

ISSN ONLINE 2782-1919

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



**Том 4
выпуск**

1

2023

**VOL. 4
ISSUE 1**

ИЗДАНИЕ ЯРОСЛАВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 2020 года, выходит 4 раза в год

Том 4

Выпуск 1

Ярославль 2023

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор:	С.В. ФЕДОСОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва)
Заместители главного редактора:	А.А. ИГНАТЬЕВ (к.т.н., доц., Ярославль) П.Б. РАЗГОВОРОВ (д.т.н., проф., Ярославль)
Ответственный секретарь:	Е.С. ЕГОРОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.А. АБДЫКАЛЫКОВ (д.т.н., проф., Кыргызстан, Бишкек), П.А. АКИМОВ (ученый секретарь Президиума РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), В.В. БЕЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Тверь), А.М. БЕЛОСТОЦКИЙ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), Н.И. ВАТИН (советник РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург), В.М. ГОТОВЦЕВ (д.т.н., проф., Ярославль), А.В. ЗАХАРОВ (советник РААСН, к. архитектуры, проф., Иваново), А.Б. КАПРАНОВА (д.ф.-м.н., проф., Ярославль), В.И. КОЛЧУНОВ (академик РААСН, д.т.н., проф., Курск), В.Г. КОТЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Йошкар-Ола), Н.Н. КУДРЯШОВ (к.архитектуры, проф., Ярославль), А.Е. ЛЕБЕДЕВ (д.т.н., доц., Ярославль), С.Н. ЛЕОНОВИЧ (иностраннный акад. РААСН, д.т.н., проф., Республика Беларусь, Минск), В.Л. МОНДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург, Россия), С.П. РУДОБАШТА (д.т.н., проф., Москва), В.Е. РУМЯНЦЕВА (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Иваново), В.П. СЕЛЯЕВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Саранск), М.Ю. ТАРШИС (д.т.н., доц., Ярославль), В.И. ТРАВУШ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.А. ТРЕЩЕВ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Тула), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (д.т.н., проф., Иваново), Г.А. ФОМЕНКО (акад. РАЕН, д.г.н., проф., Ярославль), RADIVOJE MITROVIĆ (д.т.н., проф., Республика Сербия, Белград)

Учредитель	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет»
Адрес редакции	150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88
Телефон	+7 (4852) 44-03-67
E-mail	razgovorovpb@ystu.ru
Электронный адрес	http://comincon.ru

Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

Редакторы:	В.Б. Доронина, М.А. Канакотина, О.С. Палагина
Англ. перевод:	Л.А. Тюкина
Компьютерная верстка:	Е.С. Егоров
Корректор:	О.А. Юрасова
Зарегистрирован	27 ноября 2020 (Свидетельство ЭЛ № ФС 77 - 79733)
Периодичность:	4 раза в год
Подписка и распространение	Свободный доступ

YAROSLAVL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Established in November 2020, published quarterly

Volume 4

Issue 1

Yaroslavl 2023

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:	S.V. FEDOSOV (Acad. RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow)
Deputy Editors-in-Chief:	A.A. IGNATYEV (c.en.s., doc., Yaroslavl) P.B. RAZGOVOROV (d.en.s, prof., Yaroslavl)
Executive secretary:	E.S. EGOROV

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A.A. ABDYKALYKOV (d.en.s., prof., Kyrgyzstan, Bishkek), P.A. AKIMOV (acad. RAACS, d.en.s., prof., Moscow), V.V. BELOV (adv. RAACS, d.en.s, prof., Tver), A.M. BELOSTOTSKIY (acad. RAACS, d.en.s., prof., Moscow), N.I. VATIN (adv. RAACS, d.en.s., prof., Saint-Petersburg, Russia), V.M. GOTOVTSEV (d.en.s, prof., Yaroslavl), A.V. ZAKHAROV (adv. RAACS, c. arch., prof. Ivanovo), A.B. KAPRANOVA (d. physic. and math. sciences, prof., Yaroslavl), V.I. KOLCHUNOV (acad. RAACS, d.en.c, prof., Kursk), V.G. KOTLOV (adv. RACS, d.en.s., prof., Yoshkar-Ola), N.N. KUDRYASHOV (c.arch, prof., Yaroslavl), A.E. LEBEDEV (d.en.s., doc., Yaroslavl), S.N. LEONOVICH (for. acad. RAACS, d.en.s, prof., Belarus, Minsk), V.L. MONDRUS (corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Moscow), A.I. MOKHOV (acad. RANS, d.en.s., prof., Moscow), P.I. POSPELOV (d.en.s, prof., Moscow), Yu.V. PUKHARENKO (corr. memb. RAACS, d.en.s, prof., Saint-Petersburg, Russia), S.P. RUDOBASHTA (d.en.s., prof., Moscow), V.E. RUMYANTSEVA (corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Ivanovo), V.P. SELYAEV (acad. RAACS, d.en.s., prof., Saransk), M.Yu. TARSHIS (d.en.s., doc., Yaroslavl), V.I. TRAVUSH (Vice Pres. RAACS, acad. RAACS, d.en.s., prof. Moscow), A.A. TRESHCHEV (corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Tula), V.N. FEDOSEEV (d.en.s., prof., Ivanovo), G.A. FOMENKO (acad. RANS, d.geogr.s, prof., Yaroslavl), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD en.s., prof., Serbia, Belgrade)

