under-backfill; 5 — fill mass; 6 — backfill partition

жет служить как нарезная очистная горная выработка, как показано на рис. 6, так и отработанная смежная камера.

Производительность МЗУ технически зависит от скорости движения волны локальных деформаций рабочего канала насоса и его площади сечения, при этом такие параметры, как вязкость закладочной смеси, критическая скорость частиц потока и неизбежно вызываемые совокупностью данных параметров потери напора при транспортировании, особенно самотечном, влияния не оказывают, так же, как и длина транспортирования. Напор и скорость перемещения закладочного материала в полость зависят от параметров «питающей сети».

Закладочная смесь считается оптимально пригодной для самотечного транспортирования по трубам при величине расплыва по вискозиметру Суттарда 19 — 23 см.

При проведении экспериментальных исследований в составе гидросмеси использовалась цементно-песчаная смесь с размером фракции 3,2 мм, с предельным напряжением сдвига $\sigma \leqslant 200$ Па и плотностью 2000 т/м^3. Благодаря особенностям работы магнитного насоса, исключающим обратных ток вещества, а также отсутствию потерь напора, 91 — 94% закладочной гидросмеси поступает в выработку. Оставшаяся часть оседает на стенках трубопровода по его длине. Принцип работы магнитного насоса, представляющий собой низкочастотные волновые вибрации, способствует поддержанию твердых частиц гидросмеси в подвижном состоянии, и закладочный материал подается в место закладки в однородном виде.

Заключение

1. Недостатком имеющихся способов закладки выработанных пространств является тот факт, что при их реализации не обеспечивается полное заполнение выработанного пространства закладочным материалом, т.е. при углах падения рудного тела меньше угла естественного откоса закладочного материала исключается самопроизвольное скатывание

(растекание) закладочного материала под действием сил собственного веса в нижнюю часть камеры (блока).

2. Существующие мобильные устройства для проведения закладочных (дозакладочных) работ не обеспечивают надежную полноту закладки выработанных пространств, будучи ограниченно применяемыми вследствие их конструктивных особенностей. Наиболее часто применяемое оборудование, — бетононасос, — обеспечивает эффективность работы с расширяющимися закладочными смесями, но при этом имеет низкие показатели производительности и быструю изнашиваемость основных узлов.

3. Применение мобильных закладочных установок, способных одновременно сгущать закладочный материал и подавать его в заполняемые полости с низким напряжением сдвига, делает подобное оборудование применимым в широких пределах горно-геологических и технологических условий, позволяя существенно сократить объемы незаложенных пустот и повысить безопасность ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бронникова Д. М.* Закладочные работы в шахтах: справочник / Под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. — М.: Недра, 1989. — 400 с.

2. *Дзюба С. В., Шмелев Н. А., Коваль Н. В.* Анализ технологий подземной разработки месторождений полезных ископаемых при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях / Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов. — Днепропетровск: Изд-во ИГТМ НАН, 2012. — Вып. 101. — С. 284 — 291.

3. *Коликов К. С., Мазина И. Э., Урузбиева А. Г.* Закладка выработанного пространства как способ снижения негативного экологического воздействия при подземной угледобыче // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 5. — С. 252 — 259.

4. *Медведев В. В., Пакулов В. В.* Совершенствование технологии закладочных работ при камерных системах разработки с закладкой // Вестник ЗабГУ. — 2013. — № 10(101). — С. 25 — 31.

5. *Райс В. В.* Определение параметров технологии с замораживаемой закладкой выработанного пространства при отработке ценных руд жильных месторождений в криолитозоне: автореф. дис. канд. тех. наук, спец. 25.00.22. — СПб.: СПГУ, 2020. — 22 с.

6. *Skrzypkowski K.* Compressibility of materials and backfilling mixtures with addition of solid wastes from flue-gas treatment and fly ashes / XVIII Conference of PhD Students and Young Scientists «Interdisciplinary Topics in Mining and Geology». Kraków, Poland, 2018, vol. 71, pp. 1 — 6.

