

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЛИТЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

Increase of system effectiveness of pipeline transport of cast stowage mixes at their mechanical activation, in the conditions of underground mining of mineral deposits

A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

In the article the authors consider questions of improvement of systems of pipeline transportation of the cast hardening stowage mixes, for a laying of the fulfilled excavations in the conditions of mining. The authors also offer a new direction of development of technical means of the stowage mixes that are intended for ensuring safe and uninterrupted delivery with the lowered water content connected with use of the special hydrodynamic activators installed on the stowage pipeline. Using activators for the purpose of creation of conditions for maintenance of standard rheological properties of fluidity the thixotropic of stowage mixes at their pipeline transportation provides an increase of durability and speed of curing of the stowage massif, and, as a result, an increase of intensity and safety of carrying out of underground mining operations.

The article describes researches, connected with establishment of influence of constructive characteristics and operating modes of the created hydrodynamic activators on the main rheological characteristics of the cast hardening stowage mixes possessing viscoplastic thixotropic properties that significantly complicate their transportation by usual delivery systems. This study presents the experimental unit that allows establishing dependences of influence of a design of the activator and the mode of processing of mix on the main rheological properties of cast stowage mixes by their mechanical activation and the subsequent comparative analysis of change of these rheological properties. As the activating devices, authors offer and describe 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.

Effective action of mechanical activation of stowage mixes, which is confirmed by results of researches, allows to draw a conclusion on prospects of the offered direction of improvement of system of pipeline transport of stowage mixes in the conditions of mining.

Keywords: stowage mixes, stowage works, pipeline transport.

В статье рассмотрены вопросы совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих закладочных смесей для закладки отработанных горных выработок в условиях 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 активаторов, устанавливаемых на закладочном трубопроводе. Активаторы применяются с целью создания условий для поддержания нормативных реологических свойств текучести тиксотропных закладочных смесей при их трубопроводном транспортировании, что обеспечивает

повышение прочности и скорости твердения закладочного массива, и, как следствие, повышение интенсивности и безопасности проведения подземных горных работ.

В статье описаны исследования, связанные с установлением влияния конструктивных характеристик и режимов работы созданных гидродинамических активаторов на основные реологические характеристики литых твердеющих закладочных смесей, обладающих вязко-пластичными тиксотропными свойствами, существенно осложняющими их транспортирование обычными средствами доставки. Представлена экспериментальная установка, позволяющая устанавливать зависимости влияния конструкции активатора и режима обработки смеси на

основные реологические свойства литых закладочных смесей путем их механической активации и последующего сравнительного анализа изменения данных реологических свойств. В качестве активирующих устройств предложены и описаны оригинальные запатентованные конструкции активаторов, обеспечивающие высокую эффективность восстановления реологических свойств закладочных смесей при их транспортировании по подземному закладочному трубопроводу.

Эффективное действие механической активации закладочных смесей, которое подтверждается результатами исследований, позволяет сделать вывод о перспективности предложенного направления совершенствования системы трубопроводного транспорта закладочных смесей в условиях горного производства.

Ключевые слова: закладочные смеси; закладочные работы; трубопроводный транспорт.

Характерной особенностью горнодобывающей промышленности на современном этапе является возрастание масштабов и интенсивности 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. Основная причина потерь в том, что руда остается в обрушенном пространстве и различного рода опорных целиках (междукамерных, междублоковых, внутриблоковых). Запасы руды из таких целиков при обычной технологии или не извлекаются вообще, или извлекаются в небольшом количестве (порядка 50 %) [1].

Запасы руды на действующих рудниках, временно оставляемые в целиках под различными охраняемыми объектами, постоянно увеличиваются. Это объясняется вводом в эксплуатацию месторождений руд с пониженным содержанием полезного ископаемого, приростом запасов в результате доразведки месторождений и другими причинами. Охранные целики приходится оставлять под водоёмами, жилыми зданиями, заводами, железными дорогами и другими инженерными сооружениями. Очевидно, что по мере расширения освоения застроенных территорий, а также вследствие дальнейшего ввода в эксплуатацию месторождений руд с пониженным содержанием полезного ископаемого в охранных целиках окажутся новые, более значительные запасы руды.

Неоднократные исследования [2, 3] 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 уберечь земную по-

верхность от нарушения, 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.

Наиболее четко в практике разработки крупных месторождений можно выделить два направления, по которым идет развитие технологии приготовления, транспорта и укладки твердеющих закладочных смесей в выработанное пространство:

1) приготовление жестких закладочных смесей в подземных условиях с доставкой их наполнительных и вяжущих компонентов к месту закладки механическими видами транспорта;

2) приготовление текучих литых твердеющих смесей (ЛТС) на поверхностных закладочных комплексах с подачей их к месту закладки с помощью самотечного или самотечно-пневматического трубопроводного транспорта.

