

Стовманенко Андрей Юрьевич, старший преподаватель, **Волков Евгений Павлович**, старший преподаватель, **Анушенков Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор

Сибирский федеральный университет, 660025 Россия, г. Красноярск, пр-т имени газеты Красноярский рабочий, 95

E-mail: sto344@rambler.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЛИТЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

***Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих закладочных смесей, для закладки отработанных выработок горного производства. Предложено новое направление развития технических средств, предназначенных для обеспечения надежной и бесперебойной доставки закладочных смесей с пониженным водосодержанием, связанное с применением специальных гидродинамических питателей и активаторов, устанавливаемых на закладочном трубопроводе, что создает условия для поддержания нормативных реологических свойств текучести закладочных смесей при их трубопроводном транспортировании и обеспечивает существенное повышение прочности и скорости твердения закладочного массива, и, как следствие, повышение интенсивности и безопасности проведения подземных горных работ.*

В статье описаны исследования, проводимые в данном направлении, связанные с установлением влияния конструктивных характеристик и режимов работы предложенных гидродинамических активаторов на основные реологические характеристики литых твердеющих закладочных смесей, обладающих вязко-пластичными тиксотропными свойствами, что существенно осложняет их транспортирование обычными средствами доставки. Предложены оригинальные запатентованные конструкции активаторов и питателей, обеспечивающие высокую эффективность восстановления реологических свойств закладочных смесей, при их транспортировании по подземному закладочному трубопроводу.

***Ключевые слова:** закладка горных выработок, трубопроводный транспорт, закладочные смеси, активация закладочных смесей, активаторы закладочных смесей.*

***Информация о статье:** принята 18 декабря 2019 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-33-41*

Вопросы совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих смесей с пониженным водосодержанием

Характерная особенность горнодобывающей промышленности с подземным способом разработки на современном этапе — это возрастающие масштабы и интенсивность производства горных работ на основе широкого использования мощного самоходного оборудования с отбойкой руды глубокими скважинами. Однако крупным недостатком систем с массовой отбойкой является высокий уровень потерь руды в недрах [1]. Основные причины потерь — оставление руды в различного рода опорных целиках (междукамерных, междублоковых, внутриблоковых). Запасы руды из таких целиков при обычной технологии или не извлекаются вообще, или извлекаются в небольшом количестве.

Многочисленные исследования и опыт работы рудников показали, что наиболее эффективным средством, обеспечивающим сокращение потерь руды, является применение технологии подземной разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства. Твердеющая закладка позволяет

сохранить от нарушения земную поверхность, снизить потери и разубоживание полезных ископаемых, применить высокоэффективные системы разработки при выемке целиков, снизить производственный травматизм на очистных работах, значительно повысить производительность труда горнорабочих, сократить объем перевозок и переработки пород, уменьшить капитальные затраты на вскрытие месторождений.

Обычно приготовленные к твердению литые закладочные смеси (ЛТС) представляют собой схватывающиеся тонкодисперсные тиксотропные гидро-смеси с предельным напряжением сдвига и вязкостью. Размер твердых частиц, полученных обычно предварительным измельчением компонентов ЛТС составляет около 80 мкм. Опыт приготовления твердеющих смесей в различных смесителях [2] показал, что твердеющие смеси на основе промышленных отходов с содержанием фракции $-0,08$ мм до 60% и более, при доле твердого до 80%, проявляют повышенные реакционные способности в процессе гидратации, а также обладают явно выраженными тиксотропными свойствами.

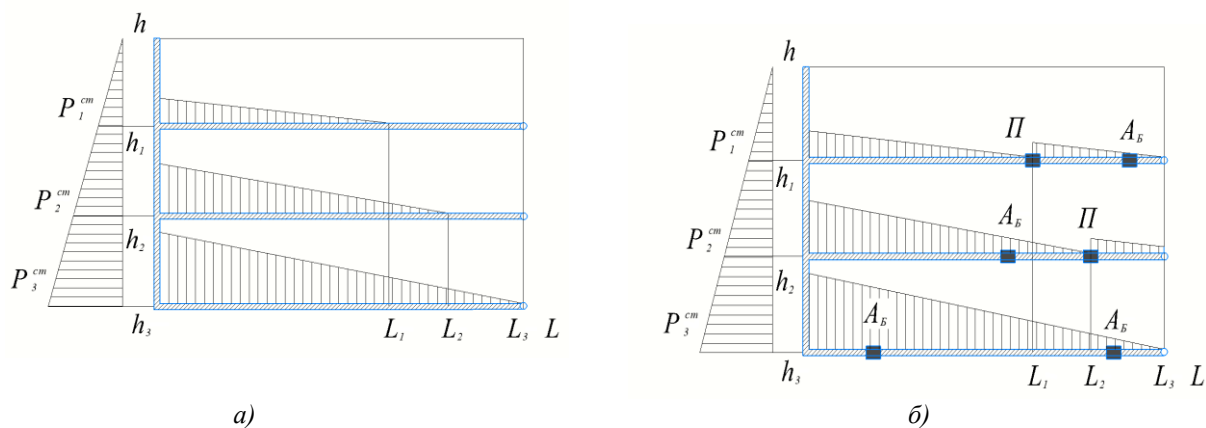


Рис. 1. Гравитационная доставка закладочных смесей
 а – при обычном трубопроводе, б – при использовании питателей и активаторов
 Fig 1. Gravitational delivery of stowage mixes
 a – with a conventional pipeline, b – when using feeders and activators

