

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

ФГБОУ ВО «Национальный

исследовательский Московский

государственный строительный университет»

доктор технических наук



Тер-Мартirosян А.З.

«26» 04 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» 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

1. Актуальность темы исследования

Стратегическое развитие строительной отрасли Российской Федерации включает направление реализации эффективных мер и инструментов по добыче полезных ископаемых с одновременным снижением негативного влияния на экологию окружающей среды. Задача утилизации техногенных отходов, полученных в процессе переработки полезных ископаемых, включая и рециклинг, относится к категории системных проблем современной науки и технологии. Реализация данной концепции зависит от степени изученности техногенного сырья в качестве потенциальных сырьевых компонентов, синтезе и создания научно-обоснованных технологий и принципов структурообразования строительных композитов. Большое внимание при производстве закладочных смесей уделяется сырьевым компонентам, которые должны быть экономически эффективными. Часто для изготовления закладочных смесей используется техногенное и некондиционное сырье.

При разработке крупнейшего месторождения железной руды Яковлевского ГОКа подземным способом применяется система заполнения выработанного пространства твердеющей закладкой. В настоящее время Яковлевский ГОК ведет приготовление закладочных смесей с использованием мелкодисперсных кварцевых песков, шлаков доменных гранулированных и портландцемента, что приводит к значительному перерасходу последнего. Расход портландцемента в составе закладочных смесей может достигать 50%, что связано с отсутствием мелких фракций крупного заполнителя и крупных фракций мелкого заполнителя.

Постоянное наращивает объемы добычи железной руды на Яковлевском ГОКе, что требует увеличения объемов производства закладочных смесей.

Исследования в области создания и структурообразования закладочных массивов в зависимости от вида применяемого сырья актуальны, востребованы и представляют научный интерес для разработки инновационных закладочных технологий.

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.

Актуальность диссертационной работы, выполненной на кафедре «Строительное материаловедение, изделия и конструкции» подтверждается выполнением 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 РФФИ № 22-19-20115.

2. Структура и содержание работы.

Для подготовки отзыва представлен автореферат и диссертация, изложенная на 201 странице. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, 17 приложений и включает 76 рисунков, 46 таблиц, списка литературы из 200 наименований работ отечественных и зарубежных авторов, а также национальных стандартов.

Во введение обоснована актуальность темы диссертационной работы, степень разработанности в России и за рубежом, сформулированы цель, задачи и научная новизна исследования, защищаемые положения, теоретическая и практическая значимость работы, методология, методы исследований и достоверность научных результатов, а также приведены сведения по апробации и рекомендациям внедрения результатов работы в строительном производстве.

В первой главе приведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам исследования и разработки твердеющих закладочных смесей, выбора и применения природных и техногенных материалов, подбора эффективных компонентных составов закладочных твердеющих смесей. Сформулирована рабочая гипотеза получения закладочных смесей с необходимыми технологическими и физико-механическими характеристиками на основе природного и техногенного сырья.

Во второй главе изложены стандартные характеристики используемых сырьевых материалов, позволяющие оценить их качество и возможность использования для установления закономерностей при проведении исследований в соответствии с целью и задачами, а также методы экспериментальных исследований и оборудование для их проведения с обеспечением получения достоверных результатов для принятия эффективных технологических решений.

Третья глава. Установлены закономерности структурообразования, определены оптимальные компонентные составы и физико-механические характеристики гранулированных заполнителей, включающих природный мелкодисперсный кварцевый песок фракций $\leq 0,16$ мм, $\leq 0,315$ мм, $\leq 0,63$ мм и вяжущие композиции, состоящие из совместно измельченных в вихревой струйной мельнице портландцемента и кварцевых песков в соотношениях (%) 90:10, 80:20, 70:30. Размерность полученных гранулированных заполнителей: $h=7-16$ мм, $d=5-6$ мм. Проведены исследования по определению прочности при сжатии гранулированных заполнителей в цементном тесте. Максимальная прочность равнялась 34 МПа. Полученные результаты о структурообразовании и физико-механических характеристиках подтверждаются микроскопическими исследованиями.