Первая схема подачи закладочных смесей дает возможность закладывать выработанное пространство жесткими смесями. Однако указанную схему применяют лишь в тех случаях, когда закладываемые объемы невелики и не требуется тщательного подбучивания кровли или когда угол наклона кровли камер больше угла растекания жестких смесей. Вторая схема, на наш взгляд, более гибкая и используется для выполнения больших объемов закладочных работ, при производительности закладочного комплекса 30–50 м³/ч и более. Литая закладочная смесь хорошо заполняет все пустоты и трещины, чего нельзя достичь при использовании жестких смесей. При подаче в камеры литых закладочных смесей достигается наибольшая производительность транспортной установки и высокая интенсивность закладки камер. Поэтому в современных условиях на рудниках предпочтение отдается именно литым твердеющим смесям.

Используемые в настоящее время специально подготавливаемые для закладочных работ материалы: щебень, песок, гравий, цемент – характеризуются высокой стоимостью. Их применение в существующей технологии приготовления и транспорта ЛТС повышает себестоимость и ограничивает область их использования добычей руд высокой ценности.

Вследствие этого, перспективным направлением повышения эффективности закладочных работ является применение литых закладочных

смесей, приготовленных преимущественно из дешевых местных материалов, прежде всего из отходов производства (отвалы породы, хвосты обогащения, металлургические и котельные шлаки, золы уноса и др.) [4]. Принципиальная технологическая схема закладочного комплекса рудника с поверхностным приготовлением ЛТС состава «ангидрид – хвосты обогащения – шлак – цемент» (АХШЦ) и транспортного комплекса для её доставки в подземные горные выработки приведена на рис. 1.

Необходимую прочность закладочного массива обычно обеспечивают за счет подбора соответствующего расхода вяжущих и водоцементного отношения. В случае необходимости увеличения расстояния горизонтального транспортирования ЛТС обычно применяется до-

полнительное пневматическое транспортирование с подачей в трубопровод сжатого воздуха. К недостаткам способа увеличения длины трубопроводного транспорта под действием сжатого воздуха относится большой расход воздуха (до $200 \text{ м}^3/\text{м}^3$) и – главное – расслоение смеси, что в дальнейшем снижает прочность закладочного массива. Используемое для этих же целей механическое насосное оборудование имеет значительные габариты и массу, что создает сложность размещения его в подземных выработках рудников.

Требуемая прочность искусственных целиков обычно не превышает $100\text{--}120 \text{ кгс}/\text{см}^2$, а чаще достаточной является прочность $30\text{--}60 \text{ кгс}/\text{см}^2$, соответственно более рациональным является применение в качестве вяжущих низкомароч-

