

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ**

**IMPROVING THE DURABILITY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS
OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN THE TEXTILE INDUSTRY
BY USING MATERIALS MODIFIED
WITH A MICROBIOLOGICAL ADDITIVE**

В.Т. ЕРОФЕЕВ, АЛЬ ДУЛАЙМИ С.Д.С., А.В. ДЕРГУНОВА

V.T. EROFEEV, AL DULAIMI S. D. S., A.V. DERGUNOVA

(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева)

(National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev)

E-mail: al_rodin@mail.ru; salmoon-1985@mail.ru; anna19811981@mail.ru

В статье рассматривается проблема повышения долговечности зданий и сооружений предприятий текстильной промышленности. Исследуются процессы разрушения бетона. Приводятся современные методы самовосстановления бетонных конструкций с помощью уреалистических штаммов бактерий. Проведены расчеты экономической эффективности применения бетонов, модифицированных микробиологической добавкой.

The article deals with the problem of increasing the durability of buildings and structures of textile industry enterprises. The processes of concrete destruction are investigated. Modern methods of self-healing of concrete structures using realistic strains of bacteria are presented. Calculations of the economic efficiency of using concretes modified with a microbiological additive were made.

Ключевые слова: долговечность, бетон, микроорганизмы, экономическая эффективность, текстильная промышленность.

Keywords: durability, concrete, microorganisms, economic efficiency, textile industry.

В последние годы отечественными и зарубежными авторами отмечается, что при проектировании зданий и сооружений промышленных предприятий, в том числе относящихся к текстильной индустрии, важно обеспечить не только несущую способность конструкций, но и их долговечность [1...11]. Тем не менее, при традиционном проектировании зданий и сооружений износ конструкций в течение длительных периодов времени не считается серьезной проблемой. Гораздо большее воздействие на людей или общество в целом оказывает

разрушение конструкций. Принимая во внимание эти социальные факторы, мы не должны рассматривать проблему долговечности строительных материалов как проблему прошлых времен. Необходимо разработать новые экологичные методы самовосстановления, чтобы увеличить долговечность уже спроектированных зданий и тех, которые еще будут построены.

Выбор материалов и технологий для возведения зданий и сооружений текстильной промышленности должен удовлетворять осознанным потребностям заказчика, а

также потребностям развития общества, не оказывая негативного воздействия на окружающую среду. Первостепенное значение приобретает требование долговечности высотных и большепролетных зданий и сооружений из-за значительных затрат на строительство и социальную значимость.

Строительным материалом может быть любой материал, который используется для строительства. Наиболее широко используемым строительным материалом во всем мире является бетон, как наиболее прочный и относительно дешевый. В то же время в работах российских и зарубежных специалистов отмечается, что масштабное производство бетона оказывает негативное воздействие на окружающую среду из-за захламления ее отходами [1], [12], [13].

Актуальная проблема разрушения бетона и экономические последствия технического обслуживания и ремонта бетонных конструкций привлекли внимание к процессам разрушения бетона, а также к способам замедления или даже устранения деструкции бетона. Сохранение прочности бетона обусловлено его устойчивостью к деструкции, особенно к повреждениям под воздействием атмосферных влияний, физического, химического, биологического или другого воздействия. Долговечный бетон должен сохранять форму, качество и эксплуатационные свойства на протяжении всего установленного срока службы.

В результате таких природных процессов, как выветривание, оседание почвы, землетрясения, а также деятельности человека, в бетонных конструкциях возникают трещины и разрушения, которые имеют негативные последствия, поскольку могут уменьшить срок службы зданий и сооружений. Атмосферные воздействия вызывают повышение пористости, ослабление прочности поверхностных слоев и ухудшение внешнего вида конструкций. Для их восстановления осуществляется обработка поверхностей водоотталкивающими материалами и затирка пор. Однако эти и другие способы обработки органическими и неорганическими средствами влекут за собой некоторые негативные факторы, такие как различного вида термические расширения,

разрушение со временем и необходимость регулярного технического обслуживания.