Как показывает практика закладочных работ [2] – существующая традиционная технология применения и доставки ЛТС требует усовершенствования. Структура ЛТС такова, что 85–90% составляет заполнитель с водой и 10–15% вяжущее, поэтому выбор заполнителя, как и вяжущего, во многом обуславливает издержки производства и качество получаемого закладочного массива. Для повышения прочности и скорости твердения закладочного массива в первую очередь необходимо снизить водосодержание ЛТС до минимально допустимого по условиям гидратации, то есть до 22–24%.

Движение ЛТС по трубопроводу, как у типичной жидкости с внутренней пространственной структурой, начнется лишь тогда, когда напряжение сдвига τ превысит определенное критическое значение τ_0 , необходимое для разрушения внутренней структуры [3]. Следовательно, для описания режимов течения литых вязкопластичных тиксотропных закладочных смесей должен применяться закон Шведова – Бингама согласно которому касательное напряжение в смеси составляет:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} + \tau_0,$$

где μ и τ_0 – соответственно структурная (пластическая) вязкость и динамическое напряжение сдвига жидкости.

Реологические свойства ЛТС для обеспечения надежности и бесперебойности работы трубопроводного 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. Максимальная длина горизонтального самотечного участка в таких условиях составит [1]:

$$L_{\max} = \frac{\rho g h}{\Delta P_t} - \frac{h}{\sin \alpha} - \sum_{k=1}^n n_k l_k, \text{ м}$$

где ρ – плотность закладочной смеси, кг/м³; h – высота заполнения става закладочной смесью, м; ΔP_t – удельные потери давления при движении

смеси по трубопроводу, Па/м; $\sum_{k=1}^n n_k l_k$ – сумма эквивалентных длин всех местных сопротивлений закладочного трубопровода, м; α – угол наклона трубопровода, градус.

Движение ЛТС на горизонтальных участках трубопровода обеспечивается в основном гравитационным транспортированием, то есть статическим давлением столба смеси на вертикальном участке трубопроводной магистрали. В случае необходимости увеличения расстояния горизонтального транспортирования ЛТС обычно применяется дополнительное пневматическое транспортирование, с подачей в трубопровод сжатого воздуха. К недостаткам такого способа увеличения длины трубопроводного транспортирования относится большой расход воздуха (до 200 м³/м³) и главное – расслоение смеси, что в дальнейшем снижает прочность закладочного массива.

Гравитационный трубопроводный транспорт литых закладочных смесей, обладающих тиксотропными свойствами, особенно при влагосодержании менее 30%, существенно усложняется. Изменение состава таких смесей приводит не только к изменению их прочностных свойств, но и к одновременному изменению их реологических свойств. При длительном транспортировании ЛТС по трубопроводу, под действием гидравлических сопротивлений и тиксотропных процессов, смесь постепенно переходит в ламинарный режим течения, что исключает разрушение её внутренних структурных связей. Кроме того, под действием гравитационного поля в смеси происходит седиментация твердых частиц, что существенно снижает однородность концентрации твердой фазы, которая определяется характером распределения скоростей по сечению потока и

