

**РАЗРАБОТКА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ
СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
ДЛЯ РЕМОНТНЫХ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

И.А. Печерицын, М.А. Смирнов, В.В. Белов, В.И. Трофимов

© Печерицын И.А., Смирнов М.А.,
Белов В.В., Трофимов В.И., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты разработки механоактивированных сухих строительных смесей для ремонтных и восстановительных работ. Отмечено, что теоретические подходы к традиционным строительным растворам не подходят для растворов на основе сухих строительных смесей, так как они различаются по составу и эксплуатационным нагрузкам. Подчеркнуто, что строительные растворы на основе сухих смесей работают в разных условиях, поэтому они должны надежно работать в течение длительного времени. Сделан вывод, что строительные растворы должны соответствовать определенным требованиям по физико-механическим и эксплуатационным параметрам.*

***Ключевые слова:** сухие строительные смеси, механоактивация, аэросил, ремонтные работы, модификаторы.*

Введение

Строительные материалы из естественного и искусственного камня в ходе эксплуатации подвергаются влиянию окружающей среды. На строительные материалы воздействуют пыль, газы и атмосферные осадки, которые изменяют химический состав жидкостей в пористой системе. Солнечное излучение, резкие перепады температуры, влажность, световое и галактическое излучение, большие ветровые нагрузки значительно сокращают срок службы и ухудшают активные и эксплуатационные свойства каменных строительных конструкций [1].

В России, как и во всех ведущих строительных державах мира, с последнего десятилетия XX века проведение строительно-отделочных и ремонтных работ не обходится без использования сухих строительных смесей (ССС) [2]. Они применяются повсеместно, поэтому в настоящее время трудно представить реализацию строительных работ без использования какого-либо вида сухих смесей [3]. Внедрение ССС кардинально изменило алгоритм реставрации, продемонстрировало свою эффективность, а также исключительные свойства данных смесей по сравнению с традиционными [4]. Сухие смеси можно использовать практически на

каждом этапе ремонтно-строительных работ. Без них трудно обойтись при выравнивании пола и потолков, укладке плитки или сооружении перегородок. Смеси отличаются простотой приготовления и не требуют много времени на подготовку [5].

При производстве общестроительных и ремонтных работ активно задействуются ССС на цементной основе, модифицированные специальными вяжущими и химическими добавками для придания им уникальных свойств. Правильный выбор химических добавок значительно влияет на характеристики получаемого строительного раствора. Большая часть проблем при ремонте и восстановлении связана с выбором некачественных или неправильных в данном случае технологических решений. Чтобы снизить риски возникновения этих проблем, необходимо выбирать верные технологические решения и добавки [6, 7].

Поскольку ССС являются многокомпонентными системами, их дальнейшая оптимизация – модификация различными органическими и органоминеральными добавками в соответствии с требуемыми свойствами и техническими характеристиками затвердевшего раствора – должна проводиться с использованием методов математического планирования и многофакторных планов [8].

Одним из самых распространенных технологических процессов в современном производстве строительных материалов является механоактивация сырьевых компонентов в мельницах [9]. Решение задачи повышения эффективности производства ССС посредством механоактивации ее рецептурных компонентов чрезвычайно актуально на данном этапе развития строительной технологии [10].

Выявлено, что механическая энергия, подведенная в процессе измельчения к твердому телу, частично усваивается им в виде точечных, линейных дефектов и новой поверхности. Механическая обработка неорганических порошкообразных веществ способствует возникновению поля напряжения на поверхности контакта твердой частицы с мелющим телом или другой частицей, а не во всем ее объеме. В ходе механоактивации происходит чередование процессов возникновения и релаксации поля напряжения с механическим воздействием локального характера. При этом в рабочем органе механоактивирующей установки протекают твердофазные процессы, которые могут привести к изменению физического состояния, структуры, а также химического состава и свойств измельчаемых веществ [11].

Использование аэросила делает ССС более экономичными и снижает выбросы углекислого газа при использовании. Аэросил также улучшает эксплуатационные свойства. Это позволяет создавать высокоэффективные ССС для ремонта. Таким образом, возможно разработать материал с лучшими характеристиками и более низкой стоимостью [11].

