

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК К ВЯЖУЩЕМУ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В.И. Голик², Ю.В. Дмитрак¹, К.К. Хулелидзе¹, Б.С. Цидаев¹

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия

² Геофизический институт Владикавказского научного центра, Владикавказ, Россия,
e-mail: v.i.golik@mail.ru

Аннотация: Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса технологически развитых стран связаны с освоением безотходных и малоотходных технологий добычи полезных ископаемых и утилизацией отходов. Эффективность развития добычных работ обосновывается исследованиями структурно-чувствительных свойств минералов и видов воздействий на них с целью направленного изменения свойств отходов и минеральных комплексов с близким химическим составом индивидуумов. Структурно-чувствительные свойства минералов изменяют с помощью ряда методов, среди которых важное место занимают механохимические методы. Механохимические воздействия образуют частицы с различными типами дефектов и энергетическими уровнями поверхности. Структурные преобразования приповерхностных слоев активируемого минерала увеличивают контрастность и градиент свойств, что обеспечивает производство товаров из утилизируемых минералов на базе дезинтеграторной технологии. Полнота использования недр обеспечивается применением технологий с заполнением пустот твердеющими смесями, что актуализирует проблему обеспечения горных работ минеральным сырьем для изготовления твердеющих смесей. Дефицит вяжущей компоненты может быть восполнен применением обладающих вяжущими свойствами минеральных добавок на основе утилизируемых отходов, в том числе, с применением пластификаторов. Свойства вяжущих компонент и заполнителей твердеющей смеси корректируют путем, в том числе, механического воздействия, например, в дезинтеграторах, использующих силы инерции материалов при высокой скорости вращения. Компонентами твердеющих смесей могут быть большинство отходов горного производства и смежных отраслей, что определяется исследованиями технологических свойств в конкретных условиях.

Ключевые слова: подземная разработка, отходы, твердеющая смесь, активатор, прочность, свойства, дезинтегратор, мельница.

Для цитирования: Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Хулелидзе К.К., Цидаев Б. С. Влияние активации минеральных добавок к вяжущему на прочность бетонных смесей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 6. – С. 66–78. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-66-78.

Effect of activation of binder mineral admixtures on concrete mix strength

V.I. Golik², Yu.V. Dmitrak¹, K.K. Khulelidze¹, B.S. Tsidaev¹

¹ North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, Russia

² Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Vladikavkaz, Russia,
e-mail: v.i.golik@mail.ru

Abstract: Development prospects of mineral mining and processing in technologically advanced countries are connected with wasteless and low-waste technologies of mineral extraction and waste management. Mining development efficiency is supported by scientific research into mineral structure and response as well as into the type of action aimed to alter the properties of waste and compounds of minerals of similar chemical compositions. Structural responsiveness of minerals can be changed using different methods, including the most critical mechanochemical approaches. Mechanochemical effects generate particles having different type defects and energy levels of surface. Structural transformations in surface layers of a mineral subjected to activation improve the contrast and gradient of properties, which allows commodity production from junk based on disintegration technology. Efficient subsoil management uses technologies with cemented backfill, which needs that mining provides raw material for preparation of cemented mixes. Deficiency of binders can be overcome by using binding mineral admixtures made of waste, including plastifiers among other things. Properties of binders and aggregates in a cemented mix can be adjusted by mechanical action, for instance, in disintegrators making use of inertia forces of materials at high rotation speeds. Majority of waste both in mining and in allied industries can be components of cemented mixes, which is determined by tests of compounding properties under specific conditions.

Key words: underground mining, waste, cemented mix, activator, strength, properties, disintegrator, mill.

For citation: Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Khulelidze K. K., Tsidaev B. S. Effect of activation of binder mineral admixtures on concrete mix strength. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):66-78. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-66-78.

Введение

Извлечение твердых полезных ископаемых из недр характеризуется ослаблением устойчивости участка земной поверхности над эксплуатируемым месторождением и накоплением отходов добычи и переработки с нарушением экологии прилегающих территорий, изменением ландшафтов, исключением из оборота земли и др. [1–4]. Наименьший ущерб земной поверхности несут технологии разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, которые минимизируют деформации рудовмещающих пород. Расширение области применения этих технологий является приоритетным направлением развития горного производства.

Основной недостаток использования твердеющей закладки — высокая стоимость — может быть уменьшена при использовании в составе закладочных смесей отходов отраслей хозяйства в качестве минеральных добавок к вяжущему цементу и инертным заполнителям.

На горных предприятиях накоплены породы от подземных работ, хвосты обогащения и золошлаки котельных или ТЭЦ и другие твердые и жидкие отходы. Возможность их использования является содержанием многочисленных исследований российских и зарубежных ученых [5–7].