Founder:	Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education “Yaroslavl State Technical University”
Editorial office address	88, Moskovsky Prosp., Yaroslavl, 150023, Russia
Telephone	+7 (4852) 44-03-67
E-mail	razgovorovpb@ystu.ru
Website	http://comincon.ru

Published with the assistance of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

Editors:	V.B. Doronina, M.A. Kanakotina, O.S. Palagina
English translator:	L.A. Tyukina
Layout designer:	E.S. Egorov
Proofreader:	O.A. Yurasova
Registration	27 november 2020 (Certificate EL No FS 77 - 79733)
Frequency:	Quarterly
Subscription and distribution	Open Access

СОДЕРЖАНИЕ

Строительные конструкции, здания и сооружения

Ильин Д.А., Новолодская Д.В.

Исследование прочности сцепления с бетоном композитной арматуры с частично деформированным профилем

7

Ilyin D.A., Novolodskaya D.V.

Investigation of the concrete adhesion strength of composite reinforcement with a partially deformed profile

Строительные материалы и изделия

Коновалова В.С.

Коррозия стальной арматуры в цементном камне с гидрофобизирующей добавкой под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды

17

Konvalova V.S.

Corrosion of steel reinforcement in cement brick with a water-repellent agent in a corrosive chloride-containing medium

Шалимов В.Н., Цыбенко А.В., Гоглев И.Н.

Оценка работоспособности гидроизоляции из полимерных ПВХ-мембран при строительстве в сейсмоопасных регионах РФ

34

Shalimov V.N., Cybenko A.V., Goglev I.N.

Assessment of the performance of waterproofing made of PVC-membranes during construction in earthquake-prone regions of the Russian Federation

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

Dudin V.M.

The effect of sapropel additives on the properties of cement concrete for road construction

48

Dudin V.M.

Влияние добавки из сапропеля на свойства цементобетона для дорожного строительства

Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

Опарина Л.А.

Практическое применение методики расчета комфортности малоэтажной жилой застройки

57

Opagina L.A.

Practical application of the methodology for calculating the comfort of low-rise residential buildings

Markelov A.V., Volkov D.V., Korobova E.B.

Separation of oil-containing effluents of construction industry enterprises

68

Маркелов А.В., Волков Д.В., Коробова Е.Б.

Разделение нефтесодержащих стоков предприятий строительной отрасли

Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности

Кюребекова М.Н

Архитектурная среда как смыслообразующий концепт города (на примере средневекового и современного Дербента)

81

Kyurebekova M.N.

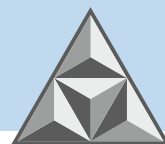
Architectural environment as a concept of the city (on the example of medieval and modern Derbent)

Рецензии

Котлов В.Г.

Рецензия на монографию «Модели и методы высокотемпературной термической обработки в технологии пеностекла»

93



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175.5/.8

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7

Исследование прочности сцепления с бетоном композитной арматуры с частично деформированным профилем

Д.А. Ильин^{1,2}, Д.В. Новолодская²

Дмитрий Анатольевич Ильин

¹ООО «Технониколь-строительные системы», Москва, Российская Федерация

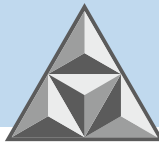
²НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

ilin.d@tn.ru

Диана Владиславовна Новолодская

²НИУ МГСУ, Москва, Российская Федерация

diana.novolodskaya@gmail.com



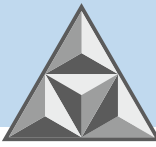
Совместная работа бетона и композитной арматуры преимущественно обеспечивается механическим сцеплением. Представлены экспериментальные результаты исследования прочности сцепления с бетоном композитной полимерной арматуры (АКП). Испытаны образцы стеклокомпозитной арматуры (АСК) с частично деформированным профилем. Исследования проводили на основании требований ГОСТ 32492-2015. Усредненное максимальное значение прочности сцепления АКП с периодически-деформированным профилем и бетона составило 12.7 МПа, что соответствует требованиям указанного стандарта.

