

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ ИХ В СОСТАВ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Е. П. Волков, А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

## The improvement of the technology and equipment for the utilization of solid industrial wastes by means of adding them to the cast of hardening filling mixtures

E. P. Volkov, A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

The article provides an assessment of mining operations in underground mines which apply backfill systems, as well as the volume of enrichment waste accumulated during the exploitation of ore deposits. The use of high-quality cement and expensive inert fillers by many mining companies significantly increases the cost of backfill, while the technologies for increasing the activity of the binder are only partially used. The adoption of low-quality binders (cement and milled granulated slags), the investigation of new economically advantageous technologies for producing filling mixtures, as well as the use of binders and fillers, which can be used as tails of enrichment waste, will promote the spreading of backfill systems. In the practice of mining, it is an urgent task, which should be solved. This solution will significantly expand the raw material base of many mining enterprises; it will also increase their efficiency and address environmental protection issues. The conditions and regularities of increasing the reaction properties of many dump products, changing their rheological properties in time, as well as ways to create, and maintain the activity of the filling mixture during its preparation and pipeline transportation, remain insufficiently studied.

We also consider the concept of improving the systems of pipeline transportation of cast hardening of filling mixtures to ensure reliable and uninterrupted delivery of the obtained backfilling mixtures with the reduced water content. It is associated with the use of the special hydrodynamic actuators mounted on a backfilling pipeline. As the activating devices the original patented designs of activators providing high efficiency of restoration of rheological properties of stowage mixes at their transportation on the underground stowage pipeline are offered and described.

Based on the theoretical justification of the proposed design solutions, we can conclude that the proposed trigger device will provide effective homogenization and activation of the material hardening mixtures on the basis of the tailings while reducing metal consumption, energy consumption and processing time.

**Keywords:** mining activity; mining technology; backfilling mixture; backfilling works; pipeline transport.

В статье приведена оценка горных работ на подземных рудниках, применяющих системы разработки с закладкой, а также объема отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений. Применение многими горными предприятиями высококачественных цементов и дорогостоящих инертных заполнителей значительно повышает стоимость закладки, при этом только частично используются технологии повышения активности вяжущего. Переход на низкомарочные вяжущие (цемент и молатые гранулированные шлаки), использование новых экономически выгодных технологий производства закладочных смесей, а также использование вяжущих и заполнителей, в качестве которых можно применять хвосты обогатительных фабрик, будет способствовать распространению систем с закладкой в практике горных работ и является актуальной задачей, решение которой позволит значительно расширить сырьевую базу многих горных предприятий, повысить эффективность их работы и решить вопросы охраны окружающей среды. Недостаточно изученными остаются условия и закономерности повышения реакционных свойств многих отвальных продуктов, изменение их реологических свойств во времени, способы создания и поддержания активности закладочной смеси при ее приготовлении и трубопроводном транспортировании. Рассмотрено также направление совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих закладочных смесей для обеспечения надежной и бесперебойной доставки полученных закладочных смесей с пониженным водосодержанием, которое связано с применением специальных гидродинамических активаторов, устанавливаемых на закладочном трубопроводе. На основании проведенного теоретического обоснования предлагаемых конструктивных решений можно сделать вывод, что предлагаемые активизирующие устройства обеспечат эффективную гомогенизацию и активацию материалов твердеющей смеси на основе хвостов обогащения при сокращении металлоемкости, энергозатрат и времени обработки.

**Ключевые слова:** горные работы, горная технология, закладочные смеси; закладочные работы; трубопроводный транспорт.

### Технологические аспекты утилизации твердых промышленных отходов

Системы разработки с закладкой выработанного пространства широко используются при отработке залежей сложной формы с ценными рудами, а также при залегании рудных тел под охраняемыми природными, производственными и социальными объектами [1]. Сравнительно высокая себестоимость добычи минерального сырья с закладкой компенсируется незначительным разубоживанием, более полным извлечением добываемого полезного ископаемого, возможностью его селективной выемки с оставлением в недрах части породных включений.

С ростом себестоимости извлекаемых полезных компонентов, повышением законодательных требований к охране земной поверхности, растущей необходимостью утилизации отходов горно-металлургической и энергетической промышленности, увеличением глубины горных работ область применения технологий добычи руд с закладкой будет постоянно расширяться.

Закладочные смеси различаются не только типом вяжущего, но и типом заполнителя [2]. При производстве закладочных смесей используются заполнители, применение которых в строительной промышленности зачастую не допускается. В качестве заполнителя закладочных смесей на сегодняшний день могут использоваться как природные материалы, так и отходы производства.