При добыче металлических руд инструментом повышения полноты и качества использования недр является технология с заполнением пустот твердеющими смесями. Реализация этой технологии требует обеспечения сырьем для изготовления твердеющих смесей. Таким сырьем могут стать хвосты обогащения и переработки, отходы смежных производств. Их использование сокращает ущерб окружающей природной среде.

Постановка проблемы

При подземной разработке рудных месторождений инструментом комплексного повышения всех показателей использования ресурсов недр является за-

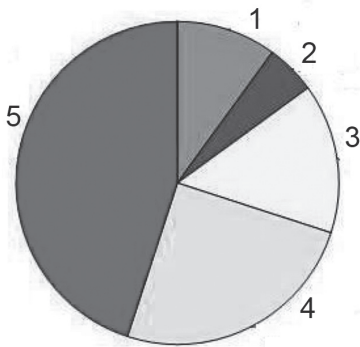


Рис. 1. Соотношение компонентов твердеющей смеси, %: 1 — цемент, 10%; 2 — воздух, 5%; 3 — вода, 5%; 4 — мелкий заполнитель, 25%; 5 — крупный заполнитель — 45%

Fig. 1. The ratio of the component hardening mixture, %: 1 — cement, 10%; 2 — air, 5%; 3 — water, 5%; 4 — fine aggregate, 25%; 5 — large aggregate, 45%

полнение технологических пустот твердеющими смесями (рис. 1).

Проблемой становится обеспечение горного производства сырьем для изготовления твердеющих смесей.

Проблемы технологической возможности, экономической целесообразности и экологической значимости использования отходов формируют задачи исследования технологических свойств: обоснование параметров ориентированной на новые компоненты технологии приготовления и транспорта закладочных смесей, оптимизация режимов работы закладочных комплексов, управление свойствами закладочных смесей на различных этапах их существования и др.

Методология

Условием эффективного развития добычных работ являются исследования технологических свойств минерального сырья на основе современных достижений науки, техники, технологий. Решение задач технологической оценки минерального сырья осуществляется методами технологической минералогии, изучающими зависимости технологических свойств минералов от их состава и строения, и направленного изменения

свойств минералов с целью их использования в основных и вспомогательных процессах добычи минерального сырья.

Учитывая разнообразие вовлекаемых в производство отходов и исследовательские возможности горных предприятий, методы решения проблемы весьма различаются. Общность методов обоснования параметров технологий заключается в единых составляющих процессов: обобщение, систематизация и критический анализ опыта применения, выработка и обоснование новых параметров, и экспериментальная проверка полученных результатов.

Стоимостные и иные параметры разработанной технологии уточняются путем моделирования экспериментальных данных в уточненных условиях использования новых технологий. Наиболее трудоемким, но объективным, является экспериментальное доказательство корректности предлагаемой технологии.

Результаты и их обсуждение

Одной из проблем недропользования является ухудшение воспроизводства минерально-сырьевой базы в условиях рынка и ужесточения требований к полноте использования недр. Промышленное освоение месторождений связано со значительными потерями полезных компонентов в отходах переработки сырья и негативным влиянием их на окружающую среду. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса связаны с освоением безотходных и малоотходных технологий добычи полезных ископаемых, утилизацией отходов и рекультивацией земель.

При добыче твердых полезных ископаемых из недр накопление минеральных отходов горного производства сопровождается нарушением гидрогеологических режимов прилегающих территорий, изменением ландшафтов, исключением из оборота земли и др.

Показатели извлечения минерального сырья из недр увеличиваются применением технологий с заполнением выработанного пространства твердеющими смесями, что породило проблему обеспечения горного производства минеральным сырьем для их изготовления.

Минеральные вяжущие вещества — порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой способное затвердевать пластичное тесто.

Быстро развивающейся областью технологической минералогии является исследование структурно-чувствительных свойства минералов и видов воздействий с целью направленного изменения свойств минералов. К таким минералам относятся техногенные месторождения отходов горного производства и минеральные комплексы с близким химическим составом индивидуумов [8–10].

Структурные преобразования приповерхностных слоев минерала увеличивают контрастность и градиент свойств, что имеет промышленное применение, например, при производстве товаров на базе дезинтеграторной технологии. Структурно-чувствительные свойства изменяют с помощью ряда методов, среди которых важное место занимают механохимические методы.

Рационализация использования техногенного сырья базируется на современных методах минералогических исследований.

Основным компонентом твердеющей смеси является гидравлическое вяжущее вещество — портландцемент, получаемый тонким помолом клинкера — спекшейся смеси известняка и глины. Инертные заполнители занимают до 80% объема бетона и сокращают расход цемента.

Усадка цементного камня при твердении достигает 1–2 мм/м, а заполнитель воспринимает напряжения усадки, чем уменьшает усадку бетона.

