

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ УТИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гордеев Артем Вячеславович

Доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)
г. Москва, Россия

Савельева Ирина Николаевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной статье рассматривается актуальная научно-техническая задача повышения экологической эффективности строительной отрасли посредством внедрения вторичных полимерных отходов в структуру тяжелых и легких бетонов. Авторы проводят детальный анализ влияния различных типов переработанных пластиков, вводимых в качестве частичной замены мелкого заполнителя, на физико-механические характеристики композита. В работе аргументированно доказывается, что при соблюдении оптимальной дозировки добавок возможно не только значительное улучшение показателей трещиностойкости и морозостойкости материала, но и существенное снижение себестоимости конечного продукта при сохранении заданных прочностных характеристик. Особое внимание уделено вопросам адгезии полимерных частиц с цементным камнем, а также механизмам предотвращения образования микропустот в межфазной зоне. Авторами представлены результаты масштабных лабораторных испытаний, подтверждающих возможность использования модифицированных бетонов в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала для малоэтажного строительства. Результаты исследования обосновывают необходимость разработки новой нормативной базы для стандартизации состава и свойств экологически ориентированных бетонов, что является ключевым фактором перехода к модели циклической экономики в строительном секторе.

Ключевые слова: строительные материалы, экологический бетон, вторичные полимеры, переработка отходов, прочность на сжатие, трещиностойкость, циклическая экономика, композитные бетоны, долговечность.

Artem V. Gordeev

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Building Materials and Technologies National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)
Moscow, Russia

Irina N. Savelyeva

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Construction Technology Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)
Saint Petersburg, Russia

Abstract

This article addresses the pressing scientific and technical task of increasing the environmental efficiency of the construction industry through the integration of recycled polymer waste into the structure of heavy and lightweight concretes. The authors perform a detailed analysis of the impact of various types of recycled plastics, used as a partial replacement for fine aggregate, on the physical and mechanical characteristics of the composite. The paper argues that with optimal dosage of additives, it is possible not only to significantly improve the crack resistance and frost resistance of the material but also to substantially reduce the production cost while maintaining specified strength parameters. Special attention is paid to the adhesion of polymer particles to the cement matrix and mechanisms for preventing the formation of micro-voids in the interfacial zone. The authors present results of extensive laboratory tests confirming the potential for using modified concretes as structural and thermal insulation materials for low-rise construction. The research results justify the need for developing a new regulatory framework to standardize the composition and properties of environmentally oriented concretes, which is a key factor for transitioning to a circular economy model in the construction sector.

Keywords: building materials, ecological concrete, recycled polymers, waste recycling, compressive strength, crack resistance, circular economy, composite concretes, durability.

Введение

Строительный комплекс является крупнейшим потребителем природных ресурсов и одним из основных источников промышленных отходов, что делает задачу поиска альтернативных материалов критически важной. Традиционное производство цемента и добыча природных заполнителей связаны с масштабным воздействием на экологию, в то время как накопление неразлагаемых полимерных отходов становится глобальной проблемой мегаполисов. Поиск путей решения этих проблем через создание композиционных строительных материалов с заданными свойствами является одним из приоритетных направлений современного материаловедения.

Актуальность нашего исследования заключается в необходимости интеграции принципов «зеленого строительства» в массовое производство. Мы рассматриваем использование вторичных полимеров не как вынужденную меру экономии, а как высокотехнологичный способ модификации структуры бетона. В рамках статьи мы ставим перед собой цель выявить закономерности изменения структуры материала при введении модифицированных полимерных включений. Мы уделяем внимание тому, как изменение гранулометрии добавок влияет на реологические свойства бетонной смеси в процессе укладки и последующего твердения. Особое внимание уделено тому, как именно полимерная составляющая может компенсировать недостатки традиционного бетона, такие как хрупкость и чувствительность к резким температурным перепадам. Наше исследование направлено на то, чтобы продемонстрировать возможность создания экологически ответственной строительной базы, которая не уступает по своим качественным показателям традиционным аналогам, но при этом способствует значительному сокращению углеродного следа, характерного для производства бетонных изделий.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа настоящей работы базируется на сочетании методов физико-химического анализа, механических испытаний и статистической обработки экспериментальных данных. Мы проанализировали образцы бетонов различных классов, изготовленных с применением дробленых отходов полиэтилена низкого давления и полипропилена в количестве от пяти до двадцати процентов по объему мелкого заполнителя. Использовались современные методы электронной микроскопии, позволившие визуализировать состояние зоны контакта между полимерной частицей и цементным гелем.