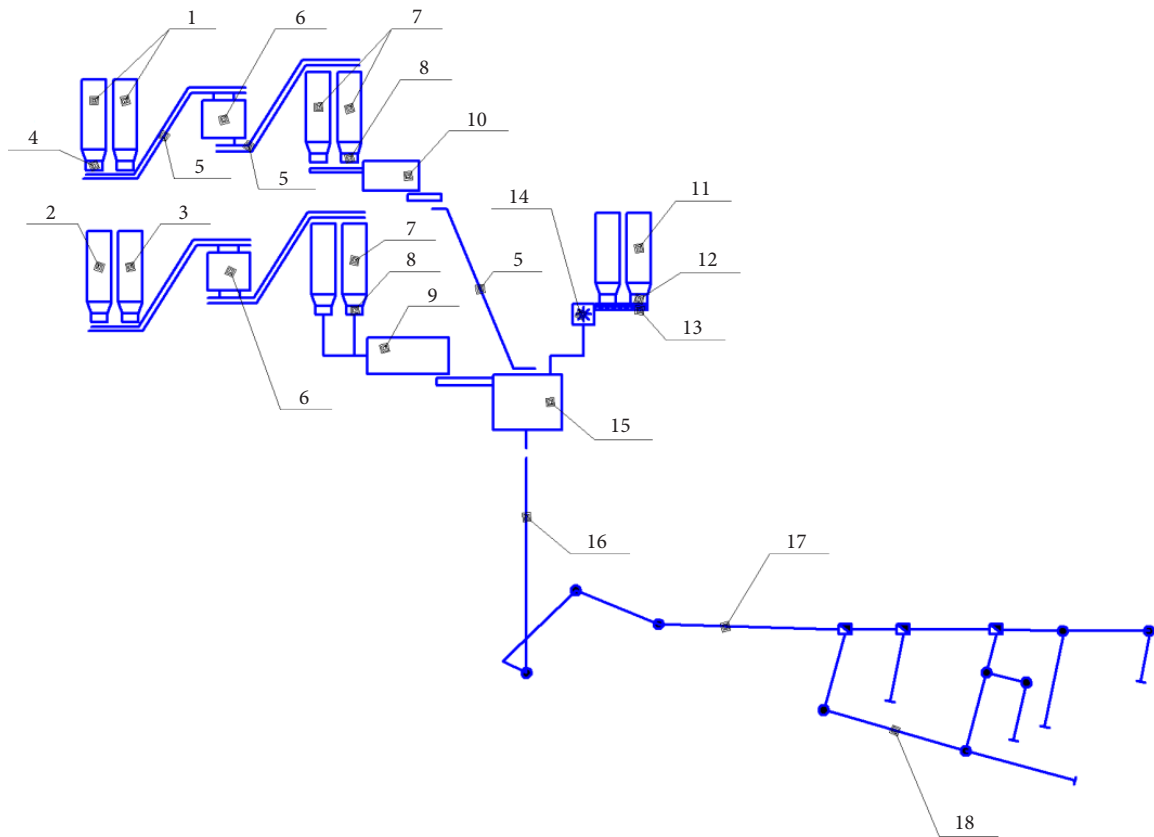


Рисунок 1. Технологическая схема закладочного комплекса подземного рудника / Figure 1 | Technological scheme of the stowage complex of underground mine. Хвосты из бункера 1, а ангидрид и шлак из бункеров 2 и 3 дозируются в зависимости от рецептуры питателями 4 и подаются по параллельным стовам конвейеров 5 в молотковую дробилку 6. Затем конвейерами перегружаются в расходный бункер 7. Далее ангидрид и шлак через дозаторы 8 подаются в шаровые мельницы 9, а песок – в сушильный барабан 10. Цемент из расходных бункеров 11 через дозаторы 12 поступает в шнек 13, которым перегружается в репульпатор 14 и далее в смеситель 15, где смешивается с просушенным песком и отдельно измельченными в шаровых мельницах шлаком и ангидритом. Вода, поступающая в смеситель, дозируется с помощью задвижки. Материал ЛТС, произведенный на оборудовании поверхностного производственного комплекса, впоследствии подается в горные выработки по вертикальному трубопроводу 16, проложенному в стволе шахты или в специально оборудованных скважинах и затем попадает в горизонтальный закладочный трубопровод 17, а также в его ответвления 18. Движение ЛТС на горизонтальных участках трубопровода 17, 18 обеспечивается в основном статическим давлением вертикального столба смеси в трубопроводе 16 (самотечное транспортирование).

ных цементов, одним из положительных свойств которых является незначительное снижение прочности закладочного массива при увеличении водоцементного отношения. Традиционно приготовленные к твердению литые закладочные смеси представляют собой схватывающиеся тонкодисперсные тиксотропные гидросмеси. Анализ зависимости реологического состояния ЛТС [4] показал, что смеси из промышленных отходов, приготовленные в шаровых мельницах с содержанием твердого вещества от 40,1 до 54,9 %, при течении в зазоре вискозиметра проявляют свойства, характерные для ньютоновских сред и характеризуются линейной реограммой, однако, начиная с концентрации около 55 %, характер течения меняется и движение смеси наступает только после приложения определенной силы, характеризующей начальное напряжение сдвига. Известно, что при любой скорости течения в таких структурированных тиксотропных смесях протекают два противоположных процесса – разрушение и восстановление внутренней структуры [5].

Равновесное состояние между этими процессами в установившемся потоке характеризуется эффективной вязкостью. 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.

При длительном транспортировании ЛТС по горизонтальному трубопроводу, под действием гидравлических сопротивлений смесь постепенно переходит в ламинарный режим течения, что исключает разрушение внутренних структурных связей в смесях, так как течение при малых скоростях происходит без относительного перемешивания слоев. Кроме того, под действием гравитационного поля в смеси происходит седиментация частиц, что существенно снижает однородность концентрации твердой фазы, которая определяется характером распределения скоростей по сечению потока и связана с ним определенной закономерностью. Это объясняется тем, что при малых скоростях течения смесей их внутренней структурной системе наносятся лишь незначительные повреждения, поскольку разрушения, неразрывно связанные с течением, успевают тиксотропно восстановиться вследствие медленности процесса течения и

дальнейшее течение смеси происходит практически без разрушения структуры. Для течения закладочных гидросмесей характерно участие твердых частиц в турбулентном перемешивании. При больших скоростях течения структура системы обычно разрушается значительно, при этом уже разрушенная структура из-за быстроты процесса не восстанавливается в полной мере. Соответственно состояние текучести тиксотропных смесей сохраняется во время механического воздействия дисперсной фазы, при снятии которого через незначительное время такие смеси переходят в неустойчивое состояние, расслаиваются и теряют подвижность.