Химические добавки к составу бетонных смесей подразделяют на активизаторы, ускорители твердения и противоморозные. По характеру действия различают пластифицирующие, пластифицирующие воздухововлекающие, и микропенообразующие добавки.

Добавки не изменяют характера основных зависимостей, но влияют на количественное соотношение участвующих факторов. Так, введение в смесь пластификаторов уменьшает водопотребность твердеющей смеси на величину до 30%.

Тонкомолотые активные минеральные добавки или микронаполнители снижают активность цемента, но увеличивают общее количество вяжущего и экономят цемент. В то же время, расход цемента не должен превышать 600 кг/м³, потому что дальнейшее увеличение количества цемента препятствует процессу гидратации и цементации.

На смену чистым портландцементом приходят цементы с минеральными добавками: доменный шлак, зола, известняковая мука, пуццолан и др. Экономия цемента до 30% достигается введением в цемент песка, известняка, золы и совместным помолом компонент.

Производство бетонов на цементе одной марки требует расхода цемента от 200 до 500 кг/м³. Дефицит мелкодисперсных частиц компенсируется введением минеральных добавок. В качестве минеральной добавки и вяжущего вещества эффективны доменные гранулированные шлаки, обладающие способностью к самостоятельному гидратационному твердению. За счет использования грубодисперсного доменного гранулированного шлака с оптимальной дисперсностью можно снизить расход портландцемента до 40–50%. Основными материалами для приготовления вяжущих компонентов являются доменный гранулированный шлак и шлакопортландцемент.

Таблица 1

Физико-механические показатели исходных компонентов смеси
Physico-mechanical indicators of the initial components of the mixture

Показатели	Единицы измерения	Гранулированный шлак	Золошлак текущий	Золошлак отвальный
Плотность	кг/м ³	2330	2130	2170
Насыпная плотность	кг/м ³	1410	570	530
Остаток на сите 5,0 мм	%	8,3	25,2	23,6
Удельная поверхность	м ² /кг	7,67	239,6	253,2
Модуль крупности		3,20	1,04	1,11

Из опыта их применения можно сделать выводы:

- минимальный расход цемента в высокопрочных составах на их основе при использовании цемента М-400 — 30 кг/м³;
- повышение марки цемента с 400 до 500 снижает долю цемента в комплексном вяжущем;
- прочность твердеющих смесей с активированными добавками к цементу повышается при корректировке их свойств.

Свойства некоторых компонентов твердеющей смеси приведены в табл. 1.

Активность минерального техногенного сырья повышается обработкой в дезинтеграторах, где суммарная линей-

ная встречная скорость обработки достигает 160 м/с (рис. 2).

В бетонных конструкциях используют вяжущие вещества размером до 10 мкм с удельной поверхностью частиц 600—4000 см²/г. Их диспергирование и многокомпонентное смешивание осуществляется в скоростной мельнице — дезинтеграторе.

В новое время получила признание новая компонента технологии — механическая активация вещества большой энергией. В установке, где частицы вещества получают следующие со скоростью 250 м/с друг за другом удары, технологические свойства минералов изменяются.

В трудах К. Венцеля, В. Оствальда, Штойнера Х. Фромма, К. Петерса понятие «механохимия» формулируется как изменение свойств минерального вещества в активаторах.

Качество искусственного камня зависит не от высокой, а оптимальной тонины помола.

Если прочность образцов, приготовленных на основе песков после шаровой мельницы и вибромельницы, одинакова, то прочность образцов, приготовленных на основе обработки в дезинтеграторе, оказывается существенно больше. Различия в свойствах активированных в дезинтеграторе и в мельницах минералов, характеризующихся разной прочностью приготовленных в одинаковых ус-

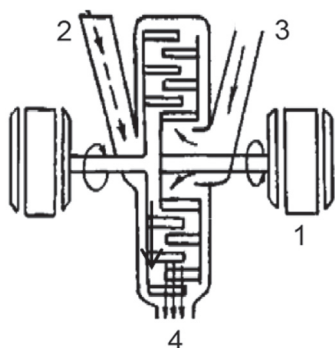


Рис. 2. Схема механохимического извлечения металлов: 1 — дезинтегратор; 2 — вода; 3 — исходный минерал; 4 — активированный минерал
 Fig. 2. Scheme of mechanochemical extraction of metals: 1 — disintegrator; 2 — water; 3 — source mineral; 4 — activated mineral

ловиях смесей, объясняют активностью дезинтеграции.

При обработке минерального сырья оно разрушается по поверхностям спайности кристаллов, в том числе, по границе разделов фаз. Поэтому процессы сепарирования фаз минералов упрощаются, а выход целевого продукта увеличивается. Опыт изменения свойств минералов при активации в дезинтеграторе показывает, например:

- обработка тампонажных смесей для скважин при добыче нефти и газа повышает прочность обделки до 5 раз;
- при производстве силикальцита получается искусственный камень равной прочности при уменьшении расхода энергии на 50% и др.