Появление трещин и разрушений является неизбежным явлением в процессе действия нагрузок и старения бетонных конструкций под воздействия погодных факторов. Такое растрескивание способствует легкому проникновению агрессивной среды к арматуре и появлению коррозии. Очень часто ремонт конструкций осуществляется в условиях невозможности закрытия текстильного предприятия, или он наносит вред людям. Следовательно, для таких ситуаций должен быть найден способ автоматической герметизации трещин самовосстанавливающимися материалами. В последнее время появилась инновационная методика использования микроорганизмов для устранения щелей и трещин в естественных образованиях и созданных человеком сооружениях путем осаждения карбоната кальция [14...18], [20], [21].

В настоящей работе объектом исследования были здания и конструкции, работающие в условиях текстильного производства. Рассматривается экономическая эффективность применения данного вида бетонов применительно к специфическим условиям эксплуатации текстильных предприятий. В качестве бетонов с добавками бактерий ниже рассмотрены бетоны общего назначения, фиброармированные и модифицированные химическими добавками [22].

Применение самовосстанавливающихся бетонов эффективно, поскольку соединения кальцита, образуемые в результате метаболических процессов в микроорганизмах, являются естественными и экологически чистыми. Метод самовосстановления с использованием бактерий может быть использован для бетонных конструкций, которые труднодоступны для технического обслуживания и ремонта, а именно подземных сооружений, мостов и плотин. Поскольку они могут немедленно зацементироваться, срок службы конструкций продлится, затраты на техническое обслуживание сократятся, несмотря на предположение о более значительных первоначальных вложениях. В связи с этим в нашем исследовании

довании приводятся технико-экономические расчеты по определению стоимости бетонов, модифицированных микробиологической добавкой, ее уменьшению за счет использования добавки золы-уноса, а также экономического эффекта от повышения долговечности железобетонных конструкций.

Стоимость разрабатываемого бетона возрастает за счет добавляемого в его состав восстанавливающегося средства (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что стоимость восстанавливающегося средства для биобетона за счет прямых затрат и затрат на его производство составляет 40,1 дол. из расчета на 1 м³ бетона.

Т а б л и ц а 1

Компоненты	Стоимость 1 кг компонента, дол.	Расход на 1 м ³ бетона, кг	Стоимость материала на 1 м ³ бетона, дол.
Пемза	0,0047	56,93	0,271
<i>S. pasteurii</i>	0,098	116,67	11,44
Дрожжевой экстракт	3,97	0,93	3,69
Мочевина	0,43	9,33	4
Лактат кальция	2,21	9,33	20,69
Итого			40,1

В табл. 2 представлена расчетная калькуляция на производство 1 м³ сборного бетона класса В15; в табл. 3 – то же – сборного бетона с добавкой золы-уноса класса В15. В табл. 4 показаны суммарные затраты оп-

тимизированного на производство 1 м³ сборного бетона класса В15; в табл. 5 приведены исходные данные для расчета экономической эффективности бетона класса В15.

Т а б л и ц а 2

Наименование компонентов	Цена единицы измерения, дол.	Норма расхода	Сумма затрат, дол.
Портландцемент, т	7 384	0,490	3 618,16
Щебень, м ³	277	0,909	251,79
Песок, м ³	615	0,899	552,89
Добавка СП ЖК-08, кг	246	2,079	511,43
Вода, м ³	4	0,170	0,68
Итого			4 934,95

Т а б л и ц а 3

Наименование компонентов	Цена единицы измерения, дол.	Норма расхода	Сумма затрат, дол.
Портландцемент, т	7 384	0,343	2 532,71
Щебень, м ³	277	0,915	253,46
Песок, м ³	615	0,872	536,28
Зола-унос ТЭС, т	307,7	0,147	45,23
Добавка СП ЖК-08, кг	246	2,079	511,43
Вода, м ³	3,84	0,165	0,63
Итого			3 879,74