Материалы и методы

Цели данной научно-исследовательской работы – получение сухой строительной растворной ремонтной смеси (П_{к3}, М150, F75) и снижение себестоимости ССС за счет экономии вяжущего вещества и использования химических добавок отечественного производства.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия», в качестве мелкого заполнителя – природный кварцевый песок средней крупности с модулем крупности 2,1 по ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». В состав ССС вводили минеральную добавку «Аэросил 380» (по ГОСТ 14922-77 «Аэросил. Технические условия») со средним размером частиц 5–15 нм, представляющую собой чистую двуокись кремния (SiO₂), и суперпластификатор «Полипласт СП-3» (по ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»).

В шаровой лабораторной мельнице производили предварительный совместный помол части портландцемента, добавки «Аэросил 380», добавки «Полипласт СП-3» с построением графика (рис. 1). Тонкость помола оценивалась по величине удельной поверхности на основе метода Козени – Кармана на приборе ПСХ-11 (SP).

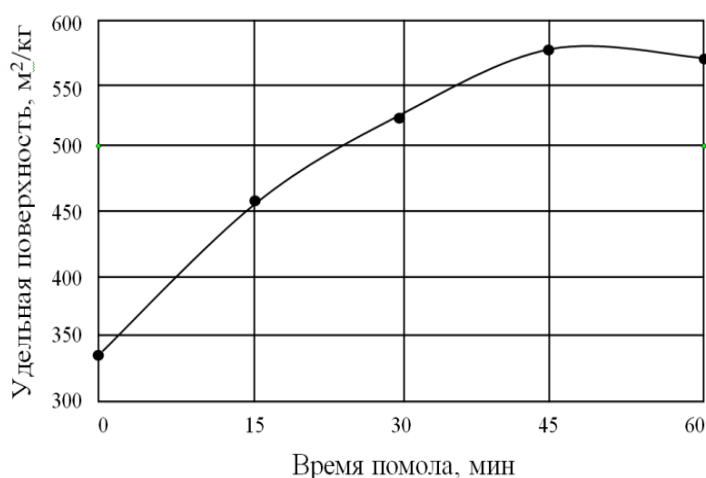


Рис. 1. График зависимости удельной поверхности смеси от времени

В соответствии с матрицей планирования трехфакторного эксперимента типа В-Д₁₃, который позволяет получать нелинейные квадратичные модели и обладает хорошими статистическими характеристиками, составляли ССС из тонкомолотой части, содержащей часть портландцемента и вышеуказанные добавки, портландцемент и природный кварцевый песок.

Из равноподвижных (по распылу конуса на встряхивающем столике в соответствии с ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии») растворных смесей формовали образцы-

кубы с размером ребра 7 см по стандартной методике. В возрасте 7 сут твердения в нормальных условиях определяли физико-механические свойства полученных образцов по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний», ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Результаты исследования

Анализ зависимости величины удельной поверхности тонкомолотой части ССС от времени помола показывает непрерывное увеличение удельной поверхности при времени помола до 45 мин и составляет 5 750 м²/кг. При более продолжительном помоле наблюдается некоторое замедление интенсивности помола, поэтому в данном исследовании осуществлялся помол указанных компонентов в течение 45 мин. Кроме того, сверхтонкий помол (свыше 550–600 м²/кг) не всегда приводит к дальнейшему возрастанию прочности. Напротив, он может снижать ее, а увеличение удельной поверхности до значений более 600 м²/кг считается нецелесообразным, поскольку, помимо роста удельных энергозатрат, вызывает повышенную водопотребность, усадочные деформации и трещиноватость конечного продукта, а также значительную потерю прочности при длительном хранении ССС.

Несмотря на то что повышение тонкости помола является способом увеличения прочности минеральных дисперсных систем, оно не может рассматриваться в отрыве от его гранулометрических показателей. Гранулометрический или дисперсный состав получаемого продукта оказывает максимальное влияние на кинетику набора и прочность, и его оптимизация представляет собой значительно более мощное средство для улучшения качества ССС, чем повышение удельной поверхности. Подобные исследования запланированы при дальнейшем развитии данной работы.

В результате испытания образцов в возрасте 7 сут нормального твердения и обработки планированного эксперимента были построены зависимости предела прочности при сжатии образцов сухой строительной смеси от содержания добавок «Аэросил 380» и «Полипласт СП-3» при разном количестве тонкомолотой части в составе смеси.

