

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Рыжих Владислава Дмитриевича на тему:

«Закладочные твердеющие смеси с направленным структурообразованием»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Актуальность темы исследования

Важной проблемой современного строительного производства является энерго- и ресурсосбережение. Стоимость топлива, электроэнергии и материальных ресурсов постоянно растет, стремительно увеличиваются объемы потребления энергетических и материальных ресурсов. Сегодня приоритетным направлением для развития горно-геологического кластера является путь удешевления затрат при добыче полезных ископаемых. Кроме того, основными задачами стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г., №2914-р, являются: увеличение и формирование минерально-сырьевых центров; обеспечение рационального использования созданной минерально-сырьевой базы; повышение геологической изученности территории; снижение негативного влияния освоения недр на окружающую среду; повышение инвестиционной привлекательности недропользования и др.

Для выполнения данных задач в условиях подземной горной добычи необходим правильный подбор компонентного состава и использование недорогого сырья. В рамках диссертационной работы преимущественно рассматривается создание компонентных составов закладочных смесей, оптимизированных под производство Яковлевского ГОКа (Белгородская область).

При разработке богатейшего месторождения железной руды (содержание железа в руде до 68%) Яковлевского ГОКа подземным способом применяется система заполнения выработанного пространства твердеющей закладкой. Приготовление закладочных смесей на данном участке осуществляется путем использования портландцемента и кварцевого песка местного карьера. При этом расход портландцемента в составе закладочных смесей может достигать 50 %, что связано с отсутствием мелких фракций крупного заполнителя и крупных фракций мелкого заполнителя.

При этом Яковлевский ГОК постоянно наращивает объемы добычи железной руды, что требует увеличения объемов производства закладочных смесей. В связи с вышеизложенным, оптимизация технологии приготовления закладочных смесей и подбор их рациональных составов, с учетом использования местных ресурсов и эффективных композиционных вяжущих, является актуальным, что позволит существенно снизить затраты на производство.

Об актуальности избранной темы диссертационной работы также свидетельствует выполнение исследований в рамках программы «Приоритет – 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова (государственное задание № 11.9329.2017/БЧ) и гранта РНФ № 22-19-20115.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автор в своих исследованиях опирается на целенаправленный анализ отечественной и зарубежной литературы, использует современную методологию системно-структурного материаловедения в рамках концептуально-познавательной системы «состав – структура – свойство».

Основные выводы, представленные в диссертации, отражают содержание и результат проведенных экспериментально-теоретических исследований, раскрывают полноту решения поставленных в работе задач.

Поставленные автором в диссертационной работе цели и задачи сформулированы грамотно. Выводы по главам и заключение научно-обоснованы, убедительны и отражают суть выполненных исследований. Автором проведен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований. Определены перспективы дальнейшей работы.

Полученные результаты в процессе выполнения диссертации обсуждались на международных и российских конференциях, используются в учебном процессе, прошли опытно-промышленные испытания и внедрены в производство.

Можно утверждать, что научно-теоретические положения, предпосылки, научная новизна и рекомендации, сформулированные автором, в достаточной степени подтверждаются результатами значительного объема экспериментальных исследований, степень обоснованности и аргументации научных положений, заключения и рекомендаций не вызывают сомнений.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечена тем, что: сформулированные положения строятся на основе основных общеизвестных подходах строительного материаловедения, химии, физики, математики, горно-геологических дисциплин и др.; данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, базируются на современных методах с применением аттестованного оборудования; предложенная теоретическая гипотеза согласуется результатами экспериментальных данных, полученных в процессе исследований.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих получение закладочных смесей с требуемыми физико-механическими характеристиками, заключающихся в использовании композиционных вяжущих, полученных механоактивацией портландцемента и шлака доменного гранулированного в роторной шаровой мельнице; гранулированного заполнителя, приготовленного методом экструзионного формования в шнековом грануляторе смеси мелкого кварцевого песка и вяжущей смеси, полученной путем механоактивации портландцемента и мелкого кварцевого песка в вихревой струйной мельнице.

Автором обоснованы целесообразность механоактивации различных компонентных составов вяжущих, подбор фракции кварцевых песков для гранулированных заполнителей, а также подбор компонентных составов закладочных смесей с пределом прочности при сжатии 11,9...25,8 МПа.