Ключевые слова: композитная полимерная арматура, стеклокомпозитная арматура, профиль арматуры, сцепление с бетоном, напряжение, Pull-Out тест

Для цитирования:

Ильин Д.А., Новолодская Д.В. Исследование прочности сцепления с бетоном композитной арматуры с частично деформированным профилем // *Умные композиты в строительстве.* 2023. Т. 4, № 1. С. 7-16. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7

Investigation of the concrete adhesion strength of composite reinforcement with a partially deformed profile

D.A. Ilyin^{1,2}, D.V. Novolodskaya²

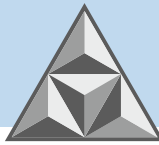
Dmitriy A. Ilyin

¹ООО (Limited Liability Company) «Technicol-Stroitelniye sistemy», Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
ilin.d@tn.ru

Diana V. Novolodskaya

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
diana.novolodskaya@gmail.com



Generally the mechanical adhesion provides the mutual interaction of concrete and composite reinforcement. The paper presents the experimental results of a study of the adhesion strength to concrete of fiber-reinforced polymer (FRP). In the study we tested the samples of glass-reinforced plastic (GRP) with a partially deformed profile in accordance with GOST 32492-2015. The average maximum value of the adhesion strength of an ACP with a periodically deformed profile and concrete was 12.7 MPa. It agrees with the requirements of state standards.

Key words: fiber reinforced polymer, glass-reinforced plastic, rebar profile, adhesion to concrete, straining, Pull-Out test

For citation:

Ilyin, D.A. & Novolodskaya, D.V. (2023) Investigation of the concrete adhesion strength of composite reinforcement with a partially deformed profile, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 7-16 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_7



ВВЕДЕНИЕ

Прочность сцепления композитной полимерной арматуры (АКП) с бетоном является важным свойством. Исследованиям данного вопроса посвящен ряд научных работ [1-6].

В публикациях В.Г. Хозина [1-3] отражен характер работы композитной арматуры с бетоном, изучено влияние профиля АКП на эксплуатационные параметры.

В Петербургском государственном университете путей сообщения проводятся исследования адгезии АКП с бетоном. На основании этих исследований выявлено, что у композитной арматуры с плоской навивкой показатели сцепления лучше, чем у арматуры с другими видами профиля. Смоделирован процесс «Pull-Out» теста [4-6].

В Ивановском государственном политехническом университете изучается влияние типов профиля стержня арматуры на силу анкеровки. В [7-10] показан вклад в разработку математических моделей напряженно-деформированного состояния в системе АКП – бетон.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследованы образцы стеклокомпозитной арматуры (АСК) с периодически-деформированным профилем. Формирование частично деформированного профиля осуществляли путем обмотки лавсановой нитью на производственной линии до полного отверждения стержня АКП. На рис. 1 представлены схема обмотки стержня (а) и изображение стеклокомпозитной арматуры под микроскопом (б).

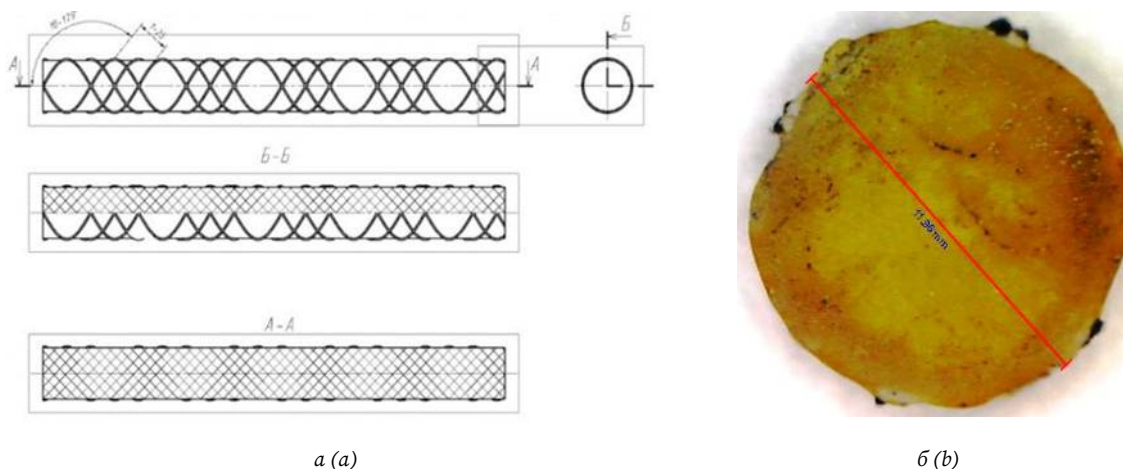


Рис. 1. Схема обмотки стержня (а) и стеклокомпозитная арматура под микроскопом (б)

Fig. 1. Rod winding diagram (a) and glass-reinforced plastic microscopically (b)

Прочность сцепления с бетоном оценивали с использованием Pull-Out теста – методом выдергивания стержней АКП из бетонных кубов [2, 4-6, 11, 12]. Образцами для испытаний являлись бетонные кубы (150×150×150 мм), по центру которых перпендикулярно направлению укладки бетона устанавливался стержень АКП. При этом с бетоном контактировала только нижняя часть арматурного стержня, имеющего длину, равную пяти диаметрам (рис. 2, а). Размер куба зависел от диаметра АКП.