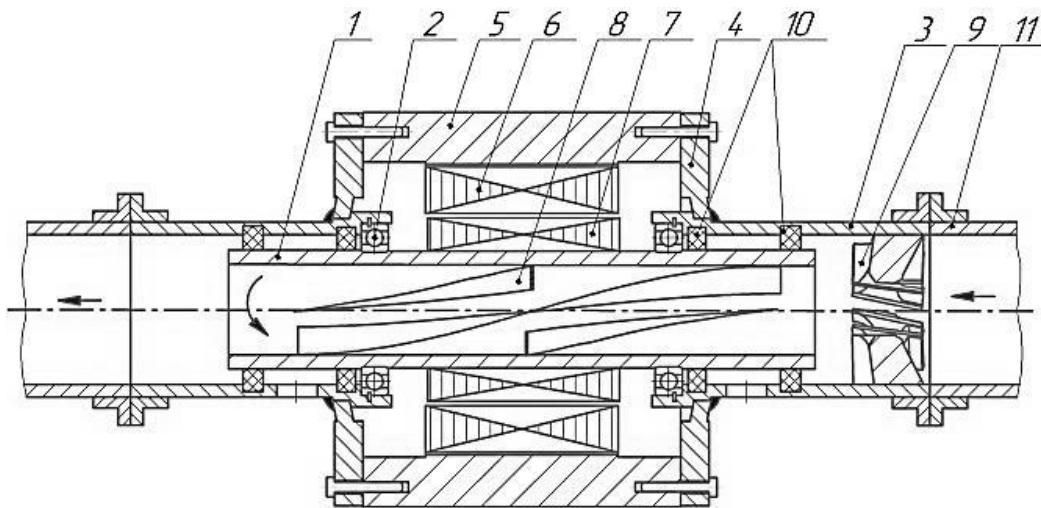


Рис. 2. Гидродинамический активатор с электромагнитным приводом
Fig. 2. Hydrodynamic activator with electromagnetic drive

связана с ним определенной закономерностью. Текучесть таких смесей снижается после прохождения определенного пути из-за повышения вязкости смеси [4].

На рис. 1, а показаны эпюры статического давления смеси P^{cm} в вертикальном закладочном трубопроводе, которое возрастает линейно на всей высоте вертикального трубопроводного става h и достигает определенного уровня на каждом шахтном горизонте. Как видно из рис. 1, а, величины давления P^{cm} в начале горизонтального участка верхних шахтных горизонтов (горизонты h_1 и h_2) не достаточно для доставки ЛТС в планируемую точку закладки. Предельные длины транспортирования L_1 и L_2 не позволяют смеси достигнуть конечного участка трубопровода.

В таких условиях важным становится создание эффективных способов и технических средств как для повышения давления смеси, с целью увеличения плеча доставки ЛТС, так и для оперативного управления реологическими свойствами закладочных смесей, с целью поддержания их в допустимых пределах. Это позволит повысить экономичность и надежность трубопроводного транспортирования литых твердеющих смесей и сохранить необходимые им реакционные свойства до момента твердения в выработанном закладываемом пространстве.

Одним из способов оперативного регулирования реологических свойств ЛТС может являться механическая активация потока закладочной смеси специальными гидродинамическими активаторами, позволяющими снизить вязкость и повысить текучесть закладочной смеси. Работа гидродинамических активаторов основана на генерировании механических возмущений непосредственно в потоке закладочной смеси с образованием поля переменных скоростей и давлений – с целью восстановления необходимых свойств текучести ЛТС. Гидродинамические активаторы могут быть размещены непосредственно на трубопроводах закладочного транспортного комплекса в одном, или нескольких местах. Активатор, установленный в точке

образования предкритического режима транспортирования смеси обеспечит дальнейшее увеличение расстояния ее устойчивого транспортирования. На рисунке 1, б такие установленные безнапорные активаторы обозначены как (A_B).

Одна из возможных конструкций такого активатора, показана на рис. 2 [5]. Активатор устанавливается как врезка в основной закладочный трубопровод с ЛТС и содержит вихревую камеру 1, установленную на подшипниках 2 внутри трубчатой проточной камеры 3, закрепленной к трубопроводу фланцами. Привод вихревой камеры выполнен в виде электрообмотки статора 6, расположенной на внутренней поверхности корпуса 5 и электрообмотки 7 вихревой камеры, проходящей через разрыв проточной камеры. Внутри трубчатой вихревой камеры могут быть установлены параллельные, или винтовые лопатки 8, создающие при вращении вихревой камеры комплексное механическое воздействие на транспортируемую смесь. При этом происходит интенсивное перемешивание смеси, сопровождающееся ее механической активацией. Взаимодействие потока смеси с лопатками обеспечивает развитие в ней гидродинамических сил, восстанавливающих реологические характеристики закладочной смеси до исходных. Предложенные активаторы выгодно отличаются своими компактными размерами, простотой и надежностью.

Приводные безнапорные механические активаторы эффективнее устанавливать на тех участках горизонтального трубопровода, где расчетами определяется вероятность перехода закладочной смеси в предкритическое реологическое состояние.

В случае недостаточности давления для дальнейшего транспортирования закладочной смеси на необходимое расстояние, могут использоваться разработанные питатели, создающие дополнительный напор смеси в трубопроводе. На рис. 3 показана конструкция такого питателя центробежного типа [6]. Специальная компоновка такого питателя позволяет устанавливать его в разрыв закладочного трубопровода. На рисунке 1, б такие, установленные на

