

УДК 691.587

**САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ ДЕКОРАТИВНЫЕ БЕТОНЫ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ***Н.А. Белов, Ю.Ю. Курятников, В.В. Белов**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Белов Н.А., Курятников Ю.Ю., Белов В.В., 2026

Аннотация. Рассмотрено использование самовосстанавливающегося декоративного бетона для предотвращения появлений трещин, а также усиления стойкости материала к различным природным и техногенным факторам. Определены составы бетона, который включает в себя белый портландцемент, песок средней крупности, высокоактивный метакраин, расширяющую сульфокраинатную добавку, молотый гранулированный доменный шлак, а также суперпластификатор. Отмечено, что оценка процесса самозалечивания трещин на поверхности бетона осуществляется визуальным методом, а также с использованием косвенной характеристики самовосстановления – коэффициента трещиностойкости. Исследование направлено на усиление природного потенциала к самовосстановлению (аутогенный механизм) с помощью специальных добавок, обладающих пуццолановой активностью. Приведены комплексные характеристики готового изделия, а также результаты эксперимента по наблюдению за затягиванием трещины на поверхности бетона.

Ключевые слова: самовосстановление бетона, декоративный бетон, молотый шлак, высокоактивный метакраин, суперпластификатор, коэффициент трещиностойкости, аутогенный механизм.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-12-20**ВВЕДЕНИЕ**

Образование трещин в бетонных и железобетонных конструкциях на протяжении их жизненного цикла неизбежно, в связи с чем постоянная необходимость ремонта существенно влияет на общую стоимость строительства и обслуживания [1, 2].

Использование декоративных бетонов с самовосстанавливающимися свойствами при производстве объектов облагораживания и обустройства городских территорий представляет собой один из способов повышения качества городских пространств, поскольку может продлить срок службы изделия и сэкономить затраты в будущем.

К возможным причинам самовосстановления бетона относятся образование карбоната или гидроксида кальция, осаждение частиц, продолжающаяся гидратация, набухание цементной матрицы [3, 4]. Обычная и дождевая вода при реакции с бетоном и углекислым газом в атмосфере способствует образованию карбоната кальция в бетоне, который залечивает трещины на поверхности бетона [3].

Ученые, исследовавшие процесс самовосстановления бетона, выделили два основных механизма самозалечивания трещин [1–7]:

1. Аутогенный (автономный), который реализуется без введения в состав бетона биологических добавок и обусловлен дальнейшей гидратацией негидратировавших

цементных частиц (клинкерный фонд), пуццолановой реакцией материалов и насыщением гидрооксида кальция [1–4].

2. Биологический, осуществляемый по такому принципу: лактат кальция вместе с бактериями помещается в капсулы из биоразлагаемого пластика диаметром 2–4 мм, которые с помощью химически активных добавок внедряются в бетонную смесь. При нормальных условиях использования капсулы сохраняют свою целостность, и бактерии находятся в состоянии анабиоза. Однако при появлении микротрещин структура капсул нарушается, что приводит к проникновению внутрь них влаги и выводит бактерии из анабиоза, активируя их; затем наступает быстрый рост численности бактерий, потребляющих кальций лактата. Выделяемый бактериями в процессе их жизнедеятельности известняк заполняет микротрещины [5–7].

Согласно работам [1–4], наиболее эффективным механизмом самовосстановления является аутогенный, обусловленный пуццолановой реакцией минеральных и кристаллических добавок. Постоянная гидратация минеральных добавок способствует аутогенному восстановлению, поскольку большая часть этих добавок (например, молотый доменный шлак) остается негидратированной даже в позднем возрасте.

Среди таких добавок можно выделить молотый гранулированный доменный шлак и высокоактивный метакраолин (ВМК).

Введение шлака в состав позволяет повысить стойкость бетона к образованию трещин, снизить коэффициент теплопроводности и увеличить устойчивость к агрессивным средам. Результаты исследований и практикой убедительно доказано, что бетоны на цементах, содержащих молотый гранулированный доменный шлак в количестве от 20 до 60 %, имеют существенные экономические, экологические, технологические и эксплуатационные преимущества перед бетонами на портландцементе без минеральных добавок [8, 9].