Работы по определению предела прочности сцепления с бетоном образцов композитной полимерной арматуры выполнялись по истечении 28 сут. после набора прочности бетоном класса В25 [13].

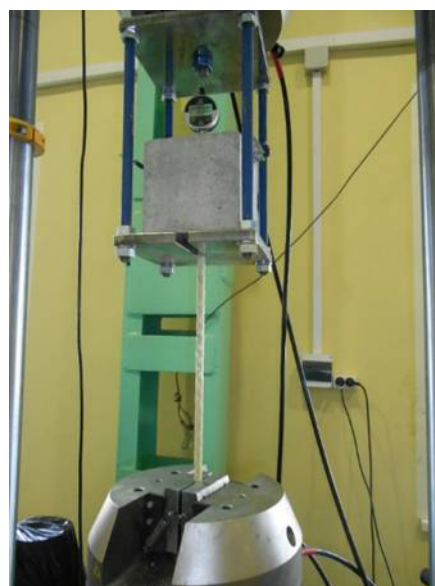
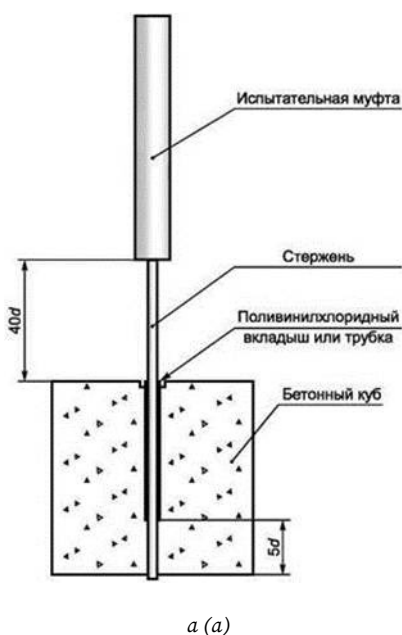


Рис. 2. Схема установки АКП в бетон куба (а) и образец АКП при испытании на сцепление с бетоном (б)

Fig. 2. Scheme for installing of fiber-reinforced polymer (FRP) in a concrete cube (a) and sample of FRP during the adhesion test with concrete (b)

Напряжение сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном τ_r , МПа, при экспериментальном исследовании выдергиванием из куба определяли по формуле:

$$\tau_r = \frac{P}{c L_{fb}},$$

где P – прилагаемая нагрузка, Н; c – номинальная длина окружности стержня, рассчитываемая как произведение $\pi \cdot d_{ном}$, мм; L_{fb} – длина заделки стержня в бетон ($5 \times d_{ном}$), мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Испытание прочности сцепления АСК с бетоном проводили ступенчатым нагружением с шагом 50 Н и выдержкой в течение 10 с на каждом этапе. На шаге нагрузки записывали значение перемещения свободного торца образца арматуры. Были приняты отчетные показатели перемещения стержня АСК (0.05, 0.10, 0.25 мм) и максимальное перемещение. Результаты испытаний на прочность, статистически обработанные [14], представлены ниже в табл. 1.

Основываясь на результатах исследований, приведенных в табл. 1, усредненное значение максимальной прочности сцепления с бетоном стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем составил 12.7 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 31938-2022 [15].

На основании испытаний сцепления с бетоном стеклокомпозитной арматуры с песчаной обсыпкой авторы наблюдали, что вследствие низкой прочности связи между песком и полимерной арматурой при высоких напряжениях разрушается бетон и частично песчаная обсыпка АСК [16-18].