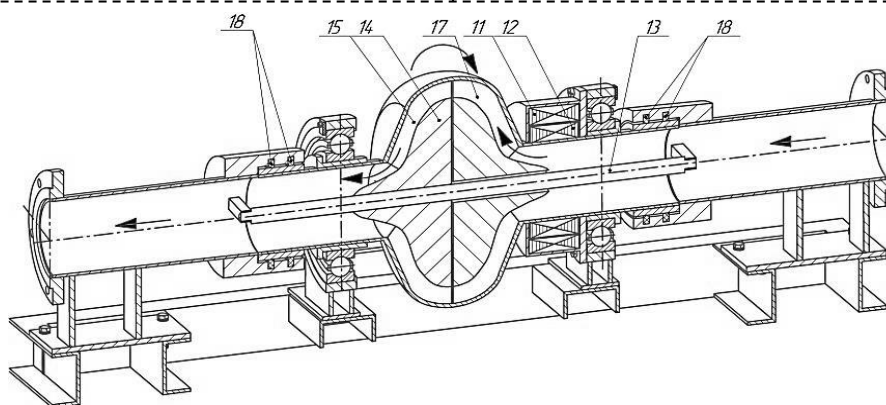


Рис. 3. Центробежный питатель для закладочных смесей
 Fig. 3. Feeder for pressure centrifugal of stowage mixes

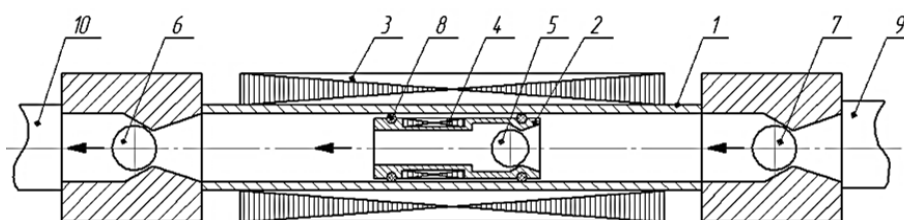


Рис. 4. Поршневой питатель для закладочных смесей
 Fig. 4. Piston feeder for stowage mixes

трубопроводной закладочной магистрали питателя, обозначены как (П).

Для повышения расстояния подачи ЛТС, или ее подъема на вышележащие горизонты при небольшой производительности, также могут применяться показанные на рис. 4 поршневые питатели с линейным электродвигателем [7]. Движителем поршня 2 в такой конструкции является кольцевой линейный электродвигатель 3. При работе линейного электродвигателя в обмотке цилиндрического статора 3 возникает бегущее вдоль его продольной оси электромагнитное поле, которое взаимодействуя с короткозамкнутой обмоткой, или магнитом 4, установленном непосредственно на поршне, создает силу, толкающую поршень 2 влево, или вправо. Стенки трубопровода 1 при этом должны быть выполнены из магнитопроницаемых материалов, например из термостойких полимеров.

Под действием давления жидкости, сжимаемой в рабочем цилиндре 1 слева от поршня 2, перепускной клапан 5 давлением жидкости закрывается, и жидкость через нагнетательный клапан 6, под давлением, выталкивается в отводящий закладочный трубопровод 10. Для обеспечения непрерывной подачи жидкости в отводящий трубопровод две подобные насосные установки, с противофазным режимом работы, могут устанавливаться параллельно и работать на один подводящий и отводящий трубопроводы.

Механическое оборудование для доставки ЛТС в ряде случаев может быть также дополнено устройствами кавитационно-ударной активации и смешивания, повышающими эффективность обработки

закладочной смеси и степень ее однородности. На рис. 5 представлен такой смесительно-активирующий комплекс [8], в котором гидратированный заполнитель подается в подводящий вертикальный трубопровод 1 смесителя. Одновременно в трубопровод 3 подаются сухие порошкообразные вяжущие компоненты и специальные добавки, ускоряющие последующий набор регламентной прочности закладочным массивом. При попадании потока гидратированной смеси в эжекционную камеру 4 смесителя, внутри камеры создается разрежение, и сухие компоненты смеси, через отверстия камеры, попадают в поток.

Полученная литая закладочная смесь ускоренного твердения попадает внутрь рабочей камеры 11, ударяется в полусферические отражатели 9. Электродвигатель вращает диск 7 с частотой, необходимой для создания ультразвуковых пульсаций потока. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, что способствует гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающемуся ее активацией. Из рабочей камеры 11 поток закладочной смеси попадает в трубопровод 12, а затем, пройдя существенное расстояние, в вихревую камеру активатора 13, аналогичного описанному выше.