При соотношении средней и критической скорости гидросмеси $v_{cp}/v_{кр} \approx 1,5$ обеспечивается примерно равномерное распределение твердых частиц по сечению потока, а гидросмесь приобретает свойства фиктивной однородной жидкости повышенной плотности. Сопротивление движению ЛТС по горизонтальному участку закладочного трубопровода изменяется в зависимости от скорости движения смеси и достигает максимума при критическом значении скорости $v_{кр}$ – минимальной скорости движения ЛТС, при которой все твердые частицы еще находятся во взвешенном состоянии. При уменьшении средней скорости потока ниже $v_{кр}$ на дне трубопровода образуется неподвижный, слегка уплотняющийся осадок, что приводит к его заиливанию.

Обозначив через $\bar{\tau}_n$ и $\bar{\tau}_m$ касательное напряжение на нижней границе потока закладочной смеси и интенсивность сил механического трения твердых частиц о дно трубы можно отметить, что при уменьшении скорости движения пульпы касательные напряжения соответственно уменьшаются, трение скольжения слоя частиц по дну трубы непрерывно возрастает. В случае $\bar{\tau}_n < \bar{\tau}_m$ движущая энергия потока недостаточна для преодоления силы механического трения донного слоя частиц о стенки трубопровода, и на его дне образуется неподвижный осадок. При увеличении средней скорости потока выше критической всё большее количество твердых частиц увлекается в перемещение потока, и насыщение нижнего придонного слоя уменьшается. В этом случае $\bar{\tau}_n > \bar{\tau}_m$, что соответствует устойчивому режиму транспортирования ЛТС.

На рис. 2 схематично изображена граница раздела областей устойчивого и неустойчивого режимов транспортирования ЛТС.

Критическая скорость транспортирования $v_{кр}$ соответствует предельному режиму, разделяющему устойчивый (без структурирования) и неустойчивый режимы движения смеси по

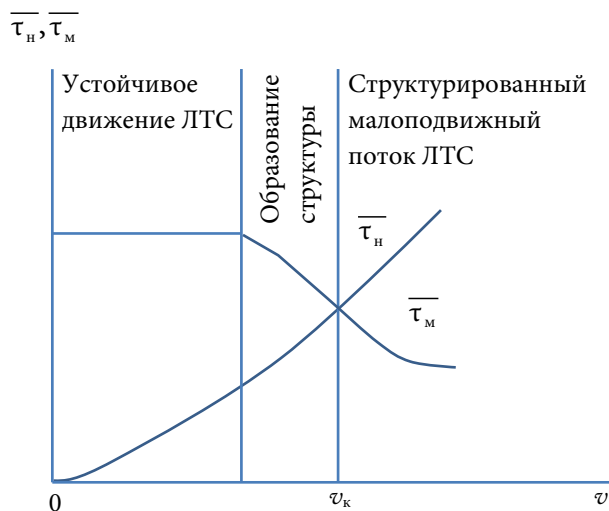


Рисунок 2 | Области устойчивого и неустойчивого транспортирования ЛТС / Figure 2. The areas of stable and unstable transport of the cast hardening mixes. Критическая скорость транспортирования $v_{кр}$ соответствует предельному режиму, разделяющему устойчивый (без структурирования) и неустойчивый режимы движения смеси по горизонтальным участкам трубопровода. Критическая скорость транспортирования определяется главным образом характеристиками закладочной смеси, диаметром трубопровода и энергией потока. Точное определение критической скорости транспортирования $v_{кр}$ для закладочных смесей с различным составом не всегда возможно, так как теоретические зависимости сложны и не полностью учитывают особенности движения тонкодисперсных тиксотропных текучих сред.

горизонтальным участкам трубопровода. Критическая скорость транспортирования определяется главным образом характеристиками закладочной смеси, диаметром трубопровода и энергией потока. Точное определение критической скорости транспортирования $v_{кр}$ для закладочных смесей с различным составом не всегда возможно, так как теоретические зависимости сложны и не полностью учитывают особенности движения тонкодисперсных тиксотропных текучих сред.

Влияние наличия внутренней структуры в закладочных смесях на их реологические свойства ограничивает возможности трубопроводного транспорта при закладочных работах, снижая производительность установки, устойчивость транспортирования и надежность работы транспортного оборудования закладочного комплекса. Самотечное транспортирование ЛТС в таких условиях имеет ограниченную максимальную длину горизонтального участка закладочного трубопровода, связанную с глубиной вертикального ствола рудника, конфигурацией трубопровода и реологическими свойствами применяемой закладочной смеси.