В настоящее время объем отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, достиг сотен миллионов кубических метров. Это сопровождается изъятием из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов значительных площадей ценных земель для размещения хвостохранилищ. Хвостохранилище наносит существенный вред окружающей среде. В первую очередь, это связано с загрязнением поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды и почвы. Присутствует риск тяжелых последствий в случае разрушения дамбы хвостохранилища, о чем свидетельствует информация, опубликованная Комитетом Международной Комиссии по крупным хвостовым дамбам, о произошедших за последние 45 лет 220 инцидентах, 135 из них были авариями, в результате которых было выброшено 41,9 млн м<sup>3</sup> жидких отходов, распространявшихся на значительные расстояния, что вызвало обширные разрушения и человеческие потери.

В настоящее время достигнуты значительные успехи в развитии техники и совершенствовании технологии ведения закладочных работ. Анализ закладочных комплексов на рудниках [3–6] показал, что принципиально их конструктивное оформление и технология приготовления закладочных смесей направлены на производство литых твердеющих смесей (ЛТС), имеющих большую эффективность по сравнению с другими способами закладки горных выработок.

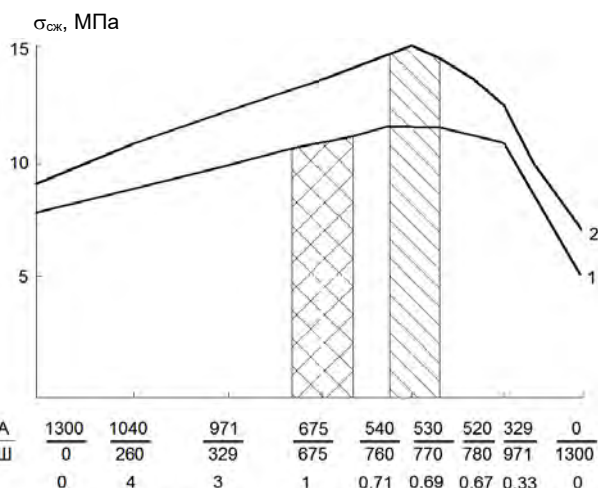


Рисунок 1. Характер влияния активации и соотношения ангидрита и шлака в шихте АШЦ состава при входе в мельницу на прочность. 1 – смеси, приготовленные по традиционной технологии; 2 – активированные смеси (А/Ш – соотношение содержания ангидрита и шлака в 1 м<sup>3</sup> смеси, кг/кг).

Технологические схемы производства ЛТС отличаются не существенно, что способствует расширению области использования систем разработки с закладкой твердеющими смесями и обеспечивает возможность вовлечения в производство закладки дешевого вяжущего и заполнителя на основе отвалных продуктов горного производства, шлаков и шламов металлургических и машиностроительных заводов, хвостов обогащения, золы уноса и шлаков теплоэнергетики.

В связи с этим снижение себестоимости закладочных работ с помощью использования отвалных продуктов различных производств в качестве вяжущих и заполнителей является актуальным направлением. Разработка технологии приготовления закладки на основе песков и шламовой фракции хвостов обогащения позволяет не только снизить издержки производства горных предприятий, но и повысить экологическую безопасность добывающих минеральное сырье регионов [3–6].

Опыт работы закладочных комплексов рудников России и зарубежья [7, 8] показывает, что наиболее перспективным является подача хвостов от обогатительных фабрик до рудников гидротранспортом с дальнейшим перемешиванием компонентов закладки в гидросреде. Для приготовления литых твердеющих смесей (ЛТС) из отвалных продуктов в шаровых мельницах подбирается шихта из нескольких типов производственных отходов, взаимно дополняющих друг друга по химическому составу (наличию СаО, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Активность смесей из этих материалов регулируют пороговая величина тонкости измельчения и весовое соотношение компонентов в готовой закладке. Внедрение составов ЛТС с пониженным содержанием цемента проводилось на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Прочность определялась в возрасте составов 7, 28 и 90 сут с использованием пресс-машины УМЭ-10 ТМ. Фазовые превращения определялись на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3».

Испытания активированной смеси на основе гранулированного шлака Ш и ангидрита А проводились при постоянном расходе цемента Ц, равном 150 кг/м<sup>3</sup>. Дифференциальный термический анализ проводили на дериватографе Q-2000. Результаты рентгеноструктурного анализа составов позволили выявить характер влияния активации и соотношения при этом исходных компонентов закладки на прочность при существующей гранулометрии и доизмельчении компонентов (рис. 1).