Дезинтеграторы активно используют в производстве силикальцита, известняковой муки, тампонажных цементов, приготовлении комбикорма.

Процессы, протекающие в дезинтеграторе, аналогичны процессам, происходящим в реакторах идеального смешения в условиях непрерывного действия. Время пребывания в рабочей зоне роторов дезинтегратора является функцией угловой скорости, радиуса круга, угла наклона пальца и коэффициента трения между пальцем и обрабатываемой частью.

Теоретические аспекты активации вяжущих компонентов в дезинтеграторе:

- обработка в активаторах повышает собственную активность компонент

Сводные результаты активации вяжущих компонент
Summary of the activation of binding components

Вид активатора	Удельная поверхность, см ² /г	Предел прочности при сжатии, МПа		Продукты гидратации через 1 сутки после пропаривания		
		1 сут	180 сут	H ₂ O, %	Ca(OH) ₂ , %	CaCO ₃ , %
Шаровая мельница	2088	8	16	4,9	1,6	1,8
Дезинтегратор (1 раз)	1532	12	21	7,1	2,5	3,2
Дезинтегратор (2 раза)	2100	12	20	7,4	2,5	2,5
База — цемент 100%	3500	14	26	9,6	5,6	5,5

тов твердеющей смеси за счет концентрации высокой кинетической энергии;

- эффект активации проявляется при скорости от 70 до 150 м/с и времени обработки вещества от 50 до 500 с;
- разрушение минералов по поверхностям спайности и границе разделов фаз упрощает сепарирование фаз вещества и улучшает качество продукции;
- гидратация активированного минерала сопровождается образованием гидратов с теми же термодинамическими свойствами;
- диспергирование минералов и разрыв молекулярных связей в дезинтеграторе сокращает количество стадий гидратных образований, ускоряет и облегчает образование термодинамических фаз;
- в дезинтеграторе накапливается энергия особого вида, повышается температура и изменяется структура при совокупности трех видов энергии — механической, химической и энергии активации.

Смесь, состоящую из 60% цемента и 40% гранулированного доменного шлака, усреднили и переработали в мельнице и в дезинтеграторе 1 раз и 2 раза.

Полученные результаты испытаний сравнили с результатом испытания образцов, приготовленных на цементе без добавки шлака (табл. 2).

При одинаковых условиях эксперимента активация шлака в дезинтеграторе оказалась эффективнее, чем активация в шаровой мельнице. Удельная

поверхность шлаков одно- и двукратного измельчения в дезинтеграторе различается в 1,4 раза, а содержание активной фракции в случае двукратного помола значительно выше.

Измельчение в дезинтеграторе перераспределяет минеральные частицы по размерам. В продуктах дезинтеграторного измельчения доля частиц крупнее 400 мкм и менее 5 мкм невелика.

Содержание химически связанной воды, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 в образцах с добавкой шлака ниже, чем у образцов на основе только цемента, что обусловлено связыванием гидроксида кальция содержащимся в тонкомолотом шлаке кремнеземом. Вяжущее со шлаком помола в шаровой мельнице содержит больше химически связанной воды при меньшем количестве свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что обусловлено утратой тонкой фракции при измельчении в дезинтеграторе.

Влияние механической активации материала на его физико-химическую ак-

тивность убывает во времени по экспоненте вследствие проявления релаксационных свойств материала.

При активации веществ в дезинтеграторе часть энергии расходуется на образование новой поверхности, другая аккумулируется в виде различных дефектов структуры, а третья рассеивается в виде тепла.

Процессы накопления и диссипации подводимой энергии протекают одновременно, а аккумулируемая минералов энергия сопряжена с образованием возбужденных состояний и различных дефектов структуры. При этом часть энергии, аккумулированной материалом в процессе измельчения, расходуется на образование агрегатов частиц или на уменьшение удельной поверхности.

В дезинтеграторе гидратация активированного вещества сопровождается образованием гидратов. При гидратации силикатных вяжущих в жидкую фазу переходят ионы кальция и кремнекис-

Таблица 3

Концепты активации минералов в дезинтеграторе
Concepts activation of minerals in the disintegrator

Концепты	Природа	Следствие
Концентрация энергии	Соударение частиц минерала	Измельчение минерала
Дезинтеграция	Разрушение минерала по поверхностям спайности	Сепарирование фаз
Концентрация гидроксида кальция	Повышение скорости связывания извести	Улучшение качества бетона
Увеличение количества свободной энергии	Гидратация вяжущего	Снижение энергии образования вяжущего
Диспергирование и разрыв связей	Упрощение гидратных образований	Образование термодинамических фаз
Использование трех видов энергии	Консолидация энергий	Повышение эффективности активации
Разрушение поверхности минерала	Уменьшение потенциала энергии вяжущего	Образование гидратов
Отщепление ионов кальция	Действие полярных молекул воды	Образование гидросиликатных фаз
Совмещение процессов диспергирования минерала	Механическое воздействие	Повышение эффективности активации

лот. Отщепление ионов кальция от кристаллической структуры вяжущего происходит под действием полярных молекул воды. Механохимическая активация ускоряет образование гидрогранатов. Интенсивное диспергирование частиц вяжущих и разрыв связей ускоряет и облегчает образование термодинамических фаз (табл. 3).