Произведено математическое описание эксперимента, в процессе которого установлен наиболее перспективный состав гранулированных заполнителей, приготовленный на основе песка фракции $\leq 0,63$ 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.

Четвертая глава. Установлены закономерности структурообразования широкой номенклатуры композиционных вяжущих, полученных при совместном измельчении портландцемента и шлаков доменных гранулированных в вибрационной, вихревой струйной и роторной шаровой мельницах. Определено, 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.

Установлен состав композиционных вяжущих, полученный в роторной шаровой мельнице, обладающий максимальной прочностью при сжатии

$R_{сж}=60$ МПа, с содержанием компонентов «портландцемент : шлак» – 60:40%. Рентгенофазовым анализом установлено содержание в гидратированных композиционных вяжущих минералов гидроксидов кальция, гидросиликатов кальция, этtringита, алюмосодержащих минералов, гидроалюминатов, непрогидратированных минералов алита и белита. Микроструктурный анализ композиционных вяжущих, полученных в роторной шаровой мельнице, свидетельствует о формировании плотного кристаллического каркаса с высоким содержанием разноориентированных скоплений, образованных на дополнительных подложках высокодисперсных шлаковых частиц, полученных вследствие интенсивного измельчения в эффективных помольных агрегатах.

Наиболее перспективным составом является состав с соотношением компонентов «портландцемент : шлак» – 60:40%, полученный в роторной шаровой мельнице, которая характеризуется наименьшими энергозатратами при наибольшем выходе молотого материала.

Пятая глава. Разработаны компонентные составы и определены физико-механические и реологические характеристики закладочных смесей, приготовленных на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и шлаков доменных гранулированных. Установлены 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). Изучены процессы структурообразования в закладочных смесях в ходе микроскопических и рентгенофазовых исследований. Представлена модель формирования закладочных растворов в толще и на контактных зонах с рудным телом, где установлено направленное структурообразование системы. Рентгенофазовым анализом установлена повышенная интенсивность дифракционных максимумов, присущих минералу деллаиту, который обеспечивает дополнительную прочность закладочному массиву.

Разработана технологическая схема производства закладочных твердеющих смесей с использованием разработанных гранулированных заполнителей и композиционных вяжущих, а также с применением шлаков доменных гранулированных.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы, а опубликованные статьи и национальные стандарты отражают содержание представленной для рецензирования работы.

Диссертация соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011, т.е. является научно-квалификационной работой, отражающей результаты исследований автора.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.1.5 «Строительные материалы и изделия» (технические науки) по пунктам:

- п. 5. Разработка и внедрение способов активации компонентов строительных смесей путем использования физических, химических, механических и биологических методов, способствующих получению строительных материалов с улучшенными показателями структуры и свойств;

- п. 9. Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного сырья и отходов промышленности, в том числе повторного использования материалов от разборки зданий и сооружений.

3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения в диссертационной работе согласуются с общепринятыми представлениями строительного материаловедения и всемирно-известными научно-исследовательскими положениями о структурообразовании композиционных вяжущих, гранулированных заполнителей и закладочных смесей в условиях подземных выработок.

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждена комплексом выполненных экспериментальных испытаний и исследований, которые проводились в соответствии с научно-обоснованными и стандартными методиками, с

привлечением современного аттестованного испытательного оборудования и поверенных средств измерений, а также сопоставлением с результатами исследований, полученными другими учеными.

Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне с использованием современных методов исследований и оборудования, обладает научной новизной, практической значимостью, внутренним единством, перспективностью для дальнейшего развития, а полученные результаты способствуют решению важных строительно-технических и экологических задач в областях ресурсосбережения и чистоты атмосферной зоны.

Предложенные автором диссертации научно обоснованные технологические решения аргументированы и оценены в сравнении с другими известными опубликованными решениями.

Основные результаты научных исследований соискателя опубликованы в 14 научных статьях, 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.

4. Научная новизна.