Высокоактивный метакраолин применяется в составе бетона для усиления (уплотнения) структуры [10]. Это гидравлически активная добавка, способная при взаимодействии с гидроксидом кальция образовывать нерастворимые низкоосновные гидроалюмосиликаты кальция [11, 12]. Кроме того, ВМК является кристаллической добавкой – чрезвычайно гидрофильным продуктом, созданным с помощью «активных химических веществ», который часто смешивают с цементом и песком. В присутствии воды они вступают в реакцию, образуя нерастворимые в воде осадки, которые блокируют поры и трещины и повышают плотность CSH и устойчивость к проникновению воды [2, 12].

Оценить процесс самозалечивания трещин на поверхности бетона можно визуальным методом [6], а также с использованием косвенной характеристики самовосстановления – коэффициента трещиностойкости [13, 14].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были изучены возможности получения самовосстанавливающегося декоративного бетона с использованием отходов металлургической промышленности (молотого гранулированного доменного шлака), кристаллической добавки (ВМК) и сульфаталюминатной добавки. Для этого были изготовлены образцы-балочки и кубы для определения предела прочности при изгибе и сжатии в водонасыщенном и естественном состоянии.

Использовались следующие компоненты: белый портландцемент ПЦБ 1-500-Д0 (Семix); песок средней крупности с модулем крупности 2,38; суперпластификатор «Технониколь RM-304»; сульфаталюминатная расширяющая добавка РД-Н с удельной

поверхностью 350 м²/кг; высокоактивный метакраолин ВМК-45 с удельной поверхностью 1 700 м²/кг и насыпной плотностью 480 кг/м³.

Материалы, взвешенные с учетом заранее рассчитанного состава бетонной смеси, засыпались поочередно и в течение 2 мин перемешивались лопаткой, после чего затворялись водой.

Контроль и корректировка полученной смеси осуществлялись при помощи «малого» конуса по величине расплыва, которая должна была составлять 160–180 мм (±5 мм). В случае отклонения от заданного диапазона проводилась корректировка состава: при недостаточном расплыве дополнительно вводилось 5 % воды и цемента с малым количеством суперпластификатора; при чрезмерном расплыве увеличивалась доля песка.

Скорректированная смесь послойно укладывалась в подготовленные формы размером 4,0 × 4,0 × 16,0 см и формы размером 7,0 × 7,0 × 7,0 см с уплотнением каждого слоя металлической штыковкой. Окончательное уплотнение производилось на вибростоле до появления цементного молока на поверхности. После виброуплотнения формы накрывались пленкой и выдерживались в течение 24 ч.

Спустя сутки производилось взвешивание форм с последующей распалубкой. Бетонные образцы-балочки выдерживались в нормальных условиях (температура 18–22 °С, относительная влажность воздуха 95 ± 2 %) в течение 28 сут.

Метод определения коэффициента трещиностойкости, рассматриваемого в качестве косвенного показателя способности материала к самовосстановлению, основан на проведении испытаний образцов на растяжение при изгибе в двух состояниях: нормальном (воздушно-сухом) и водонасыщенном. Критерием оценки выступает отношение полученных значений пределов прочности, фиксируемое в ходе эксперимента [13].

Расчет коэффициента трещиностойкости выполняется по формуле

$$K_{\text{трещ}} = R_{\text{изг. вод}} / R_{\text{изг}},$$

где $R_{\text{изг. вод}}$ – предел прочности на растяжение при изгибе в водонасыщенном состоянии, МПа; $R_{\text{изг}}$ – предел прочности на растяжение при изгибе в естественном состоянии, МПа.

Возрастание численного значения данного коэффициента свидетельствует о повышении интенсивности процессов самовосстановления структуры материала.

Определение коэффициента размягчения предполагает проведение испытаний на сжатие бетонных образцов, также находящихся в естественном и водонасыщенном состоянии. Искомый показатель вычисляется как отношение соответствующих пределов прочности при сжатии.