Опыт корректировки свойств минерального сырья в дезинтеграторах сводится к следующему:

- необходимая в большинстве случаев прочность твердеющих смесей 3,0 МПа с добавкой граншлака обеспечивается при расходе цемента 30–40 кг/м³;
- совместная мокрая обработка шлака и цемента на прочность твердеющих смесей практически не влияет;
- при мокрой обработке золошлака требуемая прочность 3,0 МПа обеспечивается при расходе цемента 140 кг/м³;
- при совместной мокрой обработке шлака и цемента прочность на сжатие твердеющей закладки снижается.

Опыт управления свойствами минеральных добавок к вяжущей компоненте твердеющих смесей позволяет констатировать:

- с применением интенсивного перемешивания в технологии приготовления твердеющей закладки расход цемента можно снизить с 60 до 50 кг/м³;
- с уменьшением расхода гранулированного шлака при одном и том же расходе цемента прочность твердеющей смеси снижается независимо от интенсивности перемешивания компонент;
- минимальный расход комплексного вяжущего при мелком заполнителе составляет 400 кг/м³.

Одним из направлений управления свойствами композитных вяжущих для твердеющих смесей является применение пластификаторов, более эффективными из которых являются СДБ, С-3, НФ и их смеси.

При исследовании динамики изменения свойств твердеющих смесей с применением пластификаторов использовали граншлак КО-0,8, который обрабатывали в дезинтеграторах УДА-30 и УДА-10 с тонкостью помола 40% выхода класса —0,08 мм. Общая удельная поверхность инертного заполнителя — высевок щебеночного карьера составила 36 м²/кг и фракций 0,1 мм — 304 м²/кг.

Свойства раствора пластификаторов:

- СДБ — плотность 1,2 г/см³, один литр раствора содержал 0,4 кг сухого вещества, расход 0,3% твердого от массы цемента + граншлака;
- С-3 — плотность 1,19 г/см³, расход 0,7% твердого от массы цемента и цемента + граншлака;
- НФ — плотность 1,16 г/см³, расход 0,7% твердого от массы цемента + граншлака.

С применением пластификаторов расход воды при сохранении технологических свойств снизился на 10–15%.

Наиболее эффективным пластификатором является комплексная добавка из диспергатора НФ и СДБ, прочность смеси с участием которых при введении в состав смеси добавки НФ в количестве 0,5% и СДБ 0,3 от массы цемента составила 4,9 МПа в возрасте 28 суток.

На втором этапе опытов были изготовлены образцы закладки с обработанным в дезинтеграторе граншлаком КО-0,8 и смесью пластификаторов НФ — 0,7% и 1,0% от массы цемента и СДБ — 0,3% от массы цемента.

Перемешивание компонентов смеси проводилось вручную (табл. 4).

Применение пластификаторов обеспечило равную прочность твердеющей смеси при расходе цемента 60 кг/м³ вместо 80 кг/м³ при расходе комплексного вяжущего 400 кг/м³.

Оптимальный расход диспергатора составляет НФ — 0,7% и СДБ — 0,3% от массы цемента.

Таблица 4

Прочность смесей при перемешивании вручную
The strength of the mixtures with manual mixing

Компоненты смеси, кг/м ³				Пласти- фика- тор, %	Рас- теае- мость, см	Предель- ное на- пряжение сдвига, Па	Водоот- деление, 1,5 ч, %	Плот- ность, кг/м ³	Прочность, МПа, возраст, с			
Це- мент	Гран- шлак	ВЩК	Вода						7	14	28	60
80	370	1150	410	—	20,0	60	9,0	1850	0,7	1,6	2,9	4,8
80	390	1160	405	—	20,0	68	8,0	1845	0,5	2,4	2,5	3,9
80	370	1309	350	НФ — 0,7 СДБ — 0,3	16,2	122	0,9	1930	0,9	2,4	4,2	6,3
80	370	1322	345	НФ — 1,0 СДБ — 0,3	16,8	119	0,5	1890	0,8	2,4	4,2	6,2
60	390	1319	345	НФ — 0,7 СЦБ — 0,3	16,1	121	0,8	1910	0,6	1,8	3,4	5,3
60	390	1332	340	НФ — 1,0 СДБ — 0,3 НФ — 1,0	16,4	126	1,6	1900	0,5	1,7	3,1	4,7

При приготовлении твердеющих смесей с пластификаторами и интенсивным перемешиванием компонентов использовали:

- пластификатор НФ — 0,7% и СДБ — 0,3% от массы цемента;
- граншлак КО-0,8;

• заполнитель песчано-гравийная смесь ПГС;

- комплексное вяжущее — 450 кг/м³.