Активированные составы имеют новые разросшиеся фазы структурных новообразований, окислов щелочноземельных металлов, а также алюминия и железа, представленные двух- и трехкальциевыми гидросиликатами, гидросульфалюминатами, гидроферритами, гидроалюминатами, которые обеспечивают формирование прочностных свойств ЛТС. В зависимости от соотношения ангидрита и шлака происходит перераспреде-

ние основных фаз структурных образований гидратированных смесей. При соотношении А : Ш 0,60–0,70 преобладающим становится присутствие гидросульфалюминатов кальция типа 3СаОAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>СаSO<sub>4</sub> · 12Н<sub>2</sub>O. Несколько в подчиненном количестве находится фаза гидратированного гипса СаSO<sub>4</sub> · 2Н<sub>2</sub>O, следующим по значимости является гидросиликат типа тоберморита Са<sub>3</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>13</sub>Н<sub>2</sub>) · 4Н<sub>2</sub>O, фаза гидроферритов 4СаОFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6Н<sub>2</sub>O и гидроалюмосиликаты Са<sub>6</sub>(AlSiO<sub>4</sub>)<sub>12</sub> · 3Н<sub>2</sub>O.

При соотношении А : Ш от 0,71 и выше постепенно главенствующую роль приобретает безводный ангидрит СаSO<sub>4</sub>. В подчиненное состояние переходит образование гидросульфалюминатов кальция 3СаОAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>СаSO<sub>4</sub> · 12Н<sub>2</sub>O и этрингита Са<sub>6</sub>A<sub>12</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>12</sub> · 26Н<sub>2</sub>O. Далее выделяется фаза гидратированного гипса СаSO<sub>4</sub> · 2Н<sub>2</sub>O. При увеличении ангидрита в смеси разрыв между главенствующими фазами растет и уменьшается количество гидроферритов 4СаОFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6Н<sub>2</sub>O и гидросиликатов Са<sub>3</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>13</sub>Н<sub>2</sub>) · 4Н<sub>2</sub>O. В случае, когда отношение А : Ш становится меньше 0,60–0,70, наибольшее значение приобретают гидросульфалюминаты кальция СаОAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>СаSO<sub>4</sub> · 12Н<sub>2</sub>O, гидроферриты 4СаОFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6Н<sub>2</sub>O и гидросиликаты Са<sub>3</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>13</sub>Н<sub>2</sub>) · 4Н<sub>2</sub>O, фазы ангидрита безводного СаSO<sub>4</sub> и гидратированного гипса СаSO<sub>4</sub> · 2Н<sub>2</sub>O имеют подчиненное значение.

Таким образом, ангидритошлакоцементные составы твердеют за счет кристаллизации в них гипса, а также новообразований в процессе взаимодействия шлака с цементом и ангидритом. Одна из главенствующих фаз гипса и максимум новообразований гидросульфалюмосиликатов, гидроферритов, гидрогранатов приходится на соотношение А : Ш в шихте на входе в мельницу в пределах 0,6–0,7. Результаты испытаний образцов на сжатие и рентгенофазовый анализ показали, что увеличение содержания ангидрита относительно шлака в активируемом продукте приводит к уменьшению составляющей гипса и алюмосиликата кальция с образованием этрингита в затвердевшей смеси, что обуславливает тенденцию к падению ее прочности. При уменьшении в смеси содержания ангидрита относительно шлака от 0,6 и менее активность последнего падает, прочность смеси резко снижается.

На рудниках Норильского региона в технологии приготовления закладочной смеси АШЦЦ с добавлением щебня Ш состав и расход компонентов варьировался в широком диапазоне. Смеси готовились при широких диапазонах изменения расхода компонентов: ангидрит 260–530 кг/м<sup>3</sup>; гранулированный шлак 330–540 кг/м<sup>3</sup>; щебень 300–700 кг/м<sup>3</sup>; вода 500–550 л/м<sup>3</sup>. Соотношение ангидрита и шлака поддерживалось постоянным. При этом объем приготавливаемой АШЦЦ закладки в целом достиг 1463 тыс. м<sup>3</sup>, что составило 53 % от общего объема производства закладки.

Для изучения влияния активации на соотношения компонентов в приготавливаемой шихте производства АШЦЦ, снижения ее себестоимости были проведены комплексные исследования, результаты которых представлены на рис. 2.

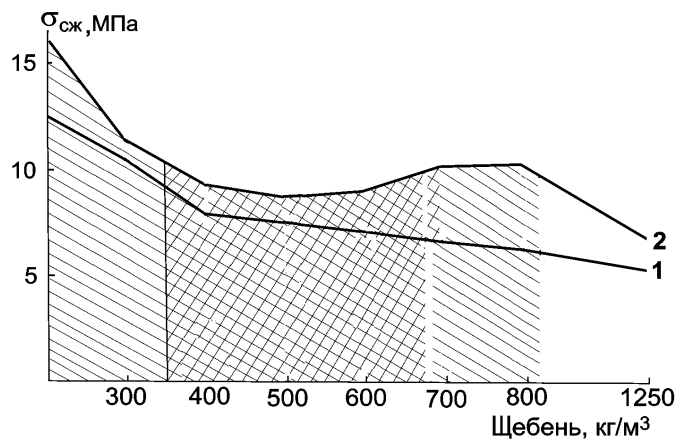


Рисунок 2. Набор прочности АШЦЦ состава в зависимости от расхода щебня в 180-суточном возрасте при соотношении А : Ш, равном 0,70. 1 – смеси, приготовленные по традиционной технологии; 2 – активированные смеси.