Автором при проведении научных исследований предложено научно обоснованное технологическое решение, обеспечивающее получение закладочных смесей с требуемыми физико-механическими показателями. Компонентные составы разработаны на основе: гранулированных заполнителей, приготовленных методом экструзионного формования в шнековом грануляторе смеси мелкого кварцевого песка и вяжущих композиций, полученной в ходе совместного измельчения портландцемента и кварцевого песка в вихревой струйной мельнице; композиционных вяжущих, полученных в процессе механоактивации портландцемента и шлака доменного гранулированного в роторной шаровой мельнице; шлака доменного гранулированного. Механоактивационная обработка при изготовлении вяжущих композиций для гранулированных заполнителей и получении композиционных вяжущих, рациональный подбор компонентов системы, обеспечивает получение закладочных смесей с пределом прочности при сжатии 11,9...25,8 МПа.

Предложена модель направленного структурообразования закладочной смеси, состоящей из композиционного вяжущего, гранулированных заполнителей и шлаков доменных гранулированных. При этом гранулированных заполнители усиливают прочность закладочного массива вследствие перераспределения части растягивающих и сжимающих напряжений. Установлено, что механоактивация вяжущих композиций, в составе которых кварцевый песок и портландцемент, способствует аморфизации верхнего слоя части кремнеземного компонента, благодаря чему он выступает в качестве центров кристаллизации. Механоактивация композиционных вяжущих в роторной шаровой мельнице, способствует формированию новых гидросиликатов кальция, усиливающих структуру закладочных массивов.

Установлены закономерности совместного влияния размеров фракции песка и количества вяжущей композиции на прочность гранулированного заполнителя, а также 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.

На защиту диссертации выносятся следующие основные положения:

- научное обоснование и экспериментальное подтверждение возможности использования некондиционных мелкодисперсных кварцевых песков и техногенных отходов – шлака доменного гранулированного в процессе производства закладочных смесей;

- механизм физико-химического взаимодействия материалов при помол в различных помольных установках;
- механизм структурообразования гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и закладочных смесей с учетом химических и структурно-морфологических особенностей компонентов;
- технологические решения (управления процессами) по формированию составов вяжущих композиций, гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и закладочных смесей.
- результаты апробации закладочных смесей на основе гранулированных заполнителей, композиционных вяжущих и доменного гранулированного шлака с расчетом экономической эффективности.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации.

В работе развиваются представления о структурно-феноменологическом анализе взаимосвязи микроструктурных показателей затвердевших цементных систем с их физико-механическими свойствами. Исследования физико-химических процессов твердения гидратационных систем ученые преимущественно проводят с применением эмпирических подходов. Использование автором методологии феноменологического анализа взаимосвязи структурных и химических показателей заполнителей и вяжущих на микроуровне с их физико-механическими показателями позволило с большой вероятностью разработать многокомпонентные закладочные твердеющие смеси с требуемыми реологическими свойствами, разработать инновационные технологии их производства. Дополнены теоретические представления о процессах синергетического взаимодействия доменных гранулированных шлаков, гранулированных заполнителей на основе кварцевых песков и вяжущих композиций и композиционных вяжущих, состоящих из шлака и портландцемента.

Разработаны гранулированные заполнители на основе мелкодисперсных кварцевых песков фр. $\leq 0,16$ мм, $\leq 0,315$ мм, $\leq 0,63$ мм и вяжущих композиций, полученных совместным измельчением мелких кварцевых песков и портландцемента в вихревой струйной мельнице. Гранулированные заполнители усиливают закладочный массив путем перераспределения растягивающих и сжимающих напряжений.

В процессе совместного измельчения портландцемента и шлаков доменных гранулированных в различных соотношениях, разработаны композиционные вяжущие, обладающие максимальной прочностью при сжатии в возрасте 28 сут 60,1 МПа и плотностью 1640 кг/м³. Помол композиционных вяжущих в роторной шаровой мельнице в течение 15 мин позволяет получать материал с удельной поверхностью свыше 900 м²/кг.