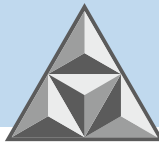


Таблица 1. Прочность сцепления образцов стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем

Table 1. Adhesion strength of glass composite reinforcement samples with a periodically deformed profile

№ п/п	Номинальный диаметр, мм	Маркировка	Напряжение τ , МПа			
			0.05 мм	0.10 мм	0.25 мм	max, мм
1	12.04	АСК-1	4.39	5.71	8.35	12.70
2		АСК-2	3.52	5.27	7.91	12.80
3		АСК-3	3.52	5.27	7.03	12.50
4		АСК-4	3.52	4.83	7.03	12.30
5		АСК-5	4.39	6.15	8.79	13.60
6		АСК-6	4.39	5.71	7.47	12.50
8	ср.		3.96	5.49	7.76	12.70
9	Среднеквадратическое отклонение S					0.50
10	Кoeffициент вариации ν , %					3.60
11	Минимальное значение $\tau_{r, \min}$ для партии, МПа					12.00

В настоящем исследовании профиль композитной полимерной арматуры частично-деформированный (см. рис. 1), что способствует стабильному и равномерному поведению стержня в бетоне. Это четко прослеживается при анализе диаграммы «напряжение-перемещение», которая составлена на основе результатов Pull-Out тестов (рис. 3).

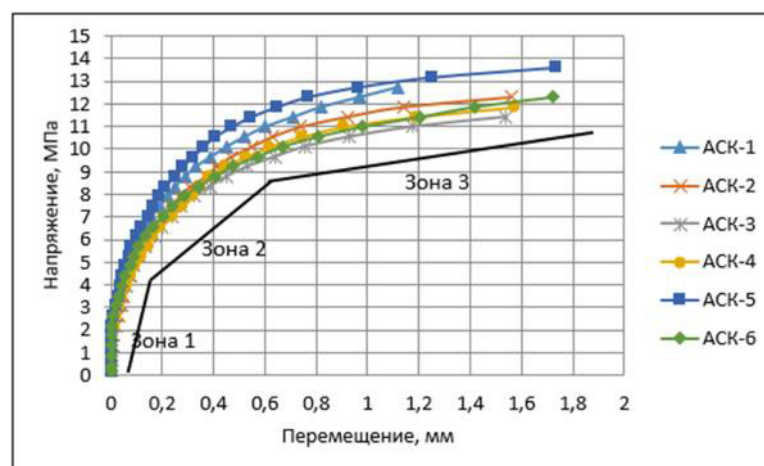


Рис. 3. Диаграмма «напряжение-перемещение» при испытании образцов АСК
Fig. 3. Diagram "straining-displacement" when testing samples of glass-reinforced plastic

На графиках прослеживается криволинейная зависимость перемещения образцов АСК от напряжения. Выделяются три зоны:

- 1) от 0 до 2.2 МПа – зона упругих деформаций; отсутствуют перемещения стержня композитной полимерной арматуры;
- 2) до 0.4-0.6 мм – с увеличением нагрузки появляются сдвиговые трещины, участки с локальным проскальзыванием;
- 3) истощение несущей способности бетона, арматура еще имеет сцепление с бетоном (за счет деформированного профиля и сил трения).

Такая картина разрушения образца полностью совпадает с нормативными данными по математическому моделированию процесса нарушения сцепления с бетоном [17, 18].

По результатам исследований [19] выявлено, что вырывание образцов АСК под действием нагрузки происходит по зоне контакта «арматура – бетон» (рис. 4). Высокие напряжения сцепления не приводят к разрушению бетонного куба (см. рис. 4, а).

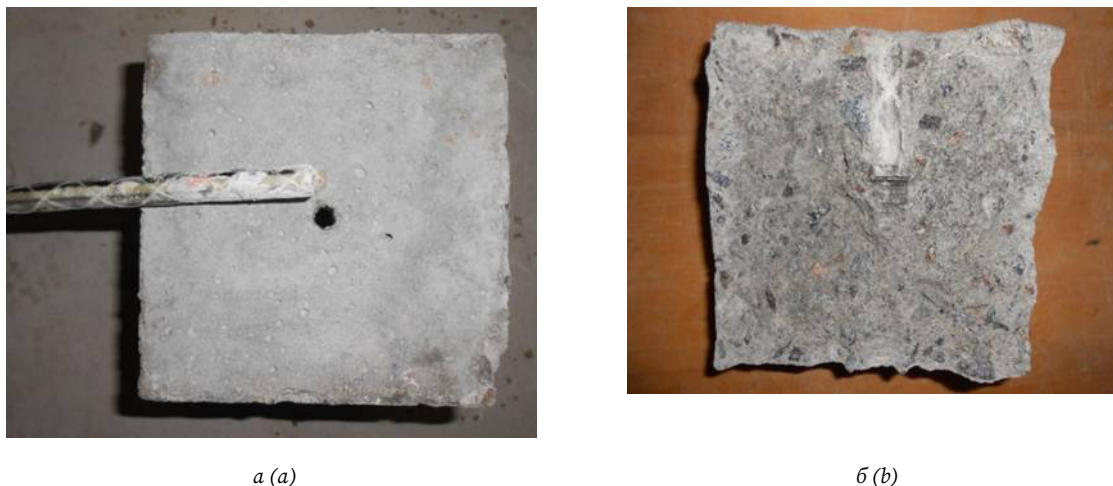


Рис. 4. Образец АКП и бетонный куб (а); бетонный куб после испытания (б)
Fig. 4. Fiber reinforced polymer sample and concrete cube (a); concrete cube after testing (b)

Частично-деформированный профиль полимеркомпозитной арматуры соприкасается с бетоном по максимальной площади, что обеспечивает стабильную совместную работу арматуры и бетона (см. рис. 4, б).