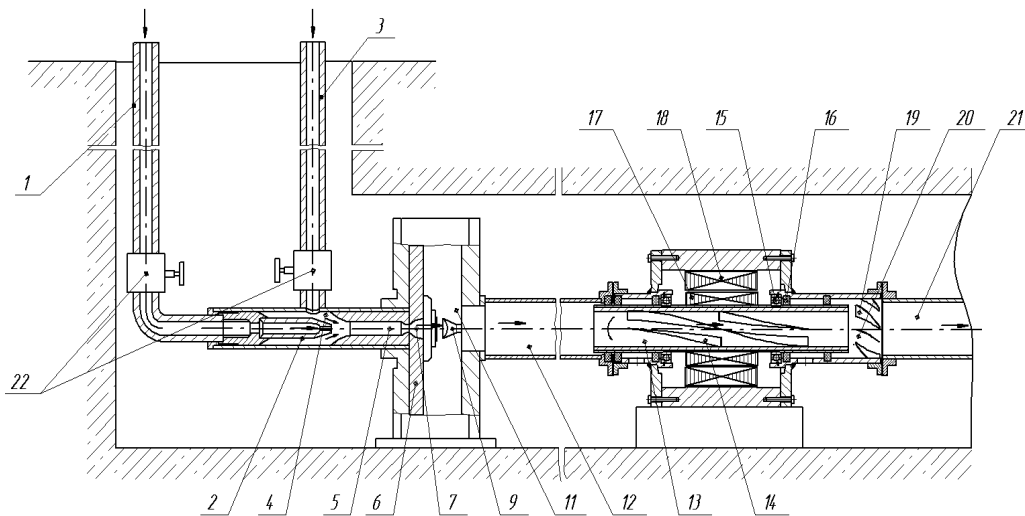


Рисунок 3. Смеситель-активатор закладочной смеси.

В случае, когда расход щебня возрастает с 400 до 550 кг/м<sup>3</sup>, увеличивается содержание инертного ангидрита, что обуславливает снижение кристаллизационных центров силикатов и алюмосиликатов кальция с гипсом и снижение прочности при твердении. При дальнейшем увеличении доли щебня в шихте прочность ЛТС незначительно возрастает, соотношение главных кристаллизационных центров силикатов, алюмосиликатов кальция с гидратированным гипсом несколько повышается и стабилизируется. Аналогично проводились исследования мельничного измельчения и перемешивания компонентов ЛТС на шахте «Коксовая». Таким образом, существует необходимость обоснованного подбора рецептуры ЛТС в зависимости от конкретных условий применения закладочных смесей.

#### Вопросы совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих смесей с пониженным водосодержанием

Наиболее распространенными технологиями производства ЛТС являются варианты совместного помола и перемешивания всех компонентов смеси с цементом в шаровой мельнице или совместного помола шихты при перемешивании с цементным раствором непосредственно в вертикальном ставе трубопровода [9]. В некоторых случаях заполнитель и вяжущее подают в шахту по отдельным вертикальным ставам, и в таком случае важным является вопрос качественного перемешивания компонентов закладочных смесей перед закладкой в выработку. При отдельной подаче компонентов закладочных смесей в ствол рудника для увеличения однородности и транспортабельности закладочных смесей может использоваться предлагаемый авторами смесительно-активирующий комплекс, представленный на рис. 3 [10].

Комплекс содержит вертикальные подводящие трубопроводы 1 и 3, предназначенные для отдельной подачи гидратированного наполнителя и вяжущего вещества к смесительным соплам 2, в эжекционные камеры 4, в канал 5 для подвода ЛТС к дисковому кавитатору 6 с профилированными концентрическими отверстиями 7. Электродвигатель вращает диск 6 с частотой, необходимой для создания ультразвуковых пульсаций потока закладочной смеси в камере 11. Гомогенизированная смесь далее подается в горизонтальный трубопровод 12. Эжекционное устройство позволяет повысить эффективность смешивания компонентов ЛТС, а пульсации скорости и давления в кавитационной камере способствуют гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающему ее перемешиванием и активацией.

Длительное дальнейшее движение ЛТС по горизонтальному трубопроводу 12, как у типичной жидкости с внутренней пространственной структурой, начнется лишь тогда, когда напряжение сдвига  $\tau$  превысит определенное критическое значение  $\tau_0$ , необходимое для разрушения внутренней структуры [11]. Структурную сетку можно представить в виде множества це-



Рисунок 4. Схема тиксотропных изменений.