Предложенный смесительно-активирующий комплекс обеспечивает возможность качественного дозированного смешивания гидратированных и сухих компонентов ЛТС, повышает эффективность активации закладочной смеси, путем увеличения интенсивности механического воздействия на смесь,

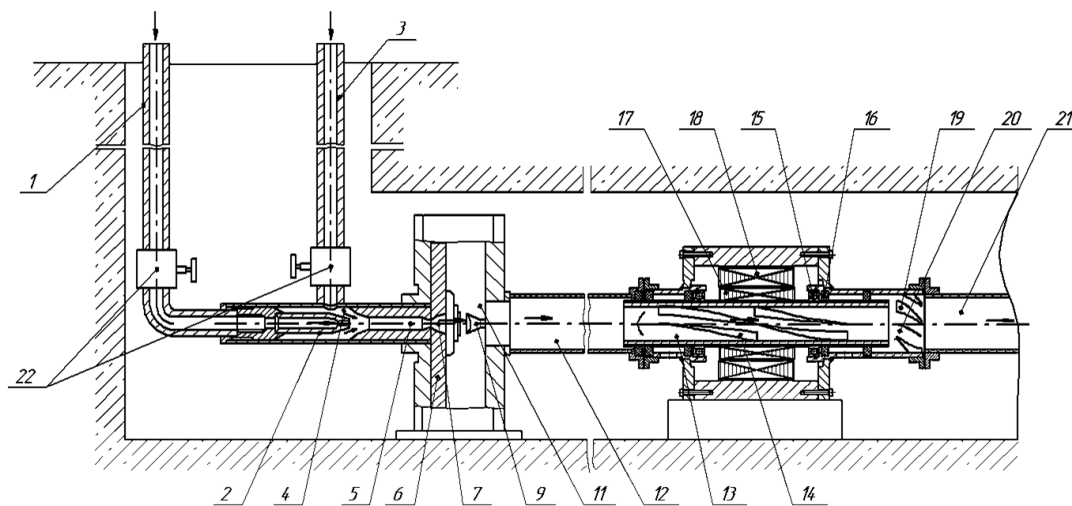


Рис. 5. Смесительно-активирующий комплекс для закладочных смесей
Fig. 5. Complex for mixing and activating stowage mixes

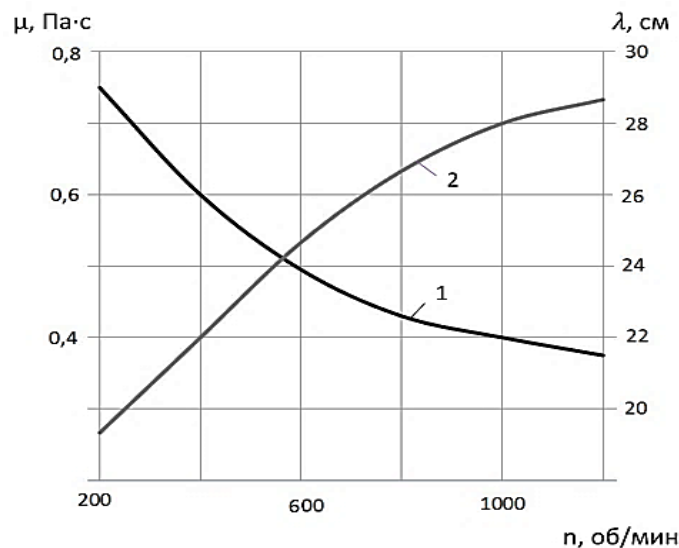


Рис. 6. Реологические показатели активированной закладочной смеси
Fig. 6. Rheological parameters of activated stowage mixes

что поддерживает её состояние транспортабельности на всем расстоянии последующего транспортирования и одновременно сокращает срок достижения смесью регламентной прочности в закладочном массиве.

Результаты исследований, изучающих влияние активирующих устройств на реологические свойства ЛТС, показывают (рис. 6) что обработанная ЛТС после прохождения через гидродинамического активатор представляет собой хорошо гомогенизированную смесь с повышенными реакционными свойствами и текучестью, при этом возможно эффективное управление реологическими свойствами закладочной смеси путем изменения рабочей частоты вращения вихревой камеры активатора. Механическая активация потока закладочной смеси обеспечивает снижение структурной вязкости μ , а также повышение характеристики растекаемости смеси по Суттарду λ .

Исследования процесса механической активации ЛТС позволяют разрабатывать наиболее эффективные способы повышения текучести вязкопластичных литых закладочных смесей, подбирать оптимальные режимы и создавать высокоэффективные механические устройства для активации ЛТС, что обеспечит возможность целенаправленно управлять текучестью закладочных смесей в трубопроводе, создавая необходимые условия поддержания их транспортабельности, при которых возможно транспортирование ЛТС на необходимое расстояние.