Автором используется феноменологическая модель структурообразования закладочных смесей, состоящих из композиционного вяжущего, гранулированного заполнителя и шлака. Научно обоснован выбор гранулированных заполнителей, выступающих в роли внутренних демпферов системы, усиливающих прочность закладочного массива вследствие перераспределения части растягивающих и сжимающих

напряжений. Определено, что механоактивация вяжущих композиций, содержащих портландцемент и мелкий кварцевый песок, способствует аморфизации верхнего слоя частиц кремнеземного компонента, благодаря чему он выступает в качестве центров кристаллизации. В связи с этим, в контактных зонах закладочных массивов с рудным телом и в совокупности с повышенной удельной поверхностью компонентов вяжущего ускоряются физико-химические процессы гидратации, увеличивается количество гидратных фаз, что способствует возрастанию прочности создаваемого массива.

Установлены основные принципы совместного влияния рецептурных параметров закладочных смесей: соотношения шлака доменного гранулированного и композиционного вяжущего; гранулированного заполнителя и композиционного вяжущего; гранулированного заполнителя и шлака доменного гранулированного на прочность закладочных массивов. Полученные зависимости позволяют проводить рационализацию закладочных смесей в соответствии с требуемыми характеристиками.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Дополнены теоретические представления о процессах синергетического взаимодействия доменных гранулированных шлаков, композиционных вяжущих и гранулированных заполнителей в компонентном составе закладочных смесей, о чем свидетельствуют повышенные физико-механические характеристики образцов при сниженном расходе портландцемента.

Разработана широкая номенклатура компонентных составов: композиционных вяжущих с максимальной прочностью при сжатии 60,1 МПа в возрасте 28 суток; гранулированных заполнителей на основе мелкодисперсных кварцевых песков и вяжущих композиций; закладочных смесей с требуемыми технологическими характеристиками и с максимальной прочностью при сжатии 25,8 МПа и при изгибе - 3,6 МПа в возрасте 28 суток.

Соискателем установлено, что помол вяжущих в роторной шаровой мельнице в течение 15 минут позволяет получать материал с удельной поверхностью свыше 900 м²/кг с наличием частиц неправильной формы с рваными и оскольчатыми краями.

Предложена технологическая схема производства закладочных твердеющих смесей для закладки выработанного пространства.

Получены акты о выпуске полупромышленных партий гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и закладочных смесей. Разработан ряд нормативных документов: технические условия «Гранулированные заполнители на основе кварцевого песка и портландцемента», «Композиционные вяжущие для закладочных смесей» и «Закладочные смеси», а также технологические регламенты на производство указанных материалов.

Оценка публикаций автора

По материалам диссертационной работы опубликовано 14 научных статей, в том числе 4 – в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 4 – в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science; 6 – в сборниках трудов конференций. Публикации в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы Рыжих В.Д.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из содержания, введения, основной части, состоящей из пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа

изложена на 201 странице машинописного текста, включающего 75 рисунков, 46 таблиц, 17 приложений и списка литературы из 200 наименований.

Во введении обоснованы актуальность темы исследования и степень ее разработанности; определены цель и задачи исследования; сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы; изложены методология и методы исследования; обозначены положения, выносимые на защиту; приведены сведения о достоверности, апробации и внедрении результатов исследований; представлена информация о структуре и объеме работы.

В первой главе представлен анализ состояния исследований отечественных и зарубежных авторов по теме диссертационной работы. Приведен аналитический обзор научно-технической литературы по вопросам производства закладочных смесей на различных горно-обогатительных комбинатах; изложена классификация видов твердеющих закладочных комплексов; приведены основные методы доставки закладочных смесей в выработанное пространство; установлено влияние тех или иных заполнителей на физико-механические характеристики закладочных смесей; представлены основные технологические требования при создании закладочного массива в горных выработках.

Во второй главе приведены основные характеристики применяемых материалов и описаны методы проведения экспериментальных исследований.

В третьей главе представлены результаты исследований и получения гранулированных заполнителей на основе мелкодисперсных кварцевых песков и вяжущих композиций, полученных совместным измельчением портландцемента и кварцевых песков в вихревой струйной мельнице.