Компоненты смеси без ПГС обрабатывали в УДА-10 с суммарной линейной скоростью 46,5 м/с. После обработки добавляли песок крупностью до 5 мм,

Таблица 5

Прочность смесей при перемешивании в дезинтеграторе
The strength of the mixtures with stirring in the disintegrator

Компоненты смеси, кг/м ³				Рас- теае- мость, см	Предель- ное на- пряжение сдвига, Па	Водоотделение, %		Плот- ность, кг/м ³	Прочность, МПа, возраст, с		
Цемент	Гран- шлак	ПГС	Вода			15 мин	1,5 ч		7	14	28
Перемешивание цемента, граншлака, воды и пластификатора в дезинтеграторе											
60	390	1349	330	18,0	60	3,6	5,9	1900	1,3	2,6	3,5
50	400	1340	330	18,5	68	3,7	4,8	1930	1,2	2,2	3,0
40	410	1347	330	17,6	122	5,0	6,1	1970	1,0	2,0	2,6
30	420	1345	330	17,5	119	5,8	5,8	1940	0,9	12,8	1,9
Перемешивание вручную											
60	390	1296	350	17,5	127	—	5,0	2030	—	2,4	3,3
50	400	1295	350	17,8	130	—	5,3	2025	—	2,1	2,9
40	410	1294	350	18,0	125	—	5,7	2005	—	1,8	2,5
20	430	1293	350	17,5	128	—	6,4	2000	—	1,2	1,7

Таблица 6

Показатели эффективности применения пластификаторов
Efficiency indicators of plastifiers

Компоненты смеси, кг/м ³				Рас- текае- мость, см	Предель- ное на- пряжение сдвига, Па	Водо- отделение, %		Плот- ность, кг/м ³	Прочность, МПа, возраст, с		
Цемент	Гран- шлак	ВЩК	Вода			15 мин	1,5 ч		7	14	28
Перемешивание цемента, граншлака, воды и пластификатора в дезинтеграторе											
60	390	1319	345	17,5	112	4,6	8,0	1920	1,4	2,7	5,0
50	400	131	345	16,5	147	3,8	7,1	1960	1,3	2,4	4,2
40	410	1318	345	16,0	104	4,3	6,0	1930	1,0	1,9	3,4
Перемешивание вручную											
80	370	1309	350	16,2	122	0,9	—	1930	0,9	2,4	4,3
60	390	1319	350	16,1	121	0,8	—	1910	0,6	1,9	3,4
Перемешивание смеси в дезинтеграторе Д-27 без пластификатора											
80	370	1165	404	15,5	143	—	4,2	1925	1,1	2,5	3,9
60	390	1163	404	16,5	136	—	6,3	1900	0,9	2,0	3,3
40	410	1161	44	17,5	101	—	6,5	1875	0,7	1,6	2,6
Перемешивание вручную без пластификатора											
80	370	1109	425	19,5	96	—	8,8	1830	—	2,2	3,4
60	390	1107	425	18,5	106	—	9,0	1855	—	1,9	2,8
40	410	1105	425	18,5	112	—	8,0	1890	—	1,4	2,1

перемешивали смесь вручную, определяли растекаемость по Суттарду, добавляли гравий крупностью не более 20 мм и определяли предельное напряжение

сдвига (табл. 5). Результаты исследования эффективности применения пластификаторов в производстве твердеющих смесей сведены в табл. 6.

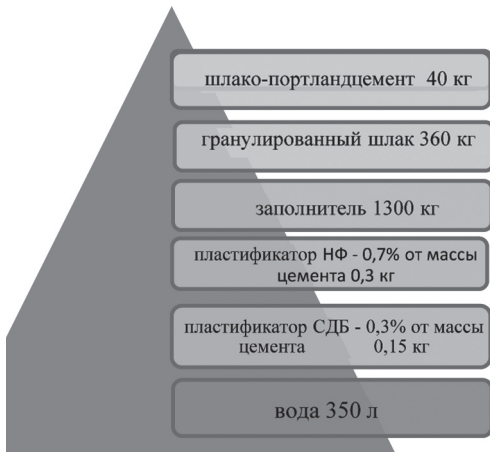


Рис. 3. Состав с граншлако-портландцементной вяжущей компонентой (80% объема), на 1 м³
 Fig. 3. Composition with a granular slag-Portland cementitious component (80% by volume), per 1 м³