7. *Qiang Zhang, Jixiong Zhang, Zhongya Wu, Yang Chen* Overview of solid backfilling technology based on coal-waste underground separation in China // Sustainability. 2019, vol. 11, no. 7, article 2118.

8. *Xuan D., Xu J., Zhu W.* Backfill mining practice in China coal mines // Journal of Mines, Metals and Fuels. 2013, vol. 61, no. 7 — 8, pp. 225 — 234.

9. *Зубов В. П., Антонов А. А., Луговский Ю. Н., Морозов М. Д., Михайленко О. А.* Повышение полноты закладки выработанных пространств при слоевых системах разработки Яковлевской залежи // Записки Горного института. — 2010. — Т. 185. — С. 25 — 30.

10. *Пироженко В. П.* Разработка состава компонентов закладочной смеси на основе хвостов обогащения // Записки Горного института. — 2008. — Т. 178. — С. 77 — 81.

11. *Сараскин А. В., Гоготин А. А.* Технология закладки выработанного пространства смесями на основе отходов обогащения руд // Горный журнал. — 2017. — № 9. — С. 41 — 45.

12. *Туркин И. С., Олизаренко В. В., Шарипов Р. Х.* Закладка выработанных пространств рудников с применением вертикальных сгустителей / Технологическое оборудование для

горной и нефтегазовой промышленности: сборник научных трудов. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. — С. 206 — 210.

13. *Шубин А. А.* Моделирование процесса ликвидации подземных пустот в условиях техногенной активизации // Записки Горного института. — 2013. — Т. 204. — С. 101 — 104.

14. *Волков Е. П., Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н.* Совершенствование технологии и оборудования для утилизации твердых промышленных отходов путем добавления их в состав литых твердеющих закладочных смесей // Известия УГГУ. — 2017. — № 4 (48). — С. 84 — 89.

15. *Русаков М. И., Шкуратский Д. Н.* Использование отходов производства калийных удобрений в породных смесях для закладки выработанных пространств // Известия ТулГУ. Наука о Земле. — 2015. — № 3. — С. 87 — 97.

16. *Русаков М. И., Шилов А. В.* Технология подземного пульпо-приготовления с использованием мобильных закладочных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 9. — С. 144 — 150. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-144-150.

17. *Васильева М. А., Фёйт С.* Мультифизическая модель течения гетерогенного потока при движении по каналу переменного сечения // Записки Горного института. — 2017. — Т. 227. — С. 558 — 562.

18. *Гамбарьян Л. Г.* Транспортирование твердеющих закладочных смесей по полиэтиленовым трубам // Записки Горного института. — 1987. — Т. 110. — С. 105 — 110.

19. *Vasilyeva M. A.* Magnetic peristaltic pumps for backfill // Eurasian Mining. 2019, no. 1, pp. 34 — 36. MAB

REFERENCES

1. Bronnikova D. M. *Zakladochnye raboty v shakhtakh*: spravochnik. Pod red. D. M. Bronnikova, M. N. Tsygalova [Backfill operations in mines. Handbook. Bronnikov D. M., Tsygalov M. N. (Eds.)], Moscow, Nedra, 1989, 400 p.

2. *Dzyuba S. V., Shmelev N. A., Koval' N. V.* Analysis of technology of underground development of mineral deposits for mining work in difficult geological conditions. *Geotekhnicheskaya mekhanika*: Mezhvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov [Geotechnical mechanics. Interdepartmental collection of scientific papers], Dnepropetrovsk, Izd-vo IGTM NAN, 2012, issue 101, pp. 284 — 291.

3. Kolikov K. S., Mazina I. E., Uruzbieva A. G. Backfilling as a method to mitigate environmental impact of underground coal mining.*MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 5, pp. 252 — 259. [In Russ].

4. Medvedev V. V., Pakulov V. V. Improvement of backfill technologies in cut-and-fill mining. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013, no. 10(101), pp. 25 — 31. [In Russ].

5. Rays V. V. *Opredelenie parametrov tekhnologii s zamorazhivaemoy zakladkoy vyrabotannogo prostranstva pri otrabotke tsennykh rud zhil'nykh mestorozhdeniy v kriolitozone* [Determination of frozen backfill technology parameters for rich lode ore mining in permafrost zone], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, SPGU, 2020, 22 p.