При увеличении содержания добавки «Аэросил 380» до 0,8–1,1 % от массы портландцемента наблюдается прирост прочности образцов на 25–40 % от прочности контрольного состава (без аэросила) (рис. 2). При этом максимальный прирост прочностных характеристик отмечается при содержании 20 % тонкомолотой части в составе ССС. Дальнейшее увеличение дозировки добавки «Аэросил 380» приводит к нескорому снижению прочности образцов. В результате обработки результатов планированного эксперимента была установлена оптимальная дозировка добавки пластификатора (в среднем 1 % от массы вяжущего вещества).

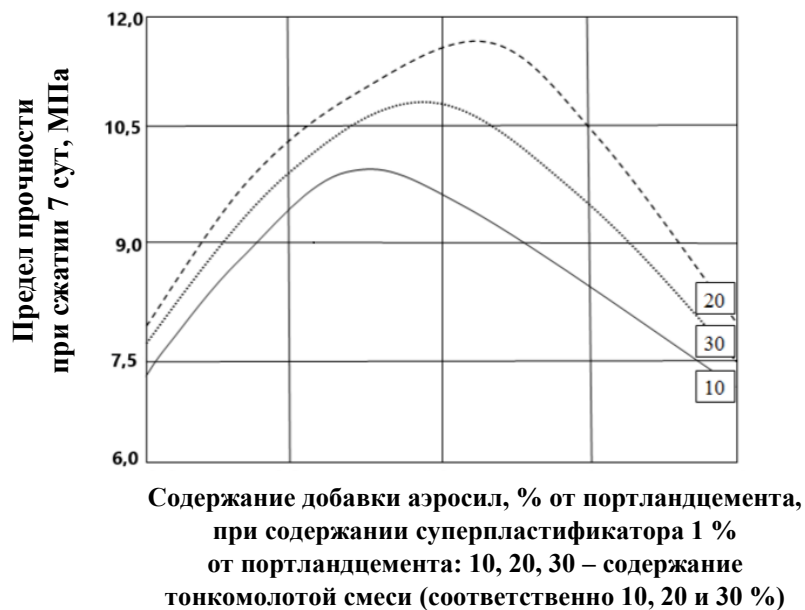


Рис. 2. График зависимости прочности образцов от содержания тонкомолотой смеси и добавки аэросил в составе композиции

Наилучшие результаты по прочности при сжатии образцов показал состав ССС, содержащий 20 % тонкомолотой части, добавки «Аэросил 380» и «Полипласт СП-3» (соответственно 1,1 % и 1 % от массы портландцемента). Предел прочности при сжатии образцов указанного состава в возрасте 7 сут составил в среднем 11 МПа.

Положительный эффект от введения тонкомолотой части, содержащей часть цемента, чистую двуокись кремния и суперпластификатор, объясняется тем, что клинкер, размолотый совместно с гипсом, может быть частично поверхностно гидратирован. Гидратация наиболее интенсивно происходит по активным центрам. Цемент, затворяемый водой с суперпластификатором, адсорбирует его в первую очередь гидратными новообразованиями, обеспечивая разжижение цементных систем.

При помоле цемента с сухим суперпластификатором и последующем затворении полученного цемента водой не только возрастает разжижающая способность суперпластификатора, но и кардинально меняется скорость формирования прочности цементного камня.

Однако наиболее важным является переизмельчение частиц суперпластификатора до наномасштабного уровня. Его наночастицы, имея размеры на 1–2 порядка меньше, чем частицы портландцемента, впрессовываются в наношероховатую поверхность последних.

Заключение

Возможно регулирование свойств ССС путем введения добавок «Аэросил 380» и «Полипласт СП-3» при их совместном домоле с частью вяжущего вещества. Полученная смесь обладает рядом преимуществ перед

аналогами, а именно повышенными физико-механическими свойствами, высокой эффективностью, простотой использования и экологической безопасностью. За счет применения данной смеси можно значительно улучшить качество и продлить срок службы строительных конструкций, работающих в обычных средах (бетонные и железобетонные балки, колонны, ригели, перекрытия и т.д.), сократив при этом затраты на возведение. Универсальность и превосходство смеси над аналогами делают ее идеальным выбором для использования в сфере строительства.