Разработаны компонентные составы закладочных смесей с требуемыми реологическими характеристиками и наибольшими прочностными показателями при сжатии 25,8 МПа и при изгибе 3,6 МПа в возрасте 28 сут. Автором предложена технология производства закладочных смесей.

Разработаны технологические решения и схема производства закладочных твердеющих смесей, на основе композиционных вяжущих, гранулированных заполнителей и шлака доменного гранулированного с обоснованием последовательности технологических процессов.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

В диссертационной работе обоснованы подходы к выбору эффективных способов механоактивации вяжущих композиций, в составе которых кварцевый песок и портландцемент, что позволяет изготавливать вяжущие композиции для гранулированных заполнителей, обеспечивающих получение закладочных смесей не только с экономически эффективными характеристиками, но и с наиболее высокими физико-механическими характеристиками.

Значимость результатов работы заключается в расширении существующих положений в области строительного материаловедения о структурно-феноменологическом анализе взаимосвязи микроструктурных показателей затвердевших цементных систем с их физико-механическими свойствами.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы рекомендованы к применению на предприятиях по добыче полезных ископаемых. Для этого разработаны и согласованы со строительной организацией технические условия и технологические регламенты на гранулированные заполнители на основе кварцевого песка и вяжущих, композиционные вяжущие для закладочных смесей, сухие закладочные смеси.

Научные исследования, выполненные и приведенные автором в диссертации, достаточны по составу и объему, выбор вариантов технологических решений на каждом этапе жизненного цикла объекта исследований научно обоснован. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, теоретически и экспериментально подтверждены и согласуются с фундаментальными основами строительного материаловедения.

8. Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы.

1. Почему в 3 главе для приготовления вяжущих композиций применялась только вихревая струйная мельница?

2. В 4 главе на основании каких принципов производился выбор помольного оборудования? Почему именно вибрационная, вихревая струйная и роторная шаровая мельницы выбраны в качестве оборудования для механоактивации компонентов композиционного вяжущего?

3. За счет чего показатели тепловыделения выше у немолотых шлаков нежели чем у молотых?

4. В технологической схеме блок приготовления гранулированных заполнителей требует доработки. Необходимо добавить водоструйную установку (или аналог) для очистки спирально-лопастного смесителя и шнекового гранулятора.

5. Почему гранулированные заполнители испытывали в растворе по разработанной методике в образцах-кубах, а не в цилиндре?

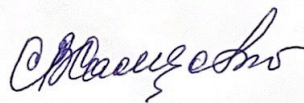
9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Рыжих Владислава Дмитриевича на тему «Закладочные твердеющие смеси с направленным структурообразованием» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение нового научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего выпуск как закладочных твердеющих смесей, так и отдельно вяжущих композиций, гранулированных заполнителей и композиционных вяжущих. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют значение для развития отрасли знаний в области закладочных твердеющих смесей с направленным структурообразованием. Диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия и соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Правительства

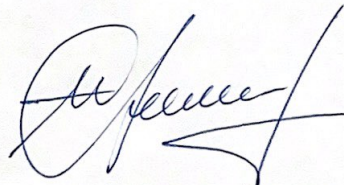
Российской Федерации), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Рыжих Владислав Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры строительного материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», протокол заседания № 20 от «25» апреля 2024 г.

Доктор технических наук
(05.17.11 - Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов),
профессор, заведующий кафедрой
строительного материаловедения ФГБОУ ВО
НИУ МГСУ
Телефон 8(916)9157044,
SamchenkoSV@mgsu.ru.
Кандидат технических наук
(05.23.05 – Строительные материалы и изделия), доцент, доцент кафедры
строительного материаловедения ФГБОУ ВО
НИУ МГСУ
Телефон 8(964)5842046,
inozemcevas@mgsu.ru



Самченко Светлана Васильевна



Иноземцев Александр Сергеевич

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

E-mail: kafSM@mgsu.ru Тел.: 8 (499) 183-32-29 Сайт: <https://www.mgsu.ru>