Т а б л и ц а 4

Статьи затрат	Суммарные затраты, дол.	
	без добавки	с добавкой
Материалы	4 934,95	3 879,74
Топливо	700	700
Энергия на технологические цели	30	44,92
Заработная плата	227	340,46
Транспорт технологический	76	114
Цеховые расходы	361	541,4
Итого	6 328,95	5 620,52
Общезаводские расходы	536,12	536,12
Полная себестоимость	6 865,07	6 156,64

Показатели	До внедрения	После внедрения
Годовой выпуск сборного бетона, м ³	1 500	1 500
Цена материалов на 1 м ³ сборного бетона, дол.	4 934,95	3 879,74
Себестоимость единицы продукции, дол.	6 865,07	6 156,64

Выше было показано, что экономический эффект от применения разрабатываемых бетонов в текстильной промышленности обуславливается многими причинами, в первую очередь, повышением долговечности железобетонных конструкций. Технико-экономическая эффективность цементных бетонов, модифицированных биодобавкой, обуславливается получением на их основе материалов и конструкций с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными показателями.

Экономический эффект (Э) согласно "Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений" (СН 509–78) определяют по формуле:

$$\text{Э} = [(Z_1 + Z_{c1})\varphi + \text{Э}_3 - (Z_2 + Z_{c2})]A,$$

где Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на заводское изготовление конструкций (деталей) с учетом стоимости транспортировки до строительной площадки по сравниваемым вариантам базовой и новой техники, дол. на единицу измерения; Z_{c1} и Z_{c2} – приведенные затраты по возведению конструкций на стройплощадке (без учета стоимости заводского изготовления) по сравниваемым вариантам базовой и новой техники, дол. на единицу измерения; φ – коэффициент изменения срока службы новой строительной конструкции по сравнению с базовым вариантом; Э_3 – экономия в сфере эксплуатации конструкций за срок их службы; A – годовой объем строительно-монтажных работ с применением новых строительных конструкций в расчетном году, натуральные единицы.

В качестве базовых вариантов выбраны бетоны без биодобавки. Для сравниваемых вариантов Z_{c1} и Z_{c2} равны нулю, так как конструкции и материалы изготавливаются непосредственно на заводе ЖБК. Приве-

денные затраты Z_1 и Z_2 определялись в соответствии с нормативными коэффициентами и расчетами плановых отделов предприятия.

Коэффициент изменения срока службы равен:

$$\varphi = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n},$$

где P_1 и P_2 – доли сметной стоимости строительных изделий в расчете на 1 год их службы по сравниваемым вариантам; E_n – нормативный коэффициент перспективности капитальных вложений.

Величины $P_1 + E_n$ и $P_2 + E_n$ устанавливались по таблице приложения 2 инструкции СН 509–78 в зависимости от срока службы сравниваемых вариантов. Коэффициент изменения срока службы нового и базисного вариантов фундаментных блоков составит:

$$\varphi = \frac{0,1602}{0,1561} = 1,03.$$

Экономический эффект от внедрения 1 м³ биобетона:

$$\text{Э} = 51,06 \cdot 1,03 - 50,29 = 2,30 \text{ дол.}$$

Таким образом, получен существенный экономический эффект от внедрения самовосстанавливающихся бетонов для строительства зданий текстильной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеснокова Т.В., Румянцев В.Е., Логинова С.А. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 1. С. 206...212.
2. Бенин А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г. Моделирование процессов разрушения железобетонных транспортных конструкций с учетом наполнения повреждений // Науч. тр. III Всерос. (II Междунар.)

конф. по бетону и железобетону: Бетон и железобетон – взгляд в будущее, Москва, 12-16 мая 2014 г.: в 7 т. Т. 4. – М., 2014. С. 129...139.

3. *Бережнов К.П., Суплецов В.С.* Прогнозирование долговечности конструкций фабрик алмазодобывающей промышленности // Промышленное и гражданское строительство. – 2012, № 4. С. 13...15.

4. *Erofeev V.* Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // *Procedia Engineering*. – № 165, 2016. P. 1444...1447.

5. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т.* О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Academia*. Архитектура и строительство. – 2015, №1. С.93...102.

6. *Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E.* Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions // *Procedia Engineering*. – 165, 2016. P. 1448...1454.