Коэффициент размягчения рассчитывается по формуле

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{сж. вод}} / R_{\text{сж}},$$

где $R_{\text{сж. вод}}$ – предел прочности на растяжение при изгибе в водонасыщенном состоянии, МПа; $R_{\text{сж}}$ – предел прочности на растяжение при изгибе в естественном состоянии, МПа.

Данный коэффициент количественно характеризует водостойкость материала, отражая степень сохранения прочностных свойств при водонасыщении.

Экспериментальная оценка способности мелкозернистого бетона к самовосстановлению на основе визуального анализа выполнялась на образцах кубической формы размером 10 × 10 × 10 см. Состав исследуемых образцов соответствовал составу,

продемонстрировавшему максимальное значение коэффициента трещиностойкости по результатам предварительных испытаний. Твердение образцов осуществлялось в условиях тепловлажностной обработки на протяжении 28 сут.

По завершении периода твердения образцы подвергались нагружению с использованием гидравлического пресса с целью образования трещин раскрытием до 0,2 мм. Величину нагрузки подбирали экспериментально, ориентируясь на момент визуального обнаружения первых трещин. Фиксированная ширина трещин измерялась щупом (в соответствии с ГОСТ 882) в зоне их максимального раскрытия, после чего участки образования трещин маркировались.

Затем образцы помещались в водную среду, где выдерживались в стационарных условиях. С периодичностью 7 сут проводилось контрольное измерение ширины предварительно отмеченных трещин. Регистрация динамики изменения раскрытия трещин продолжалась до момента их полного зарастания (самозалечивания).

Критерием оптимальности состава являлась продолжительность периода заживления, составляющая от 28 до 56 сут. Составы, обеспечивающие заживление трещин в указанном временном интервале, рассматривались как обладающие наиболее выраженной способностью к самовосстановлению [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимальный состав самовосстанавливающегося бетона включает следующие компоненты (расход, кг): цемент (539); ВМК-45 (66,4); РД-Н (66,4); песок (1 675); RM-304 (4,7); вода (269).

На основании результатов проведенных исследований был установлен комплекс характеристик оптимального состава самовосстанавливающегося декоративного бетона:

средняя и истинная плотность, кг/м³;

предел прочности при сжатии и растяжении при изгибе, МПа;

водопоглощение по массе и объему, %;

параметры пористости (открытая, закрытая и полная), %;

коэффициент размягчения (водостойкость);

коэффициент конструктивного качества (ККК);

коэффициент трещиностойкости.

Комплексные характеристики изделия представлены ниже:

Характеристика	Значение
Механические свойства	
Предел прочности при изгибе в возрасте 28 сут, МПа	6,5
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	39,15
Класс по прочности	B30
Плотность и водопоглощение	
Средняя плотность, г/см ³	2,08
Истинная плотность, г/см ³	2,36
Водопоглощение по массе, %	5,1
Водопоглощение по объему, %	10,6
Пористость, см ³	

Характеристика	Значение
Открытая	10,6
Полная	11,86
Закрытая	1,26
Коэффициенты	
Трещиностойкости	1,18
Размягчения	1,14
Конструктивного качества	21,23

Полученный бетон характеризуется средней плотностью 2 080 кг/м³, что соответствует тяжелым мелкозернистым бетонам. Истинная плотность составляет 2 360 кг/м³. Класс прочности на сжатие В30 (средняя прочность 39,15 МПа) достаточен для элементов МАФ. Прочность на растяжение при изгибе (6,5 МПа) находится на удовлетворительном уровне для материалов, работающих на изгиб.

Полная пористость материала составила 11,86 % с преобладанием открытой пористости (10,6 %). Водопоглощение по массе (5,1 %) и объему (10,6 %) типично для плотных цементных композитов. Критически важным является значение коэффициента размягчения, равное 1,14. Коэффициент, превышающий единицу, указывает на то, что водонасыщение не приводит к снижению прочности при сжатии, а в данном случае даже несколько ее увеличивает. Это показывает высокую водо- и морозостойкость материала, что крайне важно для бетона, эксплуатируемого в во влажных условиях.