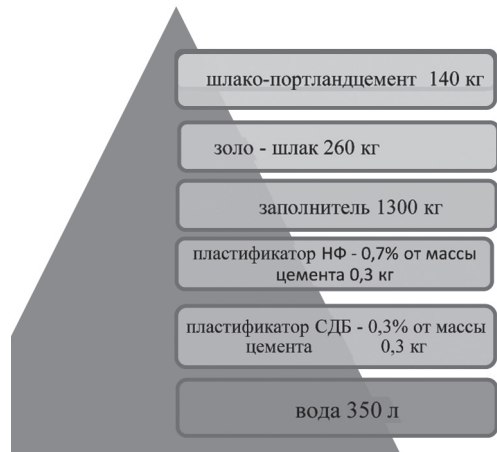


Рис. 4. Состав с золо-шлако-портландцементной вяжущей компонентой (20% объема), на 1 м³
 Fig. 4. Composition with ash-slag-Portland cement binder component (20% by volume), per 1 м³

Эффект от применения пластификаторов практически равняется эффекту приращения прочности при интенсивном перемешивании всех компонентов твердеющей смеси. При интенсивном перемешивании компонент и пластификаторов расход цемента можно снизить с 70 до 40 кг/м³.

Прирост прочности только за счет перемешивания вяжущего и воды с пластификаторами в дезинтеграторе составляет 1,0–2,3 раза, а за счет применения пластификаторов совместно с интенсивным перемешиванием — в 1,4–1,3 раза.

Для горной промышленности в качестве основных могут быть рекомендованы составы с активированием добавок к портландцементу в дезинтеграторе. Оба состава обеспечивают прочность в 28 дневном возрасте более 3,0 МПа (рис. 3, 4).

Результаты исследования хорошо согласуются с выводами ведущих специалистов в рассматриваемой области горного дела и смежных отраслей [11–14].

Выводы

1. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса технологически

развитых стран связаны с освоением безотходных и малоотходных технологий добычи полезных ископаемых.

2. Эффективность развития добычных работ обосновывается исследованиями структурно-чувствительных свойств минералов и видов воздействий на них с целью направленного изменения свойств.

3. Структурно-чувствительные свойства минералов изменяют путем механохимического воздействия в дезинтеграторе.

4. Дефицит вяжущей компоненты твердеющих смесей восполняется применением обладающих вяжущими свойствами минеральных добавок на основе утилизируемых отходов с применением пластификаторов.

5. Компонентами твердеющих смесей могут быть большинство отходов горного производства и смежных отраслей, что определяется исследованиями их технологических свойств.

6. Активация компонентов твердеющей смеси с пластификаторами в дезинтеграторе обеспечивают ее прочность в 28 дневном возрасте 3,0 МПа, что примерно в 2 раза превышает показатели традиционной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплунов Д. Р., Мельник В. В., Рыльникова М. В. Комплексное освоение недр. — Тула: Тул ГУ, 2016. — 333 с.

2. Комащенко В. И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 23–30.

3. Doifode S. K., Matani A. G. Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment // International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2015. Vol. 4. Special Issue. NCSC. P. 536–540.

4. Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. 2017. Vol. 61. P. 40–57.

5. Борзаковский Б. А., Русаков М. И., Генкин М. В. Технология добычи руды с закладкой на вяжущем из хлористого кальция // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 4. — С. 78–83.

6. Ермолович О. В., Ермолович Е. А. Композиционные закладочные материалы с добавкой из механоактивированных отходов обогащения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2016. — Вып. 3. — С. 13–24.

7. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н., Нуршайыкова Г. Т., Тунгушбаева З. К. Разработка технологии закладочных работ на основе цементно-шлакового вяжущего на Ор-

ловском руднике // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. — 2017. — № 1. — С.58–64.

8. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. — 2013. — № 5. — С. 93–97.

9. Golik V.I., Hasheva Z.M., Galachieva S.V. Diversification of the economic foundations of depressive mining region // *The Social Sciences (Pakistan)*. 2015. vol. 10. no 6. pp. 746–749.

10. Packey D.J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // *Resour. Policy*. 2012. vol. 37. no 1. pp. 104–108.

11. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 76–88.

12. Каплунов Д.Р., Рылъникова М.В., Радченко Д.Н. и др. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 1. // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — СВ. — С. 56–64.

13. Коровкин М.О., Володин В.М., Ерошкина Н.А., Чамурлиев М.Ю., Лавров И.Ю. Анализ перспективности применения золы-уноса в технологии геополимеров // Молодежный научный вестник. — 2017. — № 10 (23). — С. 70–77.

14. Rashad A.M. Potential use of phosphogypsum in alkaliactivated fly ash under the effects of elevated temperatures and thermal shock cycles // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 87. P. 717–725. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Mel'nik V.V., Ryl'nikova M.V. *Kompleksnoe osvoenie nedr* [Integrated subsoil development], Tula, Tul GU, 2016, 333 p.