почек из частиц, связанных общими узловыми частицами (рис. 4). Основным способом разрушения внутренней структуры тиксотропных вязко-пластичных смесей (наряду с химическим) является внешнее механическое воздействие на смесь (реологическая активация смеси), т. е. образование в смеси существенных гидродинамических сил, превышающих энергию внутренней структурной связи  $W_0$ , вследствие чего происходит разрушение структурной сетки и повышение текучести и однородности состава смеси. После снятия активирующего воздействия структура тиксотропной смеси восстанавливается с течением времени. Такие смеси после прекращения перемешивания постепенно становятся структурированной системой с осадком.

Реологические свойства закладочной смеси для обеспечения надежности и бесперебойности работы закладочного комплекса должны отвечать установленным требованиям технологической инструкции: иметь растекаемость по методу Суттарда не менее 10–12 см, предельное напряжение сдвига не более 180 Па, коэффициент расслаивания не более 1,3.

Для повышения дальности подачи закладочной смеси в конце samotечного участка транспортирования обычно осуществляют подачу сжатого воздуха в став бетоновода через пневмоклапаны. При этом на доставку 1 м<sup>3</sup> смеси на 1 км расходуется 100–130 м<sup>3</sup> сжатого воздуха, что требует больших энергозатрат. Для механической активации ЛТС в работе [12] описаны перемешивающе-активирующие устройства циклического действия с рабочим органом в виде рамочной мешалки. Недостатками таких устройств являются существенные габариты и масса, что затрудняет их использование в подземных условиях.

Для восстановления реологических свойств ЛТС в предлагаемой установке (рис. 3) на определенном расстоянии по трубопроводу  $L_t$  установлено активирующее устройство (рис. 3, поз. 13–20). Работа гидродинамического активатора основана на генерировании механических возмущений в смеси с образованием полей переменных скоростей и давлений, создаваемых энергией внешнего привода. Конструкция такого активатора подробно показана на рис. 5 [13].

Активатор содержит вихревую камеру 1, установленную на подшипниках качения 2 внутри трубчатой проточной камеры 3. Привод вихревой камеры также выполнен в виде электрообмоток статора 4 и вихревой камеры. Внутри вихревой камеры



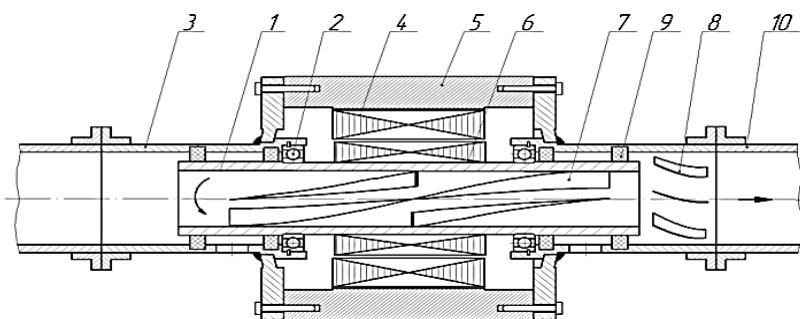


Рисунок 5. Активатор закладочной смеси.

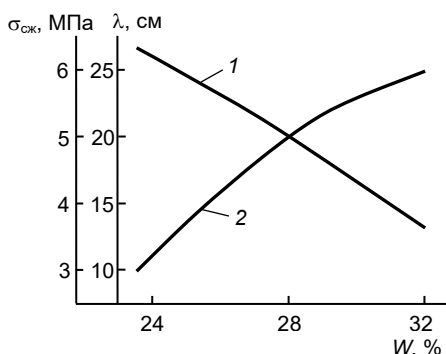


Рисунок 6. Влияние водосодержания  $W$  на реологические и прочностные характеристики закладочных смесей. 1 – изменение прочности закладочного массива  $\sigma_{сж}$ ; 2 – изменение текучести смеси  $\lambda$ .

установлены винтовые лопатки 7, создающие при вращении вихревой камеры комплексное механическое воздействие на транспортируемую жидкую среду, при этом происходит интенсивное перемешивание потока смеси, сопровождающееся ее активацией. Взаимодействие потока смеси с винтовыми лопатками 8 обеспечивает развитие в смеси дополнительных гидродинамических сил и приращение напора и скорости смеси в сторону движения потока по трубопроводу 10.

При движении ЛТС через данное устройство смесь механически активируется лопатками, приобретая при этом однородность и повышенную текучесть. Пульсации давления и скорости потока смеси при движении ЛТС в неподвижных межлопаточных каналах обеспечивают дополнительное разрушение гидратных пленок на частицах цемента ЛТС, увеличивая впоследствии скорость твердения закладочного массива.