Как показывает практика закладочных работ, существующая традиционная технология применения ЛТС требует существенного усовершенствования. Структура ЛТС такова, что 85–90 % составляет наполнитель с водой и 10–15 % – вяжущее, поэтому выбор наполнителя, как и вяжущего, во многом обуславливает издержки производства и качество получаемого закладочного массива. Для снижения производственных затрат и повышения прочности и скорости твердения закладочного массива в первую очередь необходимо снизить водосодержание ЛТС до минимально допустимого по условиям гидратации (около 22–24 %) [6]. При трубопроводном транспортировании ЛТС водосодержание их достигает 500–550 л/м³, что существенно снижает прочность закладочного массива, но позволяет транспортировать смеси в состоянии близком к ньютоновским жидкостям.

Вместе с тем, транспорт по трубам закладочных смесей, обладающих тиксотропными свойствами, при влагосодержании менее 30 % существенно усложняется. Изменение состава таких смесей приводит к одновременному изменению не только их прочностных, но и соответствующих реологических свойств. В таких условиях становится важным создание способов и средств управления транспортом закладочных смесей, с целью поддержания их реологических и прочностных свойств в допустимых пределах. Это позволит повысить надежность трубопроводного транспортирования литых смесей и сохранить данные им необходимые реакционные свойства до их твердения в выработанном пространстве.

Важной задачей при транспортировании таких смесей с пониженным влагосодержанием и тиксотропными свойствами является обеспечение возможности управления их реологическими свойствами в процессе движения по закладочному трубопроводу, что в свою очередь позволит повысить надежность трубопроводного транспорта, увеличить расстояние транспортирования и сохранить технологически необходимые реакционные свойства ЛТС до твердения в выработанном пространстве.

Одним из методов регулирования реологических свойств ЛТС может являться механическая активация потока закладочной смеси специальными гидродинамическими активаторами [7, 8], позволяющими снизить вязкость и повысить текучесть закладочной смеси. Работа гидродинамических активаторов основана на генерировании механических возмущений в закладочной смеси с образованием поля переменных скоростей и давлений с целью восстановления текучести закладочной смеси. Гидродинамические ак-

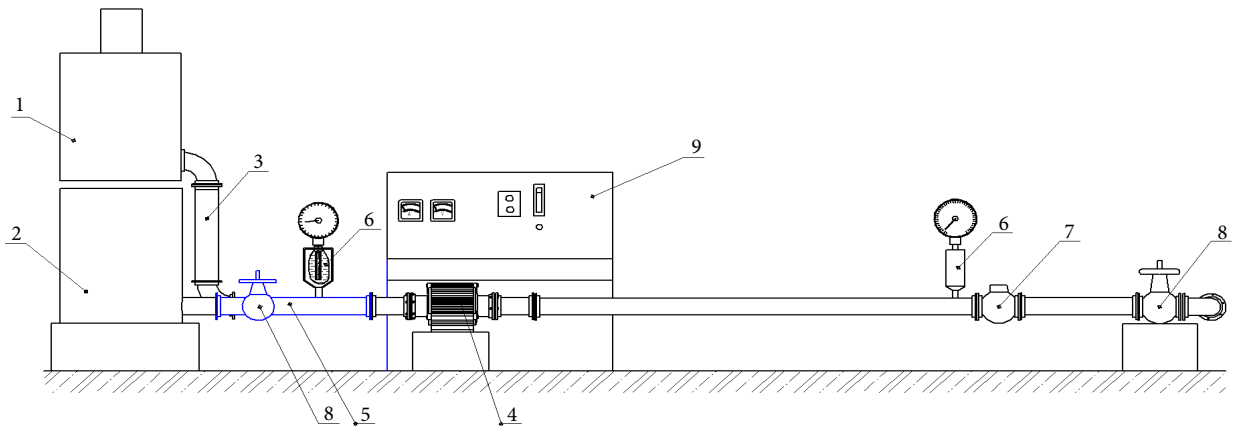


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки / Figure 3 | Experimental unit scheme. 1 – верхний подготовительный бак; 2 – нижний приемный бак; 3 – подводящий трубопровод; 4 – гидродинамический активатор ЛТС; 5 – отводящий трубопровод; 6 – датчики давления; 7 – устройство для забора проб; 8 – задвижки; 9 – щит управления.

тиваторы могут быть размещены на подземных магистральных трубопроводах транспортного закладочного комплекса в одном или нескольких местах. Активатор, установленный в точке образования предкритического режима транспортирования смеси, обеспечит дальнейшее увеличение расстояния её устойчивого транспортирования.

Активирующие устройства и их влияние на реологические свойства ЛТС нуждаются в тщательном исследовании. Созданная опытная установка для исследования активации литых закладочных смесей обеспечивает возможность определять, оценивать и сравнивать влияние механического воздействия испытываемых конструкций активаторов и их режимов работы на

реологические свойства различных закладочных смесей.

