

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.342

DOI: 10.21822/2073-6185-2026-53-2-223-228

Оригинальная статья /Original article



**Перспективные составы полимерцементных материалов, предназначенные
для изготовления бетонов**

М.Е. Саввинова, В.К. Кулаковский

Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,
Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук,
677000, г. Якутск, проспект М. Николаева, 20, Россия

Резюме. Цель. Полимерцементобетон перспективен для строительства на Крайнем Севере, так как повышает долговечность и надежность конструкций в экстремальном климате. Актуальность проблемы выбора ремонтных составов в строительстве обусловлена разрушением бетонных конструкций. Настоящая статья рассматривает полимерцементобетон как новый класс строительных материалов. **Метод.** Исследование основано на теории формирования прочности и разрушения композиционных строительных материалов. **Результат.** Полимерцементобетон представляет собой композит, в котором бетонная основа модифицирована полимерной матрицей. Экспериментально установлено, что высокопрочный полимерцементный композит по прочности на сжатие значительно превосходит обычный цементный камень (в 1,75 раза при В/Ц=0,4). Для практического применения такого материала требуется оптимизация условий твердения и, возможно, применение ускорителей. **Вывод.** Применение полимерцементобетона для ремонтных и восстановительных работ позволяет существенно увеличить срок службы конструкций и оптимизировать процессы строительства. Его отличительными особенностями являются высокая прочность, превосходная коррозионная стойкость, устойчивость к агрессивным средам и высокая адгезия к бетонным основаниям.

Ключевые слова: полимербетон, эпоксидная смола, цемент, кварцевый песок, гравий, известняковая крошка.

Для цитирования: М.Е. Саввинова, В.К. Кулаковский. Перспективные составы полимерцементных материалов, предназначенные для изготовления бетонов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(2):223-228. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-223-228

Promising compositions of polymer-cement materials for concrete production

M.E. Savvinova, V.K. Kulakovsky

Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
20 Nikolaev Ave., Yakutsk 677000, Russia

Abstract. Objective. Polymer cement concrete holds promise for construction in the Far North, as it improves the durability and reliability of structures in extreme climates. The relevance of the problem of selecting repair mortars in construction is due to the deterioration of concrete structures. This article examines polymer cement concrete as a new class of building materials. **Method.** The study is based on the theory of strength formation and failure of composite building materials. **Result.** Polymer cement concrete is a composite in which the concrete base is modified with a polymer matrix. Experiments have shown that high-strength polymer cement composite significantly exceeds conventional cement stone in compressive strength (1.75 times at a water/cement ratio of 0.4). Practical application of this material requires optimization of curing conditions and, possibly, the use of accelerators. **Conclusion.** The use of polymer cement concrete for repair

and restoration work can significantly increase the service life of structures and optimize construction processes. Its distinctive features are high strength, excellent corrosion resistance, resistance to aggressive environments and high adhesion to concrete surfaces.

Keywords: polymer concrete, epoxy resin, cement, quartz sand, gravel, limestone chips.

For citation: M.E. Savvinova, V.K. Kulakovskiy. Promising compositions of polymer-cement materials for concrete production. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2):223-228. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-223-228

Введение. Полимерцементные композиты – это передовые строительные материалы, объединяющие преимущества полимеров и цемента. Их уникальные свойства позволяют эффективно решать задачи строительства и ремонта, гарантируя высокую прочность и долгий срок службы конструкций [1-2]. В условиях повышенного спроса на качественные и долговечные стройматериалы, исследование полимерцементных композитов приобретает особую значимость. Они успешно применяются в гидротехническом строительстве, дорожном строительстве и реставрации памятников архитектуры [3-5].

Полимеры играют центральную роль в формировании уникальных характеристик полимерцементных смесей. В основном это акрилаты, полиуретаны и эпоксиды [6-7], которые придают материалам эластичность, химическую стойкость и повышенную прочность. Благодаря полимерам прочность цементных растворов на изгиб может возрасти до 50%, что делает их оптимальными для нагруженных конструкций. Также полимеры значительно улучшают адгезию к различным основаниям [8-10].