При сравнении предела прочности в естественном и водонасыщенном состоянии можно увидеть, что последний увеличивается, поскольку в составе бетона присутствует ВМК. Ключевым механизмом при этом выступает активизация пуццолановой активности метакеолина в условиях избыточного водонасыщения. Метакеолин, как высокодисперсный аморфный алюмосиликат, вступает во вторичную реакцию с портландцементным гидроксидом кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). В водонасыщенной среде кинетика и полнота данной реакции существенно возрастают, что приводит к интенсивному дополнительному синтезу низкоосновных гидросиликатов кальция (C-S-H геля). Отложение новообразованной гидратной фазы в межзерновом пространстве и капиллярных порах обеспечивает доуплотнение микроструктуры на субмикроскопическом уровне.

В свою очередь, избыток влаги способствует более полной и продолжительной гидратации как клинкерных минералов цемента, так и компонентов расширяющей добавки (РД-Н). Это приводит к оптимизации капиллярно-гелевой структуры цементного камня, а именно: к снижению объемов крупных капиллярных пор и увеличению доли мелких гелевых [12].

Рассмотренное явление свидетельствует о высокой потенциальной долговечности материала в условиях эксплуатации с переменным влажностным режимом. Контакт с водой в данном случае не инициирует процессы разрушения, а напротив, способствует обеспечению структурной целостности матрицы, что является ценным эксплуатационным преимуществом для малых архитектурных форм.

Коэффициент трещиностойкости, определенный в возрасте 28 сут, составил 1,18. Значение, стабильно превышающее 1,0, подтверждает выводы, сделанные на первом этапе. Оно указывает на формирование особо плотной и однородной микроструктуры цементного камня, в которой процессы упрочнения в водной среде (догидратация,

пуццолановая реакция) преобладают над негативным воздействием воды. Такая структура обладает повышенной сопротивляемостью зарождению и развитию трещин, а также создает предпосылки для автогенного залечивания микротрещин за счет продолжения процессов гидратации и карбонизации в зоне их образования.

Высокий коэффициент конструктивного качества ($K_{KK} = 21,23$) подтверждает рациональность подобранного состава, демонстрируя хорошее соотношение прочности и плотности.

Экспериментальным путем разработан и комплексно охарактеризован состав самовосстанавливающегося декоративного бетона на основе белого цемента. Введение комплекса модифицирующих добавок (ВМК и сульфоалюминатной расширяющей добавки) позволило целенаправленно сформировать плотную, химически стабильную микроструктуру с минимальным количеством слабых звеньев, таких как портландит и макропоры. Это обеспечило материалу не только достаточные прочностные и декоративные свойства, но и повышенные эксплуатационные характеристики: высокую водостойкость ($K_{разм} = 1,14$) и трещиностойкость ($K_{трещ} = 1,18$). Последняя служит фундаментальной основой для проявления эффекта самовосстановления микротрещин в условиях эксплуатации. Полученный бетон соответствует целевым показателям для применения в производстве долговечных и надежных малых архитектурных форм.

Визуальная оценка процесса залечивания трещины на поверхности бетона проводилась на образцах, содержащих в своем составе ВМК-45 и РД-Н в количестве 10 % от массы цемента. Данный состав был определен на основе коэффициента трещиностойкости – косвенной характеристики самовосстановления. Исследовались стандартные образцы-кубы размером 7,0 x 7,0 x 7,0 см. Процесс залечивания трещин на поверхности бетона показан на рис. 2.