ВЫВОДЫ

Усредненная прочность сцепления стеклокомпозитной арматуры с периодически-деформированным профилем и бетона в ходе исследований составило 12.7 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 31938-2022. Проведен анализ поведения стержня АКП при вырывании из бетонного образца. Установлено, что для обеспечения стабильной совместной работы композитной полимерной арматуры и бетона арматуре необходим частично-деформированный профиль, обеспечивающий соприкосновение с бетоном по максимальной площади.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Старовойтова И.А., Хозин В.Г., Сулейманов А.М и др. Одноосно ориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития // *Изв. КГАСУ. Строит. мат. и изделия*. 2012. № 4 (22). С. 332-339.
2. Хозин В. Г., Пискунов А.А., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. Сцепление полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном // *Известия КГАСУ*. 2013. № 1 (23). С. 214-220.
3. Хозин В.Г., Гиздатуллин А.Р., Куклин А.Н. Полимеркомпозитная арматура в сборных дорожных плитах // *Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: сборник докладов научно-технической конференции (Ижевск, 11 декабря 2014 г.)*. Ижевск: ИЖГТУ, 2015. С.14-24.
4. Бенин А.В., Семенов С.Г. Экспериментальные исследования сцепления композитной арматуры с плоской навивкой с бетоном // *Промышл. и гражд. стр-во*. 2013. № 9. С.74-76.
5. Коковцева А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г., Бенин А.В. Моделирование процесса выдергивания стеклопластиковой арматуры из бетонного блока // *Сб. тр. конф. с междунар. участием "XIII неделя науки СПбГПУ"*. СПб.: СПбГПУ, 2013. С.182-184.
6. Бенин А.В., Семенов С.Г. Особенности испытаний композитной полимерной арматуры // *Промышл. и гражд. стр-во*. 2014. № 9. С.42-46.
7. Караваев И.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С. К вопросу о прочности сцепления композитной



- арматуры с бетоном // *Физика волокон. мат.: структура, свойства, наукоемкие технол. и мат. (SMARTEX)*. 2016. Т. 2, № 1. С. 124-127.
8. **Караваяев И.В., Румянцева В.Е.** Теоретические предпосылки к верификации моделей напряженно-деформированного состояния в системе «Композитная арматура – Бетон» // *Мол. ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК)*. 2016. № 1. С. 506-507.
 9. **Румянцева В.Е., Караваяев И.В.** К вопросам методики проведения испытаний анкеровки арматуры неметаллической композитной в бетоне // *Стр-во и реконструкция*. 2015. № 1 (57). С. 108-113. URL: <https://rucont.ru/efd/484874>
 10. **Караваяев И.В., Румянцева В.Е., Караваяев В.И.** Исследование влияния покрытия на анкеровку композитной арматуры в бетоне // *Теор. и прикл. аспекты соврем. науки*. 2015. № 9-2. С. 84-87.
 11. ISO 10406-1:2008. Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – Test methods. Part 1: FRP bars and grids.
 12. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. RILEM, 1994. 618 p.
 13. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Изд-во Стандартиформ, 2013. 35 с.
 14. ГОСТ Р 8.736-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 2019. 24 с.
 15. ГОСТ 31938-2022 Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2022. 20 с.
 16. **Холмянский М.М.** Контакт арматуры с бетоном. М.: Стройиздат, 1981. 184 с.
 17. **Cruz J.S., Barros J.** Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete // *Computer and Structures*. 2004. No. 82. P. 1513-1521.
 18. **Зиннуров Т.А., Пискунов А.А., Сафиюлина Л.Г., Петропавловских О.К., Яковлев Д.Г.** Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // *Интернет-журн. "Наукоеведение"*. 2015. Т. 7, № 4. С. 1-12. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf>
 19. **Ильин Д.А.** Композитная арматура на основе стеклянных и углеродных волокон для бетонных конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 22 с.