Постановка задачи. Современная строительная отрасль располагает широким спектром материалов для изготовления полимербетонов и восстановительных смесей на их основе. Среди них полимерные смолы занимают определенное место, однако их применение сопряжено с рядом существенных недостатков, таких как интенсивный запах, высокая летучесть, пожароопасность и токсичность [11]. Это обусловило актуальность поиска альтернативных, более безопасных и удобных в обращении материалов.

Строительная отрасль активно осваивает полимерцементные бетоны на основе эпоксидных смол. Их растущая популярность объясняется отличными рабочими качествами и универсальностью. Эти композиты используют эпоксидные смолы как матрицу, что делает их более прочными и устойчивыми к агрессивным средам.

В подавляющем большинстве случаев в качестве связующего для полимербетонов применяются термореактивные смолы, такие как фурановые, эпоксидные и полиэфирные. Процесс отверждения этих материалов обычно происходит при комнатной температуре, хотя в ряде случаев может потребоваться дополнительный нагрев [12]. В ходе анализа научной литературы, специализированных публикаций и данных о состоянии строительного и химического рынков, особое внимание привлекло внимание эпоксидно-диановое смола ЭД-20. Этот универсальный полимер обладает широким спектром потенциальных применений [13].

В отличие от традиционного бетона, где связующим является цемент, современный строительный материал, известный как полимерцементобетон на основе эпоксидной смолы, использует совершенно иной принцип. Он производится путем тщательного смешивания специализированных эпоксидных смол с инертными наполнителями, такими как песок или гравий, после чего добавляется отвердитель, запускающий химическую реакцию. Именно эта реакция позволяет эпоксидным смолам затвердевать, создавая исключительно прочные и долговечные связи между всеми компонентами, что является его ключевым преимуществом [14].

Методы исследования. В качестве заполнителей использованы отсев известнякового щебня Сасабытского месторождения РС (Я), свойства которого представлены в табл. 1, 2 и речной песок из поймы реки Лена.

Таблица 1. Гранулометрический состав отсева известнякового щебня
Table 1. Particle size distribution of crushed limestone screenings

Проход Passage	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,05
Частный, % Private, %	0,1	20,1	33,8	20,8	12,5	4,9	2,2	5,6
Полный, % Full, %	0,1	20,2	54,0	74,8	87,3	92,2	94,4	100,0

Таблица 2. Физико-механические свойства отсева известнякового щебня
Table 2. Physical and mechanical properties of crushed limestone screenings

	Влажность, Humidity, %	Насыпная плотность, г/см ³ Bulk density, g/cm ³	Истинная плотность, г/см ³ True density, g/cm ³	Пылевидные и глинистые частицы, % Dust and clay particles	Марка по дробимости Crushing grade
ГОСТ 8267-93, 31424-2010 GOST	-	-	-	не более 5,0 no more	-
Фактические данные Factual data	0,14	1,19	2,53	2,36	1000

Согласно ГОСТ 8736-93, речной песок из поймы реки Лена относится ко II классу, к категории - очень мелкий. Модуль крупности песка $M_{кр} = 1,29$ (зерна крупности свыше 5 мм – нет; менее 0,16 мм составляет 8,7%; содержание пылевидных и глинистых частиц – 0,84 %). В качестве минерального вяжущего использован портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2020).

Были изготовлены образцы кубы размером 20x20x20. Содержание портландцемента во всех рецептурах составляло 1 часть, песка (отсева щебня) – 3 части. Образцы для испытаний готовили следующим образом: сначала смолу смешивали с отвердителем. Далее, регулируя густоту цементно-полимерной композиции добавлением воды (с учетом ее содержания в эпоксидной-эмульсии), вводили цемент.

Процесс создания полимерцементобетона (ПЦБ) сводится к тому, чтобы связать частицы наполнителя с помощью связующего раствора. Для полимерцементобетонных смесей таким раствором служит полимерно-цементное тесто.

В ходе замешивания бетонная смесь проходит стадии от влажной до текучей консистенции. Окончательная прочность бетона определяется прочностью как наполнителя, так и затвердевшего полимерно-цементного камня. Важнейшим фактором, влияющим на прочность полимерно-цементного камня, является соотношение цемента и полимера, воды в исходном полимерно-цементном тесте. Оптимальным считается соотношение П/Ц в пределах 1,5-1 (или В/ССС от 0,15 до 0,18).