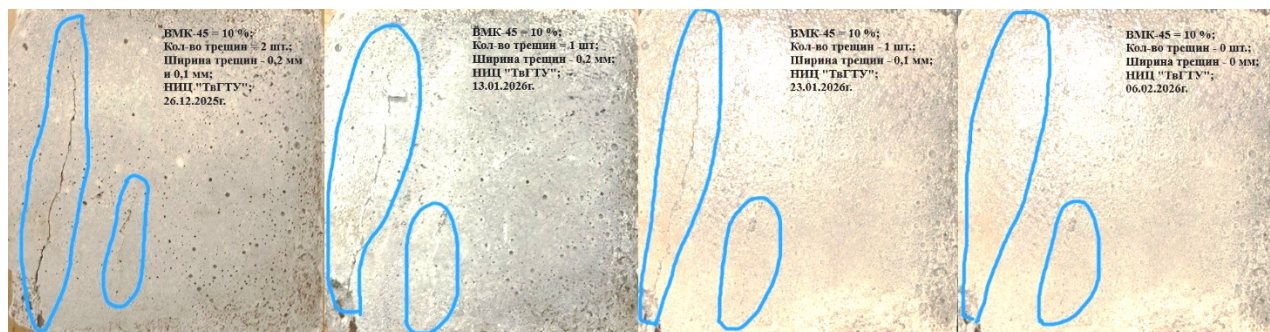


Рис. 2. Процесс самовосстановления бетона

На рисунке видно, что результат достигается постепенно: сначала исчезают мелкие трещины шириной до 0,1 мм включительно, а затем и большие. На втором этапе наблюдается образование белого налета извести. Проверка показала, что при формировании налет не смывается водой, однако на последующих этапах он полностью исчезает самостоятельно. Этот факт подтверждает, что налет является временным побочным продуктом реакции и не влияет на конечный результат. Следовательно, подобранный состав полностью работоспособен, а наблюдаемый процесс готов к дальнейшей доработке и применению.

ВЫВОДЫ

Экспериментальным путем успешно разработан состав самовосстанавливающегося декоративного бетона, предназначенного для производства малых архитектурных форм. Ключевыми компонентами, обеспечившими специальные свойства, стали белый портландцемент, ВМК-45 и сульфоалюминатная расширяющая добавка (РД-Н).

Основой для проявления аутогенного самовосстановления (залечивания микротрещин) служит целенаправленно созданная микроструктура цементного камня.

Визуальная оценка процесса самовосстановления продемонстрировала присущую материалу способность к залечиванию искусственно созданных трещин шириной до 0,2 мм в условиях повышенной влажности. При этом временное образование известкового налета является побочным продуктом реакций и не ухудшает конечный результат.

Применение разработанного бетона при производстве малых архитектурных форм позволит: увеличить долговечность изделий за счет снижения скорости деградации от влаги и микротрещин, сократить будущие эксплуатационные расходы на ремонт и замену элементов городского благоустройства, а также повысить эстетическую привлекательность объектов благодаря сохранению целостности их декоративной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahn T.H., Kishi T. Crack Self-healing Behavior of Cementitious Composites Incorporating Various Miner Admixtures // *JACT*. 2020, No. 8 (2), pp. 171–186.
2. A Review of Self-Healing Concrete for Damage Management of Structures / N.De Belie [et al.] // *Advanced Materials Interfaces*. 2018. No. 5 (17), pp. 152–160.
3. Асонова А.В. Новый взгляд на бетон. Самовосстанавливающийся гибкий бетон. IX Всероссийский фестиваль науки: Сборник докладов: в 2 т. Нижний Новгород, 23–24 октября 2019 года. Т. 1. Н. Новгород: НГАСУ, 2020. С. 16–18.
4. Addressing Infrastructure Durability and Sustainability by Self Healing Mechanisms – Recent Advances in Self Healing Concrete and Asphalt / E. Schlangen, S. Sangadji // *Procedia Engineering. The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE)*. 2018, pp. 39–57.
5. Кулешова П.Н. Умные материалы: самовосстанавливающийся бетон, стекла с изменяемой прозрачностью // *Научный журнал молодых ученых*. 2025. № 4 (44).
6. Курятников Ю.Ю. Разработка самовосстанавливающегося бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 4 (28). С. 17–23.
7. Application of expanded perlite encapsulated bacteria and growth media for self-healing concrete / T. Sharma [et al.] // *Construction and Building Materials*. 2018. No. 160, pp. 610–619.
8. Джаббарова Н.Э., Асадова И.Б.К. Изучение прочности шлакоцемента и бетонов на его основе // *Наука и образование сегодня*. 2021. № 7 (66).
9. Иванов И.М., Крамар Л.Я., Мордовцева М.В. Цементы и бетоны с использованием молотого гранулированного доменного шлака // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. № 3. С. 33–48.
10. Казанская Л.Ф., Сметанин А.А. Механические характеристики реставрационных растворов при использовании в их составах метакаолинов // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2023. № 4. С. 853–859.