Технологические аспекты утилизации твердых промышленных отходов в закладочные массивы шахт

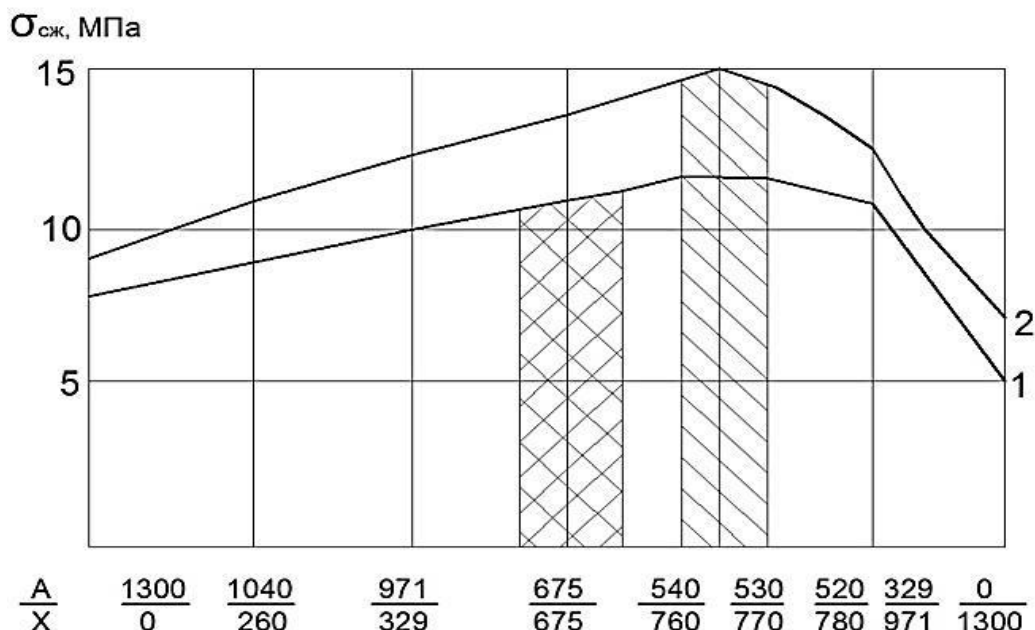


Рис. 7. Характер влияния на прочность закладочного массива активации и соотношения ангидрита и хвостов обогащения в шихте при входе в мельницу: 1 – закладочные смеси, приготовленные по традиционной технологии; 2 – активированные закладочные смеси

Fig. 7. The effect on the strength massif of the activation and the ratio of anhydrite and tail enrichment in the shith at the entrance to the mill: 1 – stowage mixes prepared by traditional technology; 2 – activated stowage mixes

Закладочные смеси различаются не только типом вяжущего, но и типом заполнителя. 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 различных производств.

В настоящее время объем отходов обогащения руд, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, достиг сотен миллионов кубических метров. Это сопровождается изъятием земель из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов для размещения на них хвостохранилищ [9]. Анализ работы закладочных комплексов на рудниках [10-12] 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.

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 отвальных продуктов горного производства, шлаков и шламов металлургических заводов, хвостов обогащения руд, золы уноса и шлаков теплоэнергетики. В связи с этим, снижение себестоимости закладочных работ с помощью использования отвальных 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 регионов, добывающих минеральное сырье [12].

Опыт работы закладочных комплексов рудников России и Зарубежья [13-15] 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 из отвальных продуктов в шаровых мельницах, подбирается шихта из нескольких типов производственных отходов, взаимно дополняющих друг друга по химическому составу (наличию CaO, Al₂O₃, MgO, F₂O₃). Активность смесей из этих материалов регулирует пороговая величина тонкости измельчения и весовое соотношение компонентов в готовой закладке.

Например, внедрение составов ЛТС с пониженным содержанием цемента проводилось на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» [2]. Прочность определялась в возрасте составов 7, 28 и 90 суток. Испытания активированной смеси на основе хвостов обогащения (X) и ангидрита (A) (рис. 7) проводились при постоянном расходе цемента (Ц) равном 150 кг/м³. Результаты рентгеноструктурного анализа составов позволили выявить характер влияния соотношения исходных компонентов закладки на прочность, при существующей гранулометрии и доизмельчении компонентов. В зависимости от соотношения ангидрита и хвостов обогащения в смеси

происходит перераспределение основных фаз структурных образований гидратированных смесей.

Таким образом, составы АХЦ твердеют за счет кристаллизации в них гипса, а также новообразований, в процессе взаимодействия хвостов обогащения с цементом и ангидритом. Одна из главенствующих фаз гипса и максимум новообразований гидросульфалоомосиликатов, гидроферритов, гидрогранатов приходится на соотношение А/Х 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 хвостов обогащения в активируемом продукте приводит к уменьшению составляющей гипса и алюмосиликата кальция с образованием этрингита в затвердевшей смеси, что обуславливает тенденцию к падению ее прочности. Таким образом, существует необходимость обоснованного подбора рецептуры ЛТС в зависимости от конкретных условий применения закладочных смесей.

Внедрение результатов вышеописанных исследований обеспечит существенное повышение экономической эффективности работы всего закладочного комплекса рудника, при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закладочные работы в шахтах. Справочник под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цигалова. –М.: Недра, 1989. 398 с.
2. Анушенков А.Н., Стовманенко А.Ю., Волков Е.П. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей, при подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. 208 с.
3. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем. Л.: Из-во Лен. ун-та, 1981. 171 с.
4. Тапсиев А.П., Анушенков А.Н., Усков В.А., Артеменко Ю.В., Плиев Б.З. Развитие технологии трубопроводного транспорта закладочных смесей на большие расстояния на руднике «Октябрьский» // Физ. тех. проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск, 2009. №3. С. 81–91.
5. Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н. Патент РФ на полезную модель № 126369 (2013) // Б.И. 2013. №9.
6. Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н. Патент РФ на полезную модель № 2589880 (2016) // Б.И. 2016. №19.
7. Патент № 166476 Российская Федерация, МПК F04B 47/06. Насосная установка с линейным электродвигателем / Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н. заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». –№ 2016113443/06; заявл. 07.04. 2016; опубл. 27.11.2016, Бюл. №33.
8. Патент №159536, Российская Федерация, МКИ E21F 15/10. Смесительно-активирующее устройство / СФУ; Стовманенко А.Ю., Волков Е.П., Анушенков А.Н. –Опубл. в Б.И., 2016. –№ 9.
9. Е.П. Волков, А.Н. Анушенков, П.С. Гузанов, А.Э. Лытнева Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горный журнал. – Москва. 2015. №6. С. 85-87.
10. Анушенков А.Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей для закладки горных выработок. Красноярск: ГУ-ЦМиЗ, 2006. 170 с.
11. Тапсиев А.П., Анушенков А.Н. Развитие технологии трубопроводного транспорта закладочных смесей на большие расстояния на руднике «Октябрьский» // Физ. тех. проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск, 2009. №3. С. 81–91.
12. В.И. Ляшенко, В.П. Франчук, Повышение эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург. – 2017, - №4. – С. 92-100.
13. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА / В.И. Голик , О.Н. Полухин , А.Н. Петин , В.И. Комащенко // Горный журнал. – Москва. – 2013, - №4. – С. 91-94.
14. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств / Д.Р. Каплунов , М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Ю.В. Корнеев // Горный журнал. – Москва. – 2013, - №2. – С. 101-104.
15. Пути повышения активности вяжущих из отходов производства при изготовлении твердеющих смесей / Т.Т. Исмаилов, А.В. Логачев, В.И. Голик, Б.С. Лузин // горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва. – 2009, - №12. – С. 180-190.

Andrey Yu. Stovmanenko, Senior Lecturer, **Evgeniy P. Volkov**, Senior Lecturer, **Alexandr N. Anushenkov**, Dr. Sc. in Engineering, Professor

Siberian Federal University, 95, Krasnoyarsk worker Avenue, 660025 Krasnoyarsk, Russian Federation

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PIPELINE TRANSPORT OF STOWAGE MIXES IN THE CONDITIONS OF UNDERGROUND MINING OF MINERAL DEPOSITS

Abstract: In article questions of improvement of systems of pipeline transportation of the cast hardening stowage mixes, for a stowage of the fulfilled excavations of the operating mining are considered. The new direction of development of technical means of the stowage mixes intended for ensuring safe and uninterrupted delivery with the lowered water content connected with use of the special hydrodynamic feeders and activators established on the stowage pipeline that creates conditions for maintenance of standard rheological properties of fluidity of stowage mixes at their pipeline transportation is offered, and provides essential increase of durability and speed of create of the stowage mass, and, as a result, increase of intensity and safety of carrying out underground mining operations.

In article the researchers conducted in this direction, connected with establishment of influence of constructive characteristics and operating modes of the offered hydrodynamic activators on the main rheological characteristics of the cast hardening stowage mixes possessing plastic properties are described that significantly complicates their transportation by usual delivery systems. Presented the original patented designs of activators and feeders providing high efficiency of restoration of rheological properties of stowage mixes at their transportation on the underground stowage pipeline are offered.

Keywords: laying of mine workings, pipeline transport, stowing mixture, activation of stowing mixtures, activators stowing mixes.

Article info: received December 18, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-33-41