7. *Ерофеев В.Т., Дергунова А.В., Богатов А.Д.* Экономические потери от биоповреждений и технико-экономическая эффективность повышения биостойкости материалов и конструкций зданий и сооружений предприятий текстильной промышленности // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 5. С. 97...102.

8. *Мировая премьера в Австрии – арочный разводной мост из высокопрочного фибробетона* // *CPI. Междунар. бетонное производство*. – 2011, № 1. С.132...134.

9. *Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф.* Исследование накопления солей в наружных ограждающих конструкциях зданий промышленных предприятий // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2020, № 2. С. 193...200.

10. *Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V.* Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018, №2. P. 238...246.

11. *Овчинников И.И., Мизунов В.Н.* Долговечность железобетонной балки в условиях хлоридной агрессии // *Строительные материалы*. – 2012, № 8. С.76...84.

12. *Шамишина К.В., Мизунов В.Н., Овчинников И.Г., Румянцева В.Е.* Влияние коррозионных продольных трещин на деформационные свойства и безопасность изгибаемых железобетонных конструкций объектов текстильной промышленности // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, № 2. С. 145...148.

13. *Федосов С.В., Малбиев С.А.* Применение коррозионно-стойких строительных материалов в несущих конструкциях покрытий зданий текстильной промышленности // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2017, № 5. С.204...208.

14. *Барраган Б., Ронсеро Х., Магаротто Р. и др.* Интеллектуальный динамичный бетон // *CPI Междунар. бетонное производство*. – 2011, № 2. С.58...67.

15. *Achal V., Mukherjee A., Reddy M.S.* Microbial concrete: Away to enhance the durability of concrete buildings // *Journal of Materials in Civil engineering* – Vol. 23, № 6, 2011. P. 730...734.

16. *Achal V.* Microbial remediation of defects in building materials and structures: PhD thesis. – India: Thapar University, Patiala, 2010. P. 1...263.

17. *Castanier S., Le M'etayer –Levrel G., Perthuisot J.P., Riding R.E., Awramik S.M.* Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals // *Microbial sediments*. Heidelberg: Springer-Verlag. – 2000. P. 32...39.

18. *Ерофеев В.Т., Аль Дулайми С.Д.С., Смирнов В.Ф., Фомичев В.Т.* Бактерии для получения биобетон // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. – 2018, № 8 (1008). С. 26...29.

19. *Ерофеев В.Т., Аль Дулайми С.Д.С., Смирнов В.Ф.* Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов // *Транспортные сооружения*. – 2018. Том 5, № 4. С.7.

20. *Ерофеев В.Т., Аль Дулайми С.Д.С., Фомичев В.Т.* Химические аспекты процесса устранения трещин бетона с помощью бактерий // *Транспортные сооружения*. – 2018. Т. 5, № 3. С. 12.

21. *Ерофеев В.Т., Аль Дулайми С.Д.С.* Исследование изменений прочностных характеристик цементных композитов в зависимости от концентрации в них бактерий и возраста образцов // *Приволжский научный журнал. Строительные материалы и изделия*. – 2018, № 3. С. 70...77.

22. *Аль Дулайми С.Д.С.* Самовосстанавливающиеся бетоны, модифицированные микробиологической добавкой: Дис...канд. техн.наук. – М., 2019.

REFERENCES

1. *Chesnokova T.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A.* Modelirovanie protsessa biorazrusheniya betona na predpriyatiyakh tekstil'noy promyshlennosti // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2020, № 1. S. 206...212.

2. *Benin A.V., Semenov A.S., Semenov S.G.* Modelirovanie protsessov razrusheniya zhelezobetonnykh transportnykh konstruksiy s uchetom napolneniya povrezhdeniy // *Nauch. tr. III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu: Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushchee, Moskva, 12-16 maya 2014 g.: v 7 t. T. 4.* – М., 2014. S. 129...139.

3. *Berezhnov K.P., Supletsov V.S.* Prognozirovaniye dolgovechnosti konstruksiy fabrikalmazodobyvayushchey promyshlennosti // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. – 2012, № 4. S. 13...15.