Преимуществом такой конструкции активатора при установке на закладочном трубопроводе является непрерывность его действия, легкость и компактность, что очень существенно в стесненных условиях подземных выработок.

Прочностные и реологические свойства закладочных смесей могут существенно меняться в зависимости от компонентного состава, способа их производства и транспортирования, водосодержания ЛТС и других факторов, что в основном определяет последующую прочность закладочного массива, скорость его твердения и транспортабельность ЛТС. Как показано на рис. 6, прочность создаваемого закладочного массива  $\sigma_{сж}$  при установленной продолжительности твердения существенно увеличивается с понижением водосодержания ЛТС  $W$ . Однако при понижении водосодержания  $W$  одновременно ухудшаются и реологические свойства ЛТС, следовательно, и надежность работы трубопроводной транспортной системы, что создает существенные трудности с обеспечением бесперебойной доставки закладочного материала в подземное выработанное пространство. Таким образом, влагосодержание ЛТС одновременно является критерием ее текучести и прочности формируемого впоследствии закладочного массива.

Таким образом, условием надежного транспортирования ЛТС с пониженным водосодержанием является своевременное разрушение ее гиксотропной структуры с целью снижения вязкости и предельного напряжения сдвига в смеси.

Принципиальными преимуществами закладки ЛТС с пониженным водосодержанием являются улучшенное качество искусственного массива, невысокая стоимость материалов, повышение интенсивности ведения закладочных работ, сокращение времени на закладку до 20 %.

Гидродинамические активаторы непрерывного действия способствуют расширению возможностей применения ЛТС с пониженным водосодержанием и как технологическое оборудование могут иметь конструкции различных видов. Конструкции активаторов могут отличаться как устройством рабочей части, так типом и компоновкой привода. Активаторы могут, например, изготавливаться по принципу действия центробежных насосов, что обеспечивает более существенный прирост напора при одинаковой частоте вращения вихревой камеры. Разработанный активатор данной конструкции представлен на рис. 7 [14].

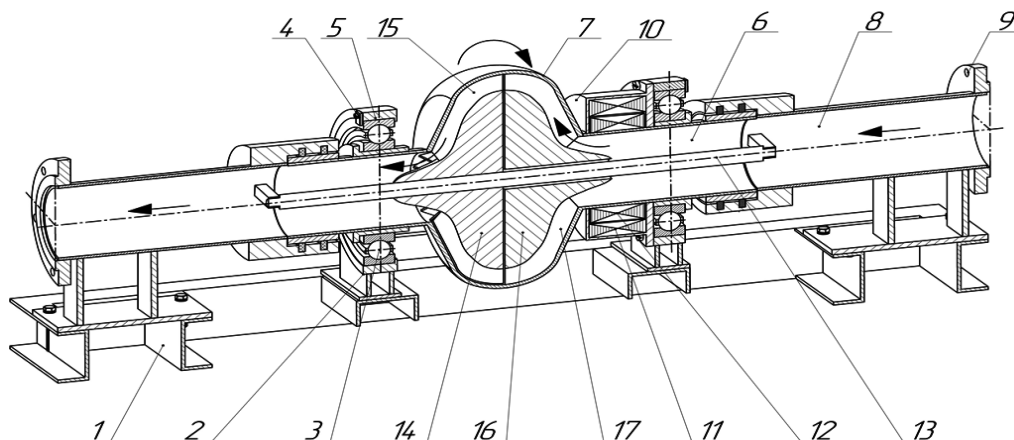


Рисунок 7. Активатор закладочных смесей центробежного типа с электроприводом.

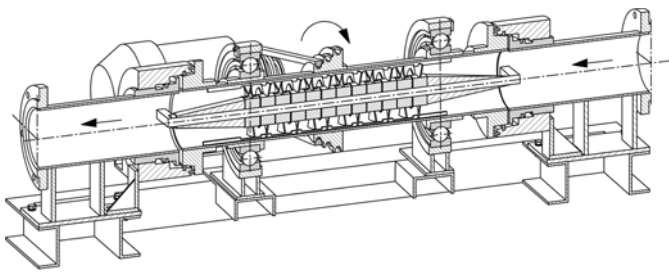


Рисунок 8. Многоступенчатый осевой активатор закладочных смесей с электромеханическим приводом.

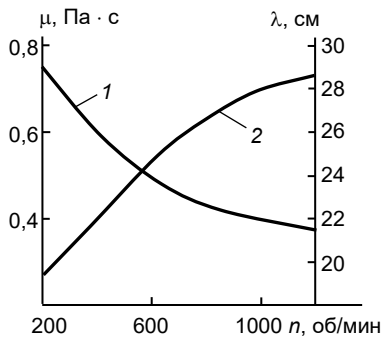


Рисунок 9. Реологические показатели активированной закладочной смеси. 1 – зависимость структурной вязкости  $\mu$  от числа оборотов активатора; 2 – зависимость растекаемости смеси по Суттарду  $\lambda$  от числа оборотов активатора.

Активатор содержит раму 1, опоры подшипниковых узлов 2, подшипники 3, фиксаторы подшипников 4, опорные втулки 5, вихревую камеру 6, выполненную с диаметральным уширением эллиптического продольного сечения 7, неподвижную проточную камеру 8, фланцы 9 для соединения с трубопроводом. Электромагнитный привод 10 включает обмотки статора 11 и обмотки ротора 12. Внутри трубчатой вихревой камеры неподвижно установлена ось 13, на которой закреплена неподвижная втулка 14 с лопатками 15, установленными параллельно оси вихревой камеры 6. Подвижная втулка 16 с лопатками 17, также установленными параллельно оси вихревой камеры 6, свободно посажена на ось 13, а лопатки 17 соединены с вихревой камерой.

Многоступенчатый осевой активатор с ременным приводом вихревой камеры [15] (рис. 8) имеет в конструкции типовой электродвигатель, что делает данный активатор менее дорогостоящим и более технологичным в производстве. Рабочие лопатки активатора установлены на вращающихся и неподвижных втулках, чередующихся между собой.

Результаты исследований опытных образцов гидродинамических активаторов показывают, что после прохождения через активатор закладочная смесь, состоящая из хвостов обогащения, цемента и воды (ХЦ), представляет собой хорошо гомогенизированную гидросмесь с повышенной текучестью и реакционными свойствами, причем возможно эффективное быстрое управление реологическими свойствами и давлением потока закладочной смеси путем изменения рабочей частоты вращения вихревой камеры активатора  $n$ . Механическая активация потока закладочной смеси обеспечивает снижение структурной вязкости  $\mu$  (рис. 9) и повышение растекаемости смеси  $\lambda$  по Суттарду.

В зависимости от составов смеси, технических условий применения и режимов эксплуатации гидродинамических активаторов напорного действия разработаны различные их конструкции и способы применения.

**Выводы**

Активация материалов ЛТС является одним из способов расширения возможностей утилизации хвостов обогащения и других отвальных продуктов с проявлением вязких свойств их мелкодисперсных фракций путем приготовления из них литых твердеющих закладочных смесей, что может стать эффективным

фактором снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Предлагаемые активирующие устройства обеспечивают возможность непрерывной и надежной подачи литых твердеющих смесей, обладающих тиксотропными свойствами, по трубам на значительные расстояния даже при снижении их влагосодержания до 24–26 % с сохранением необходимых реологических и прочностных свойств.

Таким образом, способ модернизации закладочных комплексов путем приготовления и транспортирования ЛТС с применением активирующего оборудования является актуальным направлением развития технологии закладки, что обеспечит снижение общих издержек на разработку полезных ископаемых, а также позволит повысить безопасность ведения горных работ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Гузанов П. С., Лытнева А. Э. Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горный журнал. 2015. № 6. С. 85–87.
2. Анушенков А. Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей для закладки горных выработок. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2006. 170 с.
3. Развитие технологии трубопроводного транспорта закладочных смесей на большие расстояния на руднике «Октябрьский» / А. П. Тапсиев [и др.] // ФТПРПИ. 2009. № 3. С. 81–91.
4. Ляшенко В. И., Франчук В. П. Повышение эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 92–100.
5. Голик В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комашенко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 91–94.
6. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Корнеев Ю. В. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств // Горный журнал. 2013. № 2. С. 101–104.
7. Исмаилов Т. Т., Логачев А. В., Голик В. И., Лузин Б. С. Пути повышения активности вяжущих из отходов производства при изготовлении твердеющих смесей // ГИАБ. 2009. № 12. С. 180–190.
8. Ермолович Е. А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». 2010. № 11. С. 156–158.
9. Bondarenko V., Kovalevska I., Dychkovskiy R. New Techniques and Technologies in Mining. Leiden: CRC Press, 2010. 300 p.
10. Смесительно-активирующее устройство: пат. 159536 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2016. № 9.
11. Schramm G. A. Practical approach to rheology and rheometry Gebroeder HAAKE GmbH. 2003. 312 p.
12. Крупник Л. А., Соколов Г. В. Закладочные смеси высокой плотности, их свойства и перспективы применения // ГИАБ. 2005. № 11. С. 237–240.
13. Активатор жидких сред (варианты): пат. 126369 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2013. № 9.
14. Смесительно-активирующее устройство для жидких сред: пат. 2550609 Рос. Федерация. № 2014112175/03; заявл. 28.03.14; опубл. 10.05.15, Бюл. № 13.
15. Активатор жидких сред: пат. 157377 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2015. № 33.

**REFERENCES**

1. Volkov E. P., Anushenkov A. N., Guzanov P. S., Lytneva A. E. 2015, *Zakladochnye smesi na osnove otkhodov obogashchena ruda v sistemakh podzemnoy razrabotki mestorozhdeniy Noril'skogo promyshlennogo rayona* [Backfilling mixtures based on waste beneficiation of ores in the systems of underground mining in the Norilsk industrial district]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 6, pp. 85–87.
2. Anushenkov A. N. 2006, *Razrabotka kompleksov prigotovleniya i transporta tverdeyushchikh smesey dlya zakladki gornykh vyrobotok* [Developing the technologies of preparation and transporting of hardening mixtures for laying the mines]. Krasnoyarsk, 170 p.
3. Tapsiyev A. P. and others. 2009, *Razvitie tekhnologii truboprovodnogo transporta zakladochnykh smesey na bol'shie rasstoyaniya na rudnike "Oktyabr'skiy"* [Development of the technology of long-distance pipeline transport of stowing mixtures in the "Oktyabr'skiy" mine]. *Fiz. tekhn. problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Physical and technical problems of mining], no. 3, pp. 81–91.
4. Lyashenko V. I., Franchuk V. P. 2017, *Povyshenie effektivnosti aktivatsii komponentov tverdeyushchey zakladochnoy smesi v ustanovkakh vibratsionnogo truboprovodnogo transporta* [Improving the efficiency of the activation of the components of the hardening filling mixture in the installations of vibrational pipeline transportation]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 92–100.
5. Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. 2013, *Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA* [Ecological problems of development of ore deposits of Kursk magnetic anomaly]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 4, pp. 91–94.
6. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N., Korneev Yu. V. 2013,

- Peredvizhnye zakladocnye komplekсы v sistemakh razrabotki rudnykh mestorozhdeniy s zakladkoy vyrabotannykh prostranstv [Mobile stowing complexes in the systems of development of ore deposits with backfilling of the worked-out spaces]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 2, pp. 101–104.
7. Ismailov T. T., Logachev V. A., Golik V. I., Luzin B. S. 2009, *Puti povysheniya aktivnosti vyazhushchikh iz otkhodov proizvodstva pri izgotovlenii tverdeyushchikh smesey* [Ways of enhancing the activity of the astringents made of the production waste while manufacturing hardening mixtures]. *Gornyi informatsionno-analyticheskiy bulletin'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 12, pp. 180–190.
8. Ermolovich E. A. 2010, *Bestsementnaya zakladochnaya smes' na osnove tekhnogennykh otkhodov* [Uncemented backfilling mixture based on industrial waste]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya estestvennye nauki* [Bulletin of Belgorod state University. Natural Sciences], no.11, pp. 156–158.
9. Bondarenko V., Kovalevska I., Dychkovskiy R. 2010. New Techniques and Technologies in Mining. CRC Press. 300 p.
10. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Smesitel'no-aktiviruyushchee ustroystvo* [Mixing and activating device]. Patent RF, no. 159536, 2016.
11. Schramm G. A. 2003, Practical approach to rheology and rheometry Gebrueder HAAKE GmbH. 312 p.
12. Krupnik L. A., Sokolov G. V. 2005, *Zakladochnye smesi vysokoy plotnosti, ikh svoystva i perspektivy primeneniya* [High-density backing mixtures, their properties and prospects]. *Gornyi informatsionno-analyticheskiy bulletin'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 11, pp. 237–240.
13. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Aktivator zhidkikh sred (varianty)* [The activator liquid medium (versions)]. Patent RF no. 126369, 2013.
14. Volkov E. P., Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Smesitel'no-aktiviruyushchee ustroystvo dlya zhidkikh sred* [Mixing and activating device for liquid media]. Patent RF no. 2550609, 2015.
15. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Aktivator zhidkikh sred* [The activating agent of liquid media]. Patent RF no.157377, 2015.

**Евгений Павлович Волков,**  
volkoff2@yandex.ru  
**Андрей Юрьевич Стовманенко,**  
s600122@yandex.ru  
**Александр Николаевич Анушенков**  
sfu-prm@ya.ru  
Сибирский федеральный университет  
Россия, Красноярск, просп. Свободный, 79

**Evgeniy Pavlovich Volkov,**  
volkoff2@yandex.ru  
**Andrey Yur'evich Stovmanenko,**  
s600122@yandex.ru  
**Aleksandr Nikolaevich Anushenkov**  
sfu-prm@ya.ru  
Siberian Federal University  
Krasnoyarsk, Russia