Принципиальная схема установки показана на рис. 3 и включает в себя участок трубопровода с установленным активатором, создающим воздействие на движущуюся вязкопластичную среду.

Первоначально смесь находится в верхнем (подготовительном) баке 1 с механической мешалкой. После заполнения трубопровода 3 и выдерживания ЛТС до начала структурирования, смесь подаётся в трубопровод с установленным активатором 4. Первоначально производится отбор проб неактивированной смеси. Обработанная в гидродинамическом активаторе 4 смесь затем перетекает в нижний бак 2, откуда впоследствии проводится забор образцов акти-

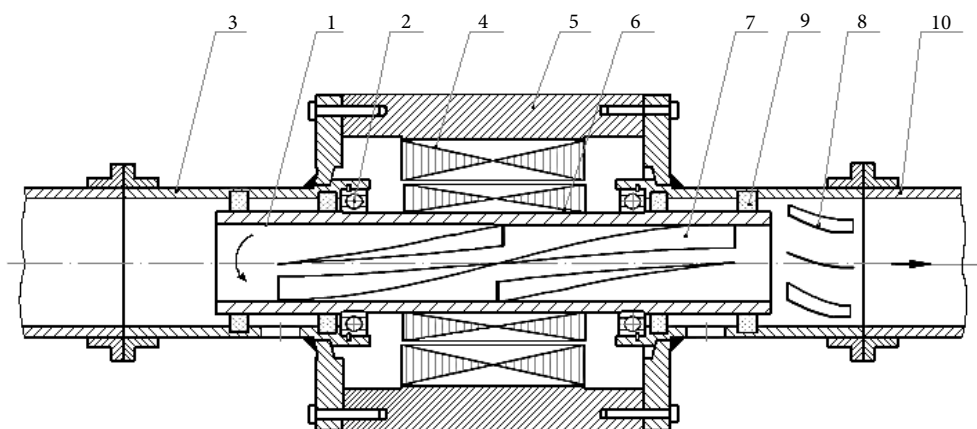


Рисунок 4. Гидродинамический активатор с электроприводом / Figure 4 | Hydrodynamic activator with electromotive. Активатор содержит вихревую камеру 1, установленную на подшипниках качения 2 внутри трубчатой проточной камеры 3. Привод вихревой камеры также выполнен в виде электрообмотки 4, расположенной на внутренней поверхности корпуса 5 и роторной электрообмотки 6, проходящей через разрыв проточной камеры 3. Внутри трубчатой вихревой камеры установлены винтовые лопасти 7, создающие при вращении вихревой камеры комплексное механическое воздействие на транспортируемую жидкую среду, при этом аналогично происходит интенсивное перемешивание потока смеси, сопровождающееся ее активацией. Взаимодействие потока смеси с винтовыми лопатками 8 также обеспечивает развитие в смеси гидродинамических сил и приращение напора и скорости смеси в сторону движения потока по трубопроводу 10.

вированной смеси для дальнейшего анализа. Структурная вязкость μ литой вязкопластичной смеси определяется ротационным вискозиметром, растекаемость смеси по Суттарду λ определяется по стандартной методике.

Для определения давления смеси в трубопроводе установлены датчики давления 6 с разделительной камерой. Забор проб смеси до активации проводится с помощью устройства 7. Расход смеси q определяется мерным устройством приемного бака. Для обеспечения слива смеси или возврата её в аккумулирующий бак установлен дополнительный насос.

Экспериментальные работы по выявлению основных зависимостей между параметрами вязкопластичных смесей и конструкцией и режимом работы гидродинамических активаторов позволили установить:

- коэффициент динамической вязкости μ , растекаемость закладочных смесей λ по Суттарду до и после активации;
- влияние режимов работы гидродинамических активаторов и их конструкции на эффективность восстановления реологических параметров вязкопластичных тиксотропных литых закладочных смесей.

Исследования с помощью опытной установки позволили разработать эффективные способы и подобрать оптимальные режимы воздействия на вязкопластичные закладочные смеси с