Определение прочности при сжатии образцов проводили на универсальной испытательной машине UTS-20 K «Noske-kaeser» (Германия).

Для расчет предела прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа, использовали формулу:

$$R_{сж} = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

S – площадь поперечного сечения образца, мм².

Обсуждение результатов. Исследование выявило, что при превышении соотношения полимера к цементу (П/Ц) в 1,5, смесь становится нестабильной и расслаивается. Это связано с существенной разницей в плотности и размере частиц цемента (3,1 г/см³, 20–50 мкм) и эпоксидной смолы (1,2 г/см³, 0,74 мкм). При расчете П/Ц учитывается эпоксидная

смола вместе с отвердителем (18 частей ЭД-20 на 100 частей смолы). Водоцементное отношение (В/Ц) для каждого П/Ц определялось исходя из нормальной густоты цементно-полимерного теста.

Добавление водной эпоксидной эмульсии улучшает обрабатываемость смесей, действуя как пластификатор. В связи с этим, для П/Ц выше 0,3, В/Ц было зафиксировано на уровне 0,18, что соответствует объему воды, необходимому для полной гидратации цемента.

В ходе первоначальных исследований была проведена оценка воздействия полимера/цемента (П/Ц) на предел прочности при сжатии отвержденного композиционного материала. Для достижения этой цели были подготовлены кубические образцы размером 20x20x20 мм, которые затем подвергались отверждению в металлических формах в контролируемых условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность 100%). Определение прочности проводилось на 7, 14 и 28 сутки после начала процесса твердения.

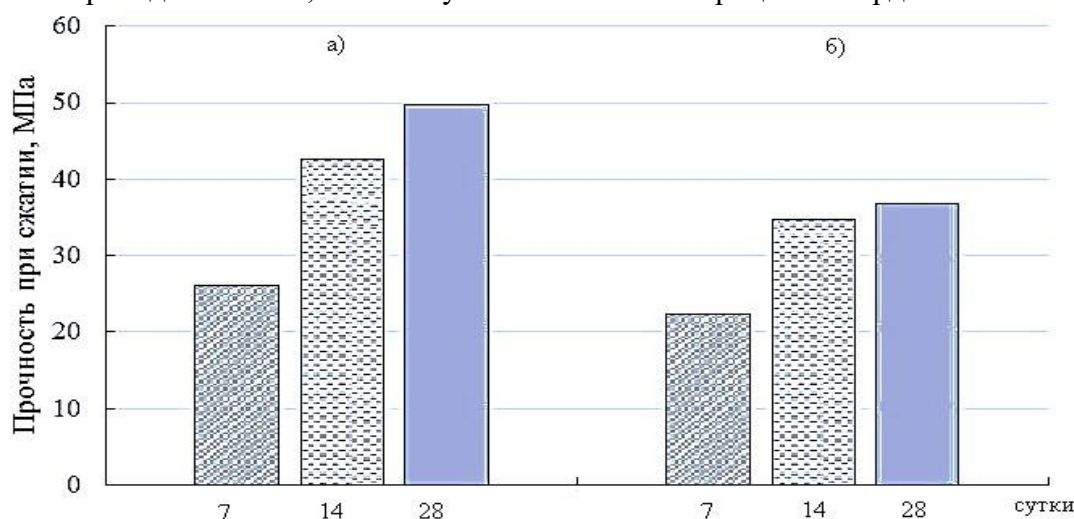


Рис. 1 - Кинетика набора прочности цементно-полимерных композиций в условиях нормального твердения: а – П/Ц=1,5; б – цемент

Fig. 1 - Kinetics of strength gain of cement-polymer composites under normal hardening conditions: a – P/C=1.5; b – cement

Начальный этап набора прочности (первые 24 часа) в цементно-полимерных композициях протекает с меньшей интенсивностью по сравнению с традиционными цементными системами. Однако, к 28-му дню твердения, прочностные характеристики обеих систем становятся сопоставимыми. В дальнейшем, в период более длительного твердения, цементно-полимерные материалы демонстрируют значительно более высокие темпы роста прочности.