Поступила в редакцию 23.01.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 22.03.2023

REFERENCES

1. **Starovoitova, I.A., Khozin, V.G., Suleimanov, A.M. et al.** Uniaxially oriented reinforced plastics: analysis of the state, problems and development prospects (2012), *Izvestiya KGASU. Stroitel'nye materialy i izdeliya*, 4(22), pp. 332-339 (in Russian).
2. **Khozin, V.G., Piskunov, A.A., Gizdatullin, A.R. et al.** (2013) Adhesion of polymer composite reinforcement with cement concrete, *Izvestiya KGASU*, 1(23), pp. 214-220 (in Russian).
3. **Khozin, V.G., Gizdatullin, A.R. & Kuklin, A.N.** (2015) Polymer composite reinforcement in prefabricated road slabs, *Aktual'nye voprosy teorii i praktiki primeneniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve: sbornik докладов nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Izhevsk, 11 dekabrya 2014 g.)*. Izhevsk, IzhGTU, pp. 14-24 (in Russian).
4. **Benin, A.V. & Semenov, S.G.** (2013) Experimental studies of the adhesion of composite reinforcement with flat coiling to concrete, *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (9), pp. 74-76 (in Russian).
5. **Kokovtseva A.V., Semenov A.S., Semenov S.G. & Benin A.V.** Modeling the process of pulling out fiberglass reinforcement from a concrete block, *Sbornik trudov konferencii c mezhdunarodnym uchastiem*



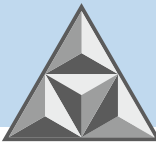
"XIII nedelya nauki SPBGPU". St. Petersburg: SPbGPU, pp. 182-184 (in Russian).

6. **Benin, A.V. & Semenov, S.G.** (2014) Features of testing composite polymer reinforcement, *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (9), pp. 42-46 (in Russian).
7. **Karavaev, I.V., Rumyantseva, V.E. & Konovalova, V.S.** (2016) Case study on the adhesion strength of composite reinforcement with concrete, *Fizika volknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2(1), pp. 124-127 (in Russian).
8. **Karavaev, I.V. & Rumyantseva, V.E.** (2016) Theoretical prerequisites for the verification of stress-strain state models in the system "Composite reinforcement - Concrete", *Molodye uchenye - razvitiyu tekstil'no-promyshlennogo klastera (POISK)*, (1), pp. 506-507 (in Russian).
9. **Rumyantseva, V.E. & Karavaev, I.V.** (2015) Case study on the methodology for testing the anchoring of non-metallic composite reinforcement in concrete, *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, (1), pp. 108-113 URL: <https://rucont.ru/efd/484874> (in Russian).
10. **Karavaev, I.V., Rumyantseva, V.E. & Karavaev, V.I.** (2015) Study of the effect of coating on the anchoring of composite reinforcement in concrete, *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki*, (9-2), pp. 84-87 (in Russian).
11. ISO 10406-1:2008. *Fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete - Test methods. Part 1: FRP bars and grids.*
12. RILEM *Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials* (1994) RILEM.
13. GOST 10180-2012. *Concrete. Methods for determining the strength of control samples.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
14. GOST R 8.736-2011. *National Standard of the Russian Federation. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results. Basic provisions.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
15. GOST 31938-2022. *Composite polymer fittings for reinforcing concrete structures. General specifications.* M.: Izdatel'stvo standartov (in Russian).
16. **Kholmyansky, M.M.** (1981) *Contact of reinforcement with concrete.* M.: Stroyizdat (in Russian).
17. **Cruz, J.S. & Barros, J.** (2004) Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete, *Computer and Structures*, (82), pp. 1513-1521.
18. **Zinnurov, T.A., Piskunov, A.A., Safiyulina, L.G., Petropavlovskikh, O.K. & Yakovlev, D.G.** (2015) Numerical simulation of the adhesion of composite reinforcement to concrete, *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*, 7(4), pp. 1-12 [online]. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN415.pdf> (in Russian).
19. **Ilyin, D.A.** (2017) *Composite fittings based on glass and carbon fibers for concrete structures:* PhD. Moscow.

Received 23.01.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 22.03.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 66.018.8:620.193.46

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17

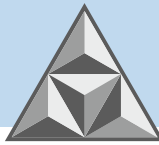
Коррозия стальной арматуры в цементном камне с гидрофобизирующей добавкой под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды

В.С. Коновалова

Виктория Сергеевна Коновалова

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

kotprotiv@yandex.ru



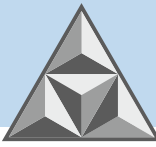
Для повышения долговечности железобетонных изделий важно определять сроки прекращения защиты стальной арматуры бетонным покрытием и разработать способы увеличения коррозионной стойкости бетона в средах высокой степени агрессивности. В цементную смесь вводили 0,3-1,3 мас. % стеарата кальция с целью обеспечения объемной гидрофобизации цементного камня бетона. Система «цементный камень – стальная арматура» подвергалась воздействию 2%-го раствора $MgCl_2$. Через 6 мес. коррозии в агрессивной хлоридсодержащей среде в цементном камне, не содержащем стеарата кальция, происходит нарушение пассивности арматуры, тогда как в цементном камне с добавкой стеарата кальция в течение двух лет потенциал поверхности стали остается неизменным. Малые значения показателей скорости коррозии свидетельствуют об отсутствии повреждений стальной арматуры в цементном камне. Однако агрессивные частицы, накапливающиеся у поверхности арматуры, интенсифицируют коррозию стали. В цементном бетоне марок W4-W16 по водонепроницаемости коррозия стальной арматуры протекает в 2-5 раз медленнее по сравнению с арматурой в бетоне без добавки гидрофобизатора. Коррозия стали в гидрофобизированном бетоне начинается позднее, так как для достижения предельного содержания хлорид-ионов у поверхности арматуры требуется значительно больше времени.

Ключевые слова: гидрофобизирующая добавка, гидрофобизированный бетон, хлоридная коррозия, коррозия арматуры, скорость коррозии

Для цитирования:

Коновалова В.С. Коррозия стальной арматуры в цементном камне с гидрофобизирующей добавкой под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 17-33. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17

Corrosion of steel reinforcement in cement brick with a water- repellent agent in a corrosive chloride-containing medium

V.S. Konovalova

Victoriya S. Konovalova
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia
kotprotiv@yandex.ru



To increase the durability of reinforced concrete products it is important to determine the period of termination of the steel reinforcement protection with concrete coating, and develop ways to increase the corrosion resistance of concrete in environments with a high degree of corrosion. We enter 0.3-1.3 wt. % of calcium stearate into the cement mixture at the stage of sample preparation to ensure volumetric hydrophobization of cement brick. Also we treated the «cement brick – steel reinforcement» system with 2% $MgCl_2$ solution. The sample of cement brick do not containing calcium stearate has a reinforcement passivity violation after 6 months in a highly corrosive chloride-containing medium. The sample of cement brick containing calcium stearate have not changed during 2 years of testing. Small values of the corrosion rate indicators show the absence of corrosion damage of steel reinforcement in cement brick. However, corrosive particles accumulating at the surface of the reinforcement over time intensify the corrosion of steel. In cement concrete of waterproof grades W4-W16 corrosion of steel reinforcement proceeds 2-5 times slower compared to reinforcement in concrete without the addition of a hydrophobizer. Indeed, corrosion of steel in hydrophobized concrete starts later, as it takes considerably longer to reach the chloride ion limit at the surface of the reinforcement.

Key words: hydrophobizing additive, hydrophobized concrete, chloride induced corrosion, reinforcement corrosion, corrosion rate

For citation:

Konovalova, V.S. (2023) Corrosion of steel reinforcement in cement brick with a water-repellent agent in a corrosive chloride-containing medium, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp.17-33 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17



ВВЕДЕНИЕ

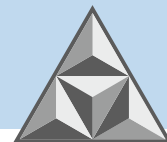
При эксплуатации в различных средах на бетон воздействуют агрессивные вещества широкого спектра. Оценка долговечности связана с ожидаемыми эксплуатационными характеристиками изделия и заключается в установлении факторов, имеющих решающее значение для деструкции материала в зависимости от его состава, свойств и изменений, вызванных взаимодействием материала с внешними агрессивными средами.

Физико-химические процессы деструкции в железобетонных изделиях происходят по причине проникновения воды в структуру бетона [1-5]. Попадание воды в поры происходит по различным механизмам, в зависимости от степени насыщения бетона. При этом большое влияние оказывает микроструктура бетонной массы. Если ненасыщенный бетон находится в водной среде, вода впитывается в поровую структуру благодаря капиллярному всасыванию в отсутствие давления [6, 7].

С целью снижения степени проникновения воды в поровую структуру бетона проводят процесс гидрофобизации. Цель объемной гидрофобизации – уплотнение бетона, преобразование смачиваемых капилляров в несмачиваемые, снижение вредного воздействия растворенных в воде агрессивных веществ.

Гидрофобизирующие добавки, представляющие собой жидкие или порошкообразные вещества, используют для создания водонепроницаемого бетона. Они снижают вероятность попадания воды, уменьшая проницаемость и усадку бетона при высыхании [8]. Их вводят в смесь воды, цемента и заполнителя в небольших количествах, чтобы повысить долговечность бетона, улучшить его свойства и контролировать схватывание или твердение [9-11]. Гидрофобизирующие добавки, в зависимости от вида бетона, раствора или штукатурки, могут различаться по химической природе [8, 12].

Вводимые в состав бетона, они действуют на основе одного или