Соискатель разбивает работу по получению гранулированных заполнителей на пять основных этапов: подготовка сырьевых компонентов; приготовление вяжущих композиций; формирование гранулированных заполнителей; формование образцов-кубов; испытания образцов-кубов на сжатие.

Получение вяжущих веществ производилось путем совместного измельчения портландцемента и кварцевых песков в вихревой струйной мельнице с проведением последующих исследований удельной поверхности, нормальной густоты, сроков схватывания, прочности при сжатии в возрасте 2 и 28 сут.

Следующий этап включал получение гранулированных заполнителей широкой номенклатуры методом экструзионного формования смеси мелкодисперсных кварцевых песков и вяжущих композиций. Размерность полученных гранулированных заполнителей: $h=4-7$ мм, $d=4-5$ мм. Произведены исследования по определению прочности при сжатии гранулированных заполнителей в цементном тесте.

Полученные результаты о структурообразовании и физико-механических характеристиках подкрепляются микроскопическими исследованиями.

Методом математического описания эксперимента автором установлен наиболее перспективный состав гранулированных заполнителей, приготовленный на основе песка фр. $\leq 0,63$ мм и вяжущих композиций (содержание портландцемента в вяжущей композиции 30%) в количестве 15%, и обеспечивающий стабильное повышение прочностных показателей, при наибольшей экономии вяжущего, что позволяет рекомендовать его для использования в дальнейших исследованиях.

В четвертой главе приведены результаты исследования процессов структурообразования и свойств разрабатываемых композиционных вяжущих, полученных при совместном измельчении портландцемента и шлака доменного гранулированного в вибрационной, вихревой струйной и роторной шаровой мельницах.

Соискателем разработана широкая номенклатура компонентных составов композиционных вяжущих.

Установлено, что механоактивация в различных помольных агрегатах дает разные характеристики конечных композиционных вяжущих, а именно гранулометрические составы, минералогические составы, структурообразование при гидратации, активность по поглощению оксида кальция шлаком и др.

Композиционные вяжущие с соотношением компонентов «портландцемент : шлак» – 60:40% обладают максимальной прочностью при сжатии в возрасте 28 сут: для вибрационной мельницы $R_{сж}=50,1$ МПа; для вихревой струйной мельницы $R_{сж}=56,2$ МПа; для роторной шаровой мельницы $R_{сж}=60,1$ МПа.

Рентгенофазовые анализы гидратированных композиционных вяжущих в возрасте 28 сут свидетельствуют, что все вяжущие содержат: $Ca(OH)_2$, $CSH(II)$, $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, C_2AH_8 , $C_3S + C_2S$. Микроструктурный анализ композиционных вяжущих, полученных в роторной шаровой мельнице, свидетельствует о формировании плотного гидратированного каркаса с высоким содержанием разноориентированных кристаллических скоплений, образованных на дополнительных подложках высокодисперсных шлаковых частиц, полученных вследствие интенсивного измельчения в эффективных помольных агрегатах.

Соискателем установлено, что наиболее перспективным помольным агрегатом, обеспечивающим выход высокодисперсного молотого композиционного вяжущего с наименьшими энергетическими затратами, является роторная шаровая мельница, а также определен наиболее перспективный состав композиционных вяжущих с соотношением компонентов «портландцемент: шлак» – 60:40%.

В пятой главе представлены разработанные составы и основные физико-механические и технологические характеристики закладочных смесей, полученных на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и шлаков доменных гранулированных.

Соискателем определены составы: а) с наиболее высокими физико-механическими характеристиками ($R_{сж28сут}=25,8$ МПа; $R_{изг28сут}=3,5$ МПа); б) с наиболее экономически эффективными характеристиками ($R_{сж28сут}=15,5$ МПа; $R_{изг28сут}=2,6$ МПа).

В диссертационной работе представлена модель формирования закладочных растворов в толще и на контактных зонах с рудным телом, где установлено направленное структурообразование системы, в результате чего формируется прочный конгломерат из полученных гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и шлаков доменных гранулированных.

Соискателем изучены процессы структурообразования с использованием микроскопических и рентгенофазовых методов исследований. В процессе рентгенофазового анализа выявлена повышенная интенсивность дифракционных максимумов, присущих минералу деллаиту, который обеспечивает дополнительную прочность закладочному массиву. Микроструктура гидратированных закладочных растворов подтвердила содержание всех выявленных минералов и установила плотную структуру прорастания кристаллических образований.