Вывод. Исследования показали, что при добавлении водной эмульсии эпоксидной смолы, в цементную смесь, начальный процесс твердения (в течение первых двух недель) замедляется. Это связано с замедлением как гидратации цемента, так и реакции полимеризации эпоксидной смолы.

Однако после этого периода оба процесса активизируются, и к 28 дням формируется высокопрочный полимерцементный композит. Его прочность на сжатие значительно превосходит обычный цементный камень (в 1,75 раза при В/Ц=0,4). Для практического применения такого материала требуется оптимизация условий твердения и, возможно, применение ускорителей.

Таким образом, отличительными особенностями полимерцементобетона на основе эпоксидной смолы является быстрое застывание и набор прочности, а также высокая стойкость к внешним факторам. Это делает его пригодным для восстановления различных бетонных конструкций, таких как стены, фундаменты, мосты и прочие объекты.

Применение современных полимерцементобетонных составов для ремонта облицовки каналов увеличивает их долговечность, надежность и водонепроницаемость. Однако, полимерцементобетон не является заменой традиционного бетона и подходит лишь для устранения мелких дефектов и трещин.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГЗ Министерства науки и высшего образования РФ (рег. №№ 122011100162-9, FWRS-2026-0027) с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Acknowledgments. This work was carried out within the framework of the State Project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (registration numbers 122011100162-9, FWRS-2026-0027) using the scientific equipment of the Collective Use Center of the Federal Research Center Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Библиографический список:

1. Игнатьев А. В., Игнатьев В. А., Бочков М. И. Расчет многопролетных балок с односторонними связями по МКЭ в форме классического смешанного метода // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 48(67). – С. 94–109.
2. Хозин В.Г., Морозов Н.М., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. №9. – С. 72-77.
3. Несветаев Г.В., Осипов В.В. Влияние редиспергируемых полимерных порошков и условий выдерживания на усадку строительных растворов // Инженерный вестник Дона. 2023. № 11 (107). – С.581-597
4. Батаева П.Д. Обзор составов и технологий для ремонта и реставрации объектов культурного наследия // Вестник Комплексного научноисследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук. 2021. №5. – С. 49-53.
5. Гусева Т. В., Потапова Е. Н., Тихонова И. О. Переход к нормированию по принципам наилучших доступных технологий: перспективы и вызовы для предприятий по производству цемента // Цемент и его применение. 2018. № 6. – С. 34–38.
6. Коробова О. С., Ткачева А. С. Перспективы внедрения наилучших доступных технологий при производстве цемента // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 11. – С. 90–95.
7. Шангина Н.Н., Сафонова Т.Ю. Влияние минеральных добавок на усадочные деформации камня из известкового раствора // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2(85). – С. 142-149. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-2-142- 149.
8. Шангин В. Ю. Повышение трещиностойкости тонкослойных цементных покрытий // Строительные материалы. 2006. № 2. – С. 58-59.
9. Макушина Ю. В., Шмитько Е.И., Белькова Н.А. Пути оптимизации качества цементных бетонов по показателю влажностной усадки // Химия, физика и механика материалов. 2020. № 4(27). – С. 50-65.
10. Потапова Е. Н., Гусева Т. В., Тихонова И. О., Аверочкин Е. М. Наилучшие доступные технологии как движущая сила эколого-технологической модернизации производства цемента // Цемент и его применение. 2022. № 6. С. 40–43.
11. Скорород А.М. Внедрение наилучших доступных технологий при производстве цемента // Экономика и предпринимательство. 2023. № 7 (156). С. 1124– 1126.
12. Mobarak Mashrafi Bin, Md. Hossain Sahadat, Mahmud Monika, Ahmed Samina. Redispersible polymer powder modified cementitious tile adhesive as an alternative to ordinary cement-sand grout. // Heliyon. 2021. Vol. 7. P. 1-9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08411
13. Wang R., Wang P.-M. Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. Construct. Build. Mater. 2011. Vol. 25 (11). P. 4210- 421.
14. Кашибадзе Н.В., Загороднюк Л.Х., Стрекозова М.А. Разработка и оптимизация свойств сухих строительных смесей для наливных полов с использованием шлаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. – С. 89-94.
15. Файзрахманов И.И., Халиуллин М.И., Леклу А.Н., Амири О. Влияние тонкодисперсных отсеков бетонного лома на деформации и трещиностойкость строительных растворов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2(40). – С. 241-248