11. Чихиро Д.А. Влияние метакеолина на физико-механические свойства цементного камня // *Наука, техника и образование*. 2021. № 5 (80). С. 31–34.
12. Красиникова Н.М., Степанов С.В., Искандарова А.Ф. Исследование влияния метакеолина на прочность бетона // *Инновационная наука*. 2023. № 7-1. С. 41–43.
13. Белов В.В., Куляев П.В. Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 44–47.
14. Жабборов А.Р. Прочностные характеристики конструкций из дисперсно-армированных бетонов с учетом нелинейности деформирования // *Экономика и социум*. 2025. № 2-2 (129). С. 294–297.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛОВ Никита Александрович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: nikitka-belov-2001@bk.ru

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов Н.А., Курятников Ю.Ю., Белов В.В. Самовосстанавливающиеся декоративные бетоны для изготовления малых архитектурных форм // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2026. № 1 (29). С. 12–20.

SELF-HEALING DECORATIVE CONCRETES FOR THE MANUFACTURE OF SMALL ARCHITECTURAL FORMS

N.A. Belov, Yu.Yu. Kuryatnikov, V.V. Belov

Abstract. The use of self-healing decorative concrete to prevent the appearance of cracks and to increase the material's resistance to various natural and man-made factors is considered. The compositions of concrete, which include white Portland cement, medium-grained sand, highly active metakaolin, an expanding sulfoaluminate additive, ground granulated blast furnace slag, and a superplasticizer, are determined. It is noted that the assessment of the self-healing process of cracks on the surface of concrete is carried out using a visual method, as well as using an indirect characteristic of self-healing, such as the coefficient of crack resistance. The study aims to enhance the natural potential for self-healing (autogenic mechanism) using special additives with pozzolanic activity. The article presents comprehensive characteristics of the finished product, as well as the results of an experiment on observing the healing of cracks on the surface of concrete.

Keywords: self-healing of concrete, decorative concrete, ground slag, highly active methacolin, superplasticizer, crack resistance coefficient, autogenic mechanism.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BELOV Nikita Aleksandrovich – Graduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: nikitka-belov-2001@bk.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov N.A., Kuryatnikov Yu.Yu., Belov V.V. Self-healing decorative concretes for the manufacture of small architectural forms // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 12–20.

УДК 665.775

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ГРУППОВОГО СОСТАВА БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ, МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Ю.Е. Кабанов, С.А. Иванов, И.С. Гуркин

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
(г. Кемерово)*

© Кабанов Ю.Е., Иванов С.А., Гуркин И.С., 2026

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования структурно-группового состава битума марки БНД 70/100, модифицированного резиновой крошкой по одностадийной и двухстадийной технологиям. Исследование выполнено методом инфракрасной (ИК) спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV. Установлено, что базовая углеводородная матрица битума сохраняется при модификации, о чем свидетельствуют характерные полосы поглощения в областях $2\,750\text{--}2\,900$, $790\text{--}910$ и $1\,600\text{ см}^{-1}$. Критерием успешного введения резинового модификатора служит появление новых полос поглощения в интервалах $1\,950\text{--}2\,190$ и $2\,200\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$, что коррелирует с присутствием в системе соединений каучуковой природы. Усиление полосы при $1\,590\text{ см}^{-1}$ указывает на увеличение содержания высокомолекулярных асфальтенов и структурирующих смол в модифицированных битумах. Качественных различий в ИК-спектрах образцов, полученных по разным технологиям, не выявлено.