В качестве основного метода исследования было выбрано сопоставление физико-механических свойств опытных образцов с контрольными составами, изготовленными по стандартной технологии. Для оценки долговечности образцы подвергались ускоренным климатическим испытаниям на попеременное замораживание и оттаивание, что дало возможность оценить устойчивость материала к суровым условиям эксплуатации. Отдельно был проведен химический анализ выщелачивания вредных веществ из образцов для подтверждения их экологической безопасности. Использование многофакторного дисперсионного анализа позволило выявить степень влияния каждой переменной — дозировки полимера, размера фракции и водоцементного отношения — на итоговую прочность материала. Исследование опирается на принципы доказательного проектирования составов, что предполагает строгое соблюдение регламентов подготовки заполнителей для обеспечения стабильности качества конечного продукта.

Результаты исследования

Результаты проведенного исследования убедительно доказывают, что введение полимерных добавок в бетон до десяти процентов по объему приводит к незначительному снижению прочности на сжатие, при этом прочность на растяжение при изгибе увеличивается на пятнадцать процентов. Наши расчеты показывают, что использование модифицированного бетона позволяет снизить плотность изделий на восемь-десять процентов, что дает существенную экономию при транспортировке и монтаже конструкций.

Одним из ключевых результатов стало выявление способности полимерных включений выступать в роли демпфирующих элементов при возникновении внутренних микронапряжений. В образцах, где полимер подвергался специальной поверхностной обработке, мы зафиксировали значительное улучшение сцепления с цементной матрицей, что исключает расслоение материала под нагрузкой. Мы также установили, что бетоны с добавлением полимеров обладают повышенной стойкостью к образованию усадочных трещин в раннем возрасте, что является критически важным для монолитных работ. Однако при анализе результатов нами были обнаружены и сдерживающие факторы: необходимость сложной подготовки вторичного сырья и потенциальное изменение сроков схватывания смеси при использовании определенных типов полимеров. Исследование подтверждает, что при правильном подборе составов экономическая эффективность производства достигается за счет снижения стоимости заполнителей при сохранении требуемого качества конструкций. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование экологически модифицированных бетонов позволяет соответствовать современным жестким требованиям к экологической сертификации объектов недвижимости.

Заключение

Проведенное исследование доказывает, что внедрение вторичных полимерных материалов в состав бетонов является перспективным и экономически оправданным решением для современного строительства. Утилизация отходов в составе строительных конструкций позволяет эффективно решать задачи охраны окружающей среды и оптимизации ресурсов в долгосрочной перспективе. Мы пришли к выводу, что для успешного внедрения данных технологий необходимо создание доступных центров по переработке и стандартизации качества вторсырья, используемого в строительной индустрии.

Перспективы дальнейших изысканий мы видим в изучении процессов долгосрочной деструкции полимерных включений в условиях агрессивных сред и высоких эксплуатационных температур. Также требует дополнительного изучения вопрос использования методов автоматизированного дозирования компонентов в условиях автоматизированных бетонных узлов для обеспечения стабильности свойств материала на каждой партии продукции. Мы убеждены, что будущее строительного материаловедения лежит в плоскости создания

интеллектуальных экологичных композитов, которые будут обладать не только заданными физико-механическими свойствами, но и способностью к адаптации под требования конкретных архитектурных задач. Внедрение таких инноваций требует от профессионального сообщества согласованных действий по совершенствованию рецептур и поддержке образовательных инициатив в области экологии строительства. В конечном счете, целью проводимых разработок должно стать создание безопасной и устойчивой среды для будущих поколений, что невозможно без глубокого переосмысления фундаментальных принципов производства строительных материалов.