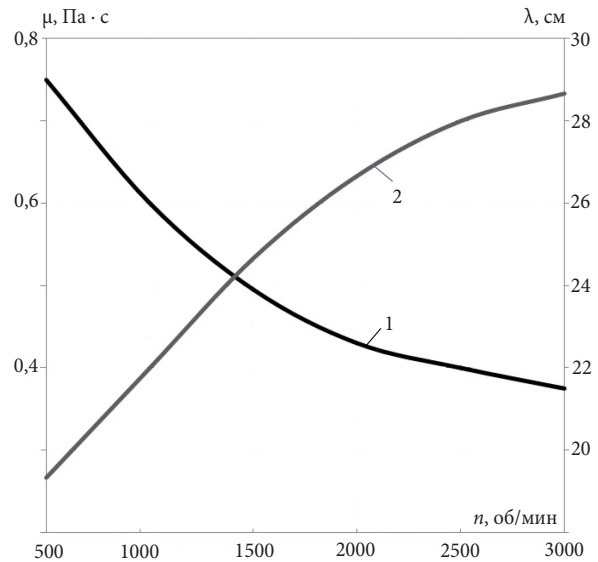


Рисунок 5. Реологические показатели активированной закладочной смеси / Figure 5 | Rheological indicators of activated stowage mixes. 1 – зависимость структурной вязкости μ от числа оборотов активатора; 2 – зависимость растекаемости смеси λ по Суттарду от числа оборотов активатора.

целью повышения их текучести. В качестве наиболее эффективных конструкций активаторов предложены механические активаторы с электроприводом, которые обеспечивают эффективное и управляемое воздействие на движущуюся

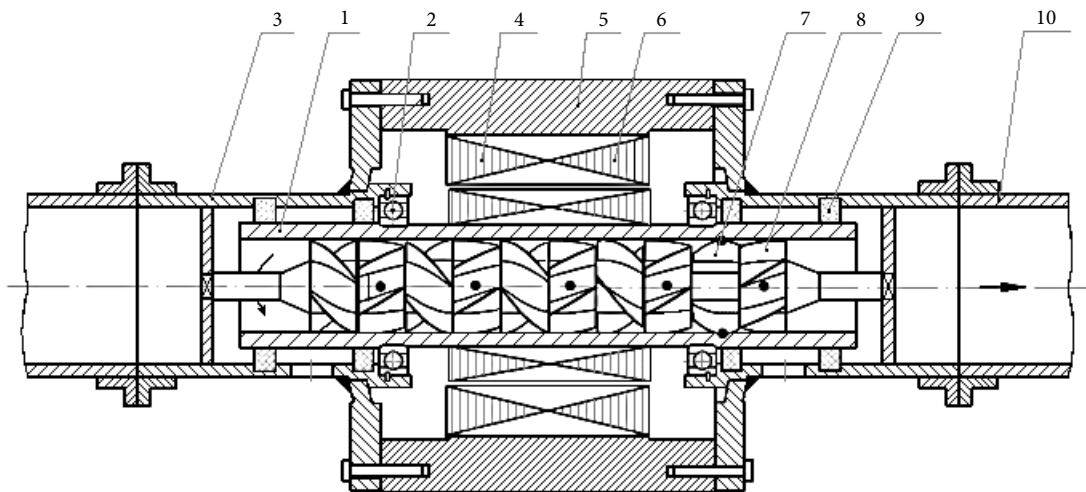


Рисунок 6. Многоступенчатый активатор закладочных смесей / Figure 6 | Multistage activator of stowage mixes. Активатор содержит вихревую камеру 1, установленную на подшипниках 2, внутри трубчатой проточной камеры 3. Электропривод вихревой камеры активатора имеет статорную электрообмотку 4, расположенную на внутренней поверхности корпуса 5, и роторную электрообмотку 6, закрепленную на наружной поверхности вихревой камеры. Внутри вихревой камеры проходит неподвижная ось, на которой установлены свободно сидящие втулки 7 с рабочими лопатками, присоединенными к вращающейся вихревой камере. Между этими втулками, на оси установлены неподвижные втулки 8 с лопатками, имеющими взаимно противоположный угол установки по отношению к рабочим лопаткам. Для герметизации подшипниковых опор от транспортируемой жидкости в проточной камере активатора установлены уплотнения 9. Активатор монтируется непосредственно на транспортный закладочный трубопровод 10.

закладочную смесь, при возможности регулирования режимов их работы.

Одна из конструкций такого активатора показана на рис. 4 [9].

Результаты начальных исследований показывают, что после прохождения через гидродинамический активатор закладочная смесь типа ХЦ, состоящая из хвостов обогащения, цемента и воды, представляет собой хорошо гомогенизированную гидросмесь с повышенной текучестью и реакционными свойствами, причем возможно эффективное быстрое управление реологическими свойствами закладочной смеси путем изменения рабочей частоты вращения вихревой камеры активатора *n*. Механическая активация потока закладочной смеси обеспечивает снижение структурной вязкости μ (рис. 5) и повышение растекаемости смеси λ по Суттарду.

В случае недостаточности напора для транспортирования закладочной смеси на закладочном трубопроводе могут устанавливаться многоступенчатые конструкции активаторов (рис. 6), создающие существенно больший напор смеси в направлении её движения.