4. *Erofeev V.* Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // *Procedia Engineering*. – № 165, 2016. P. 1444...1447.

5. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T.* O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksiy // *Academia*. Arkhitektura i stroitestvo. – 2015, № 1. S.93...102.

6. *Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E.* Biocidal Binders for the Concretes of Uner-

ground Constructions // Procedia Engineering. – 165, 2016. P. 1448...1454.

7. Erofeev V.T., Dergunova A.V., Bogatov A.D. Ekonomicheskie poteri ot biopovrezhdeniy i tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' povysheniya biostoykosti materialov i konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 5. S. 97...102.

8. Mirovaya prem'era v Avstrii – arochnyy razvodnoy most iz vysokoprochnogo fibrobeta // CPI. Mezhdunar. betonnoe proizvodstvo. – 2011, № 1. S.132...134.

9. Erofeev V.T., El'chishcheva T.F. Issledovanie nakopleniya soley v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy promyshlennykh predpriyatiy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 2. S. 193...200.

10. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, №2. P. 238...246.

11. Ovchinnikov I.I., Migunov V.N. Dolgovechnost' zhelezobetonnoy balki v usloviyakh khloridnoy agressii // Stroitel'nye materialy. – 2012, № 8. S.76...84.

12. Shamshina K.V., Migunov V.N., Ovchinnikov I.G., Rumyantseva V.E. Vliyanie korrozionnykh prodol'nykh treshchin na deformatsionnye svoystva i bezopasnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruktsiy ob'ektov tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. S. 145...148.

13. Fedosov S.V., Malbiev S.A. Primenenie korrozionnostoykikh stroitel'nykh materialov v nesushchikh konstruktsiyakh pokrytiy zdaniy tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh

Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 5. S.204...208.

14. Barragan B., Ronsero Kh., Magarotto R. i dr. Intellektual'nyy dinamichnyy beton // SR1 Mezhdunar. betonnoe proizvodstvo. – 2011, № 2. S.58...67.

15. Achal V., Mukherjee A., Reddy M.S. Microbial concrete: Away to enhance the durability of concrete buildings // Journal of Materials in Civil engineering – Vol. 23, № 6, 2011. P. 730...734.

16. Achal V. Microbial remediation of defects in building materials and structures: PhD thesis. – India: Thapar University, Patiala, 2010. P. 1...263.

17. Castanier S., Le M'etayer –Levrel G., Perthuisot J.P., Riding R.E., Awramik S.M. Bacterial roles in the precipitation of carbonate minerals // Microbial sediments. Heidelberg: Springer-Verlag. – 2000. P. 32...39.

18. Erofeev V.T., Al' Dulaymi S.D.S., Smirnov V.F., Fomichev V.T. Bakterii dlya polucheniya biobetonov // BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki. – 2018, № 8 (1008). S. 26...29.

19. Erofeev V.T., Al' Dulaymi S.D.S., Smirnov V.F. Bakterii dlya polucheniya samovosstanavlivayushchikhsya betonov // Transportnye sooruzheniya. – 2018. Tom 5, № 4. S.7.

20. Erofeev V.T., Al' Dulaymi S.D.S., Fomichev V.T. Khimicheskie aspekty protsessa ustraneniya treshchin betona s pomoshch'yu bakteriy // Transportnye sooruzheniya. – 2018. T. 5, № 3. S. 12.

21. Erofeev V.T., Al' Dulaymi S.D.S. Issledovanie izmeneniy prochnostnykh kharakteristik tsementnykh kompozitov v zavisimosti ot kontsentratsii v nikh bakteriy i vozrasta obraztsov // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. Stroitel'nye materialy i izdeliya. – 2018, № 3. S.70...77.

22. Al' Dulaymi S.D.S. Samovosstanavlivayushchiesya betony, modifitsirovannyye mikrobiologicheskoy dobavkoy: Dis...kand. tekhn.nauk. – M., 2019.

Рекомендована кафедрой строительных материалов и технологий. Поступила 02.06.21.