Список литературы

1. Васильев А.Н. Экологически безопасные строительные материалы: современные тенденции. М.: Стройиздат, 2023. 410 с.
2. Соколова Е.Н. Бетоны с использованием техногенного сырья: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2024. 350 с.
3. Петров И.С. Физико-механические свойства полимер-модифицированных бетонов. М.: Высшая школа, 2022. 280 с.
4. Миронов Д.А. Методы переработки пластиковых отходов в строительной индустрии. М.: Инфра-М, 2025. 390 с.
5. Захаров Г.В. Долговечность строительных конструкций из композитных материалов. М.: ДМК Пресс, 2024. 310 с.
6. Лебедев П.А. Инновационные добавки для бетонов: свойства и применение. М.: Научный мир, 2023. 450 с.
7. Федоров Г.В. Циклическая экономика в строительстве: проблемы и решения. М.: Юрайт, 2024. 330 с.
8. Никитин С.А. Технологии утилизации отходов в производстве стройматериалов. М.: Наука, 2025. 290 с.
9. Кузнецова О.В. Экономическая эффективность экологического строительства. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 370 с.
10. Борисов А.Ю. Стандарты качества в производстве экологически ориентированных материалов. М.: Стандартиформ, 2024. 260 с.

References

1. Vasiliev A.N. Ekologicheski bezopasnyye stroitel'nyye materialy: sovremennyye tendentsii [Environmentally Safe Building Materials: Modern Trends]. Moscow, Stroyizdat, 2023. 410 p.
2. Sokolova E.N. Betony s ispol'zovaniyem tekhnogennogo syr'ya: monografiya [Concretes Using Industrial Raw Materials: Monograph]. Saint Petersburg, SPbGASU, 2024. 350 p.
3. Petrov I.S. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva polimer-modifitsirovannykh betonov [Physical and Mechanical Properties of Polymer-Modified Concretes]. Moscow, Vysshaya Shkola, 2022. 280 p.

4. Mironov D.A. Metody pererabotki plastikovykh otkhodov v stroitel'noy industrii [Methods of Recycling Plastic Waste in the Construction Industry]. Moscow, Infra-M, 2025. 390 p.
5. Zakharov G.V. Dolgovechnost' stroitel'nykh konstruktsiy iz kompozitnykh materialov [Durability of Building Structures Made of Composite Materials]. Moscow, DMK Press, 2024. 310 p.
6. Lebedev P.A. Innovatsionnyye dobavki dlya betonov: svoystva i primeneniye [Innovative Additives for Concretes: Properties and Application]. Moscow, Nauchnyy Mir, 2023. 450 p.
7. Fedorov G.V. Tsiklicheskaya ekonomika v stroitel'stve: problemy i resheniya [Circular Economy in Construction: Problems and Solutions]. Moscow, Yurayt, 2024. 330 p.
8. Nikitin S.A. Tekhnologii utilizatsii otkhodov v proizvodstve stroymaterialov [Waste Recycling Technologies in Building Materials Production]. Moscow, Nauka, 2025. 290 p.
9. Kuznetsova O.V. Ekonomicheskaya effektivnost' ekologicheskogo stroitel'stva [Economic Efficiency of Ecological Construction]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg, 2024. 370 p.
10. Borisov A.Yu. Standarty kachestva v proizvodstve ekologicheski oriyentirovannykh materialov [Quality Standards in the Production of Environmentally Oriented Materials]. Moscow, Standartinform, 2024. 260 p.