В диссертационной работе представлена оригинальная технологическая схема производства закладочных твердеющих смесей. Произведен расчет экономической эффективности производства закладочных смесей с учетом покупки на производственную площадку нового оборудования. Представлен перечень созданных нормативных документов, а также результаты внедрения разработок автора.

В **заключении** соискателем представлены научные положения и основные результаты, подтверждающие выдвинутую рабочую гипотезу для решения сформулированных задач, а также приводятся рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Замечания и рекомендации по диссертационной работе:

1. Автором в работе по изменению формы, размера зерен, гранулометрического состава смесей, физико-механических показателей вяжущих композиций выявлено, что наиболее эффективным помольным агрегатом является роторная шаровая мельница. Известно, что эффективность помольных агрегатов оценивается в том числе по энергетическим затратам на помол. Насколько энергетически эффективно использование роторной шаровой мельницы для получения разработанных вяжущих в сравнении с остальными помольными агрегатами?

2. Несмотря на то, что в результате проведенных исследований эффективным помольным агрегатом является роторная шаровая мельница, автором в разработанной технологии закладочных смесей предлагается вихревая струйная мельница в качестве основного помольного агрегата для приготовления вяжущих композиций для гранулированного заполнителя. Почему выбор сделан в пользу данного помольного агрегата.

3. РФА закладочных растворов показал наличие в гидратном камне дифракционных максимумов, присущих минералу деллаиту. Чем объясняет автор повышение прочности раствора при увеличении содержания этого минерала, по составу относящегося к высокоосновным гидросиликатам кальция. Каково влияние деллаита на формирование микроструктуры закладочных растворов?

4. Для оценки прочности контактной зоны между композиционным вяжущим и гранулированным заполнителем было бы интересно провести рентгенофазовый анализ контактной поверхности между цементной матрицей и разработанным заполнителем (или в других местах закладочных массивов). Учитывая возможности современных дифрактометров, было бы интересно оценить количественное содержание гидратных фаз, доказывающее эффективность использования разработанных вяжущих веществ и заполнителей.

**Заключение и соответствие диссертации критериям,
установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертационная работа Рыжих Владислава Дмитриевича представляет собой самостоятельно выполненную завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложено новое научно обоснованное решение по получению закладочных твердеющих смесей с направленным структурообразованием на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и шлаков доменных гранулированных. В диссертации содержится: теоретическое обоснование и практическое подтверждение возможности использования мелкодисперсных кварцевых песков в процессе экструзионного гранулирования как компонента для закладочной смеси, доменного гранулированного шлака в качестве минеральной добавки при получении композиционных вяжущих и закладочных смесей; описание особенностей и эффективности структурообразования материалов при помоле в различных помольных агрегатах; описание структурообразования гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и закладочных смесей с учетом химических и структурно-морфологических особенностей компонентов; рационализация компонентных составов гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и закладочных смесей на их

основе; характеристика технологии производства закладочных смесей на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и доменного гранулированного шлака; описание результатов апробации закладочных смесей на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и доменного гранулированного шлака с расчетом экономической эффективности.

Диссертационная работа написана грамотным техническим языком, графический материал выполнен на хорошем уровне. Положения, выводы и рекомендации соответствуют цели и задачам исследования, подтверждены полученными экспериментальными данными. Работа содержит ряд новых научных результатов, имеющих существенное теоретическое и практическое значение для развития строительного материаловедения и строительной отрасли страны. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Учитывая актуальность затронутых вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов считаю, что диссертация на тему «Закладочные твердеющие смеси с направленным структурообразованием» соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции Правительства Российской Федерации), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия, а ее автор – Рыжих Владислав Дмитриевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности
05.23.05 – Строительные материалы и
изделия, профессор, профессор кафедры
«Дорожно-строительные материалы»
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет (МАДИ)»

 Урханова Лариса Алексеевна

18.04. 2024 г.

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, г. Москва, Ленинградский просп., д. 64, каб. 134.

Тел. 89021685168

E-mail: urkhanova@mail.ru

Сайт: <https://www.madi.ru/>

Подпись профессора Урхановой Л.А. заверяю.

Ученый секретарь
ученого совета Университета
18.04.2024



М.Ю. Алексеева