6. Skrzypkowski K. Compressibility of materials and backfilling mixtures with addition of solid wastes from flue-gas treatment and fly ashes. *XVIII Conference of PhD Students and Young Scientists «Interdisciplinary Topics in Mining and Geology»*. Kraków, Poland, 2018, vol. 71, pp. 1 — 6.

7. Qiang Zhang, Jixiong Zhang, Zhongya Wu, Yang Chen Overview of solid backfilling technology based on coal-waste underground separation in China. *Sustainability*. 2019, vol. 11, no. 7, article 2118.

8. Xuan D., Xu J., Zhu W. Backfill mining practice in China coal mines. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2013, vol. 61, no. 7 — 8, pp. 225 — 234.

9. Zubov V. P., Antonov A. A., Lugovskiy Yu. N., Morozov M. D., Mikhaylenko O. A.Improvement of backfill completeness in cut-and-fill mining of Yakovlev deposit. *Journal of Mining Institute*. 2010, vol. 185, pp. 25 — 30. [In Russ].

10. Pirozhenko V. P. Compounding formulation of backfill made of tailings. *Journal of Mining Institute*. 2008, vol. 178, pp. 77 — 81. [In Russ].

11. Saraskin A. V., Gogotin A. A. Backfill technology for tailings-based mixtures. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 9, pp. 41 — 45. [In Russ].

12. Turkin I. S., Olizarenko V. V., Sharipov R. Kh. Backfilling using vertical thickeners. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti*: sbornik nauchnykh trudov [Basic equipment for mining and oil/gas industries: Collection of scientific papers. Collection of scientific papers], Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2013, pp. 206 — 210.

13. Shubin A. A. Modeling elimination of underground voids in the conditions of induced activation. *Journal of Mining Institute*. 2013, vol. 204, pp. 101 — 104. [In Russ].

14. Volkov E. P., Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. Improvement of technology and equipment for the use of solid industrial waste as addition to paste cemented backfill mixtures. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2017, no. 4 (48), pp. 84 — 89. [In Russ].

15. Rusakov M. I., Shkuratskiy D. N. Use of potassium fertilizer production waste in dry backfill mixtures. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2015, no. 3, pp. 87 — 97. [In Russ].

16. Rusakov M. I., Shilov A. V. Underground slurry preparation technology using mobile backfill plants. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 9, pp. 144 — 150. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-144-150.

17. Vasil'eva M. A., Feyt S. Multiphysical model of heterogeneous flow in variable cross-section channel. *Journal of Mining Institute*. 2017, vol. 227, pp. 558 — 562. [In Russ].

18. Gambar'yan L. G. Cemented backfill flow in polyethylene pipes. *Journal of Mining Institute*. 1987, vol. 110, pp. 105 — 110. [In Russ].

19. Vasilyeva M. A. Magnetic peristaltic pumps for backfill. *Eurasian Mining*. 2019, no. 1, pp. 34 — 36.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильева Мария Александровна[1] — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: saturn.sun@mail.ru,
Волчихина Александра Алексеевна[1] — аспирант,
Морозов Михаил Дмитриевич, канд. техн. наук,
специалист по ПГР, АО «Полиметалл УК»,
[1] Санкт-Петербургский горный университет.
Для контактов: Васильева М.А., e-mail: saturn.sun@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.A. Vasilyeva[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: saturn.sun@mail.ru,
A.A. Volchikhina[1], Graduate Student,
M.D. Morozov, Cand. Sci. (Eng.),
Specialist in Underground Mining Operations,
JSC «Polymetal UK», Saint-Petersburg, Russia,
[1] Saint-Petersburg Mining University,
199106, Saint-Petersburg, Russia.
Corresponding author: M.A. Vasilyeva, e-mail: saturn.sun@mail.ru.

Получена редакцией 05.03.2021; получена после рецензии 12.04.2021; принята к печати 10.05.2021.
Received by the editors 05.03.2021; received after the review 12.04.2021; accepted for printing 10.05.2021.