Библиографический список

1. Михалик Е.А., Манапов Р.А., Дерябин П.П. Высокоэффективные сухие строительные смеси для ремонтных и реставрационных работ // *The Scientific Heritage*. 2022. № 103. С. 95–100.

2. Рецептуры модифицированных сухих строительных смесей / С.А.Ю. Муртазаев [и др.] // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. 2021. Т. 17. № 3 (25). С. 58–64.

3. Радыгин Р.В. Влияние сроков хранения сухих строительных смесей для ремонта бетона на прочность на сжатие и на изгиб // *Colloquium-journal*. 2019. № 27 (51). С. 97–100.

4. Несветаев Г.В., Животкова И.А. Оценка эффективности добавок для сухих строительных смесей с нормируемыми показателями прочности сцепления с основанием // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 1. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_7__5y24_Nesvetaev_Zhivotkova.pdf_ff9481a3f1.pdf (дата обращения: 20.02.2024).

5. Анализ рынка сухих строительных смесей / Е.В. Доронина [и др.] // *Московский экономический журнал*. 2019. № 5. URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-5-2019-33/> (дата обращения: 20.02.2024).

6. Теоретические подходы к созданию оптимальных структур сухих строительных смесей / В.С. Лесовик [и др.] // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 10. С. 6–11.

7. Бутакова М.Д., Михайлов А.В., Сарибекян С.С. Влияние кремнийсодержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2017. Т. 17. № 2. С. 34–41.

8. Несветаев Г.В., Осипов В.В. О влиянии релаксируемых полимерных порошков на модуль упругости и прочность сцепления строительных растворов // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 7 (91). С. 493–505.

9. Беззубцева М.М. Производство сухих строительных смесей электромагнитной механоактивацией // *Международный журнал экспериментального образования*. 2016. № 11. Ч. 2. С. 258–260.

10. Кузьмина В.П. Эффективность применения механоактивации при производстве сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2011. № 2. С. 32–34.

11. Механоактивация как способ повышения эффективности использования сырья различного генезиса в строительном материаловедении / Н.И. Алфимова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. Т. 1. № 6. С. 85–89.

DEVELOPMENT OF MECHANO-ACTIVATED DRY BUILDING MIXES FOR REPAIR AND RESTORATION WORK

I.A. Pecheritsyn, M.A. Smirnov, V.V. Belov, V.I. Trofimov

***Abstract.** The article presents the results of development of mechanically activated dry mortars for repair and restoration works. It is noted that theoretical approaches to traditional mortars are not suitable for mortars based on dry mortars, as they differ in composition and operational loads. It is emphasized that mortars based on dry mixes work under different conditions, so they should work reliably for a long time. It is concluded that construction mortars must meet certain requirements for physical, mechanical and operational parameters.*

***Keywords:** dry building mixes, mechanical activation, aerosil, repair work, modifiers.*

Об авторах:

ПЕЧЕРИЦЫН Илья Андреевич – студент, Тверской государственный технический университет, Тверь. E-mail: 342.3uaer@mail.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

About the authors:

PECHERITSYN Ilya Andreevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: 342.3uaer@mail.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

УДК 691.327

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ГАЗОБЕТОНА

Д.А. Пономарев, Ю.Ю. Курятников,
М.А. Смирнов, В.Б. Петропавловская

© Пономарев Д.А., Курятников Ю.Ю.,
Смирнов М.А., Петропавловская В.Б., 2024

***Аннотация.** В статье изучены сухие смеси для производства качественного неавтоклавного газобетона для монолитного строительства. Рассмотрены пути его совершенствования.*

***Ключевые слова:** неавтоклавный газобетон, реакционно-порошковые сухие смеси, композиционные вяжущие, минеральные добавки, генетический тип, дисперсная система, структурообразование, пространственная структура.*

Введение

Строительство современного жилья предполагает использование новых строительных технологий, возведение строительных конструкций с применением разнообразных эффективных строительных материалов, влияющих на долговечность сооружений и комфортность жилья. По установленной за рубежом градации комфортности проживания человека первое место занимают дома из дерева, второе – дома из ячеистых бетонов, в том числе газобетонов неавтоклавного твердения. Рынок неавтоклавных