References:

1. Ignatiev A.V., Ignatiev V.A., Bochkov M.I. Calculation of multi-span beams with unilateral braces using FEM in the form of a classical mixed method. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017;48 (67): 94–109 (In Russ)

2. Khozin V.G., Morozov N.M., Muginov H.G. Features of the formation of the structure of modified sand concrete. *Construction Materials*. 2010; 9: 72–77 (In Russ)
3. Nesvetaev G.V., Osipov V.V. Influence of redispersible polymer powders and curing conditions on the shrinkage of building mortars. *Engineering Bulletin of the Don*. 2023;11 (107): 581-597 (In Russ)
4. Bataeva P.D. Review of compositions and technologies for the repair and restoration of cultural heritage sites. *Bulletin of the Kh.I. Ibragimov Integrated Research Institute of the Russian Academy of Sciences*. 2021;5:49-53. (In Russ)
5. Guseva T.V., Potapova E.N., Tikhonova I.O. Transition to standardization based on the principles of best available technologies: prospects and challenges for cement production enterprises. *Cement and its application*. 2018; 6:34–38. (In Russ)
6. Korobova O.S., Tkacheva A.S. Prospects for the implementation of the best available technologies in cement production. *Mining information and analytical bulletin*. 2016;11:90–95. (In Russ)
7. Shangina N.N., Safonova T.Yu. Effect of mineral additives on shrinkage deformations of lime mortar stone. *Bulletin of civil engineers*. 2021;2(85):42–149. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-2-142- 149. (In Russ)
8. Shangin V.Yu. Improving the crack resistance of thin-layer cement coatings. *Construction materials*. 2006; 2:58–59. (In Russ)
9. Makushina Yu.V., Shmitko E.I., Belkova N.A. Ways to optimize the quality of cement concrete in terms of moisture shrinkage. *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*. 2020; 4 (27): 50-65. (In Russ)
10. Potapova E.N., Guseva T.V., Tikhonova I.O., Averochkin E.M. Best Available Technologies as a Driving Force for Ecological and Technological Modernization of Cement Production. *Cement and Its Application*. 2022; 6: 40–43. (In Russ)
11. Skorokhod A.M. Implementation of Best Available Technologies in Cement Production. *Economics and Entrepreneurship*. 2023;7 (156):1124–1126. (In Russ)
12. Mobarak Mashrafi Bin, Md. Hossain Sahadat, Mahmud Monika, Ahmed Samina. Redispersible polymer powder modified cementitious tile adhesive as an alternative to ordinary cement-sand grout. *Heliyon*. 2021; 7:1-9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08411
13. Wang R., Wang P.-M. Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. *Construct. Build. Mater*. 2011; 25 (11):4210-421.
14. Kashibadze N.V., Zagorodnyuk L.Kh., Strekozova M.A. Development and optimization of properties of dry building mixtures for self-leveling floors using slags. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2009;3:89-94. (In Russ)
15. Fayzrakhmanov I.I., Khaliullin M.I., Leklu A.N., Amiri O. Influence of finely dispersed concrete screenings on deformations and crack resistance of building mortars. *Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017;2(40):241-248 (In Russ)

Сведения об авторах:

Саввинова Мария Евгеньевна, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, лаборатория композиционных строительных материалов, maria-svv@yandex.ru.

Кулаковский Владимир Кимович, лаборант-исследователь, аспирант 2-го года обучения, лаборатории композиционных строительных материалов, KulakovskyVK@rosdornii.ru; umbrella727301@mail.ru

Information about authors:

Maria E. Savvinova, Senior Researcher, Cand. Sci. (Eng.), Laboratory of Composite Building Materials, maria-svv@yandex.ru.

Vladimir K. Kulakovsky, Laboratory Research Assistant, Second-year Postgraduate Student, Laboratory of Composite Building Materials, KulakovskyVK@rosdornii.ru; umbrella727301@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 27.01.2026.

Одобрена после рецензирования/Reviced 26.02.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 30.04.2026.