2. Komashchenko V.I. Ecological and economic feasibility of disposal of mining waste for the purpose of their processing. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2015, no 4, pp. 23–30. [In Russ].

3. Doifode S.K., Matani A.G. Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2015. Vol. 4. Special Issue. NCSC. P. 536–540.

4. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017. Vol. 61. P. 40–57.

5. Borzakovskiy B.A., Rusakov M.I., Genkin M.V. Technology of mining of ore with a bookmark on a binder of calcium chloride. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 78–83. [In Russ].

6. Ermolovich O.V., Ermolovich E.A. Composite backfilling materials with the addition of mechanically activated enrichment waste. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2016, no 3, pp. 13–24. [In Russ].

7. Krupnik L.A., Spaposhnik Yr.N., Spaposhnik S.N., Nurshaykova G.T., Tungushbaeva Z.K. Development of the technology of backfilling on the basis of cement-slag binder at the Orlovsky mine. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh*. 2017, no 1, pp. 58–64. [In Russ].

8. Golik V.I. Conceptual approaches to the creation of low- and non-waste mining production based on a combination of physical, technical, and physical-chemical geotechnologies. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 5, pp. 93–97. [In Russ].

9. Golik V.I., Hasheva Z.M., Galachieva S.V. Diversification of the economic foundations of depressive mining region. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2015. vol. 10. no 6, pp. 746–749.

10. Packey D.J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization. *Resour. Policy*. 2012. vol. 37. no 1, pp. 104–108.

11. Golik V.I., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. The concept of combining technologies for the development of ore deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2015, no 4, pp. 76–88. [In Russ].

12. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Radchenko D.N. Conditions for the sustainable functioning of the mineral complex of Russia. Issue 1. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. Special edition, pp. 56–64. [In Russ].

13. Korovkin M. O., Volodin V. M., Eroshkina N. A., Chamurliiev M. Yu., Lavrov I. Yu. Analysis of the prospects for the use of fly ash in the technology of geopolymers. *Molodezhnyy nauchnyy vestnik*. 2017, no 10 (23), pp. 70–77. [In Russ].

14. Rashad A. M. Potential use of phosphogypsum in alkaliactivated fly ash under the effects of elevated temperatures and thermal shock cycles. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 87, pp. 717–725.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник, e-mail: v.i.golik@mail.ru,

Геофизический институт Владикавказского научного центра,
Дмитрак Юрий Витальевич¹ — д-р техн. наук, профессор, ректор,
e-mail: dmitrak@yandex.ru,

Хулелидзе Казбек Константинович¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: info@skgmi-gtu.ru,

Цидаев Батраз Саламович¹ — кандидат технических наук, зав. кафедрой,

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет,

Для контактов: Голик В.И., e-mail: v.i.golik@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Golik, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Geophysical Institute,
Vladikavkaz Scientific Center, 362002, Vladikavkaz, Russia, e-mail: v.i.golik@mail.ru,

Yu.V. Dmitrak¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, e-mail: dmitrak@yandex.ru,

K.K. Khulelidze¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: info@skgmi-gtu.ru,

B.S. Tsidaev¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Chair,

¹ North Caucasus State Technological University, 362021, Vladikavkaz, Russia,

Corresponding author: V.I. Golik, e-mail: v.i.golik@mail.ru.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

(№ 1186/06–19 от 20.05.2019; 6 с.)

Садридинов Ахлидин Бахридинович — старший преподаватель, МГИ НИТУ «МИСиС».

Рассмотрены цель и основные задачи энергетической оценки технологий и комплексов машин и механизмов в условиях горнопроходческих работ, методы определения энергоёмкости проходческих комбайнов с исполнительным органом избирательного действия, породопогрузочных машин и проходческих щитов, работающих по породам. При общей оценке энергоёмкости обоснована необходимость учета затрат на техническое обслуживание и ремонт горных машин и оборудования, а также затрат энергии на поддержание микроклимата в горных выработках.

Ключевые слова: горнопроходческие работы, проходческие комбайны, энергоёмкость, энергоэффективность.

ENERGY EFFICIENCY OF TUNNELING OPERATIONS IN COAL MINES

A.B. Sadridinov, Senior Lecturer, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

The purpose and main tasks of energy assessment of technologies and complexes of machines and mechanisms in the conditions of mining operations, methods for determining the energy intensity of tunneling combines with the Executive body of selective action, rock loading machines and sinking shields working on rocks. In the overall assessment of energy consumption, the necessity of taking into account the cost of maintenance and repair of mining machinery and equipment, as well as energy costs for maintaining the microclimate in the mine workings is justified.

Key words: mining works, tunneling combines, energy intensity, energy efficiency.