REFERENCES

1. Zakladochnye raboty v shahtah [Stowage works in mines]. Spravochnik [Directory] D.M. Bronnikov, M.N. Cigalov. Moscow, Nedra, 1989. 398 P.
2. Anushenkov A.N., Stovmanenko A.Yu., Volkov E.P. Osnovy protsessov proizvodstva i transportirovaniya zakladochnykh smesey, pri podzemnoy razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh [Bases of processes of production and transportation of laying mixes, at underground development of mineral deposits]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2015. 208 P.
3. Bibik E.E. Reologiya dispersnykh sistem [Rheology of disperse systems]. Leningrad, From-in Flax. University press, 1981. 171 P.
4. Tapsiev A.P., Anushenkov A.N., Uskov V.A., Artemenko Yu.V., Pliev B.Z. Razvitie tekhnologii truboprovodnogo transporta zakladochnykh smesey na bol'shie rasstoyaniya na rudnike «Oktyabr'skiy» [Development of technology of pipeline transport of filling mixtures over long distances at the «Oktyabr'skiy» mine]. Fiz. tekhn. problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Physical technical problems of mining]. Novosibirsk, 2009. No. 3. P. 81-91.
5. Stovmanenko A.Yu., Anushenkov A.N. Patent RF na poleznuyu model № 126369 [Russian patent for a useful model № 126369 (2013)]. B. I. 2013. No. 9.
6. Stovmanenko A.Yu., Anushenkov A.N. Patent RF na poleznuyu model № 2589880 [Russian patent for a useful model № 2589880 (2016)]. B. I. 2016. No. 19.
7. Patent №166476 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F04B 47/06. Nasosnaya ustanovka s lineynym elektrodvigatelem [Pump system with linear motor]. Stovmanenko A.Yu., Anushenkov A.N. Siberian Federal University. - No. 2016113443/06; declared. 07.04.2016; publ. 27.11.2016, Byul. No. 33.
8. Patent 159536, RF, MKI E21F 15/10. Smesitel'no-aktiviruyushchee ustroystvo [Mixing and activating device]. Stovmanenko A.Yu., Volkov E.P., Anushenkov A.N. Siberian Federal University. Publ. in B. I., 2016. No. 9.
9. E.P. Volkov, A.N. Anushenkov, P.S. Guzanov, A.E. Lytneva Zakladochnye smesi na osnove otkhodov obogashcheniya rud v sistemakh podzemnoy razrabotki mestorozhdeniy Noril'skogo promyshlennogo rayona. [Laying mixtures based on ore enrichment waste in underground mining systems of the Norilsk industrial district]. Gornyy Zhurnal [Mining journal]. 2015. No. 6. P. 85-87.
10. Anushenkov A.N. Razrabotka kompleksov prigotovleniya i transporta tverdeyushchikh smesey dlya zakladki gornykh vyrabotok [Development of complexes of preparation and transport of hardening mixes for a bookmark of mine workings]. Krasnoyarsk, GUCMIZ, 2006. P. 170.
11. Tapsiev A.P. Anushenkov A.N. Razvitie tekhnologii truboprovodnogo transporta zakladochnykh smesey na bol'shie rasstoyaniya na rudnike «Oktyabr'skiy» [Development of technology of pipeline transport of filling mixtures over long distances at the Oktyabr'skiy mine] Fiz. tekhn. problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Phys. tech. problems of mineral development]. Novosibirsk, 2009. No 3. P. 81–91.
12. V.I. Lyashenko, V.P. Franchuk. Povyshenie effektivnosti aktivatsii komponentov tverdeyushchey zakladochnoy smesi v ustanovkakh vibratsionnogo truboprovodnogo transporta [Increase of efficiency of activation of components of hardening laying mix in installations of vibration pipeline transport]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal [Proceedings of higher educational institutions. Mining journal]. Ekaterinburg. 2017. No 4. P. 92-100.
13. V.I. Golik , O.N. Polukhin , A.N. Petin , V.I. Komashchenko, Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA [Ecological problems of

development of ore deposits of KMA]. Moscow. - 2013, No. 4. P. 91-94.

14. D.R. Kaplunov, M.V. Ryl'nikova, D.N. Radchenko, Yu.V. Korneev, *Peredvizhnye zakladochnye komplekсы v sistemakh razrabotki rudnykh mestorozhdeniy s zakladkoj vyrabotannykh prostranstv* [Mobile bookmark complexes in systems of development of ore deposits with a bookmark of the worked-out spaces]. *Gornyy zhurnal* [Mining journal]. Moscow. 2013, No. 2. P. 101-104.

Библиографическое описание статьи

Стовманенко А.Ю., Волков Е.П., Анушенков А.Н. Повышение эффективности трубопроводного транспорта литых закладочных смесей в условиях подземной разработки месторождений полезных ископаемых // *Горное оборудование и электромеханика* – 2019. – № 6 (146). – С. 33-41.

15. T.T. Ismailov, A.V. Logachev, V.I. Golik, B.S. Luzin *Puti povysheniya aktivnosti vjzhashhih iz othodov proizvodstva pri izgotovlenii tver-dejushhih smesey* [Ways to increase the activity of binders from production waste in the manufacture of hardening mixtures] *Gornyj informacionno-analiticheskiy bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)* [Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. Moscow. 2009, No. 12. P. 180-190.

Reference to article

Stovmanenko A.Yu., Volkov E.P., Anushenkov A.N. Improving the efficiency of pipeline transport of storage mixes in the conditions of underground mining of mineral deposits. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2019, no. 6 (146), pp. 33-41.