Полученные закономерности изменения вязкости, текучести и, как следствие, транспортабельности закладочных смесей, в зависимости от характеристик воздействия на них гидродинамическими активаторами, обеспечивают возможность создания в дальнейшем высокоэффективных устройств для активации ЛТС и позволяют управлять текучестью закладочных смесей в трубопроводе, что дает возможность трубопроводного транспортирования ЛТС на значительное расстояние.

Таким образом, результаты описанных исследований по обеспечению управления реологическими свойствами литых закладочных смесей, находящихся в состоянии близком к потере транспортабельности воздействием на них гидродинамическими активаторами различных конструкций, решают поставленную задачу повышения эффективности работы трубопроводного транспорта закладочного комплекса, при закладке подземных горных выработок.

Принято к публикации 20.02.2016

ЛИТЕРАТУРА

1. Анушенков А. Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей для закладки горных выработок. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2006. 170 с.
2. Штеле В. И., Николаев Ю. И., Анушенков А. Н. Статистический анализ качества приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на рудниках

Норильского ГМК // Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата, 1991. № 4. С. 70–72.

3. Методические указания по определению рациональных режимов мельничного способа приготовления многокомпонентных закладочных смесей на рудниках «Маяк», «Таймырский», Норильского ГМК / В. И. Штеле [и др.]. Новосибирск: ИГД СО РАН, 1991. 123 с.
4. 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.
5. Бибик Е. Е. Реология дисперсных систем. Л.: Из-во Лен. ун-та, 1981. 171 с.
6. Развитие технологии трубопроводного транспорта закладочных смесей на большие расстояния на руднике «Октябрьский» / А. П. Тапсиев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2009. № 3. С. 81–91.
7. Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Активация материалов смеси из отходов производства – основа приготовления и транспорта твердеющих составов для закладки горных выработок // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. трудов 9-й Междунар. науч.-техн. конф. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. С. 271–273.
8. Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Повышение эффективности транспортирования закладочных смесей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных условиях: матер. 13-го Междунар. симп. Белгород: ВИОГЕМ, 2015. С. 292–303.
9. Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Активатор жидких сред: пат. № 126369. 2013. № 9.

REFERENCES

1. Anushenkov A. N. 2006, *Razrabotka kompleksov prigotovleniya i transporta tverdeyushchikh smesey dlya zakladki gornykh vyrabotok* [Development of complexes of preparation and transport of the hardening mixes for a laying of excavations], 170 p.
2. Anushenkov A. N., Volkov E. P. 2015, *Osnovy protsessov proizvodstva i transportirovaniya zakladochnykh smesey, pri podzemnoy razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Bases of processes of production and transportation of stowage mixes, by underground mining of mineral deposits], 208 p.
3. Bibik E. E. 1981, *Reologiya dispersnykh sistem* [Rheology of disperse systems], 171 p.
4. Tapsiev A. P., Anushenkov A. N., Uskov V. A., Artemenko Yu. V., Pliev B. Z. 2009, *Razvitie tekhnologii truboprovodnogo transporta zakladochnykh smesey na bol'shie rasstoyaniya na rudnike «Oktyabr'skiy»* [Development of technology of pipeline transport of stowage mixes on long distances on Oktyabrsky mine]. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], no. 3, pp. 81–91.
5. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. 2011, *Aktivatsiya materialov smesi iz otkhodov proizvodstva – osnova prigotovleniya i transporta tverdeyushchikh sostavov dlya zakladki gornykh vyrabotok* [Activation of materials of mix from production wastes – a basis of preparation and transport of the hardening structures for a laying of excavations]. *Sovremennyye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov: sbornik 9-y Mezhdunarodnoy nauch-*

no-tekhnicheskoy konferentsii [Collection of the 9th International scientific and technical conference "Modern Technologies of Development of Mineral Resources"], pp. 271–273.

6. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. 2015, Povyshenie effektivnosti transportirovaniya zakladochnykh smesey pri podzemnoy razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh [Increase of efficiency of transportation of stowage mixes by underground mining of mineral

deposits]. *Osvoenie mestorozhdeniy mineral'nykh resursov i podzemnoe stroitel'stvo v slozhnykh usloviyakh: materialy 13-go mezhdunarodnogo simpoziuma* [Materials of the 13th international symposium "Development of fields of mineral resources and underground construction in difficult conditions"], pp. 292–303.

7. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Aktivator zhidkikh sred* [Activator of liquid mediums]. Patent RF, no. 126369, 2013.

Андрей Юрьевич Стовманенко,
старший преподаватель
s600122@yandex.ru

Александр Николаевич Анушенков,
доктор технических наук, профессор
Сибирский федеральный университет,
Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79

Andrey Yur'evich Stovmanenko,
the senior teacher
s600122@yandex.ru

Aleksandr Nikolaevich Anushenkov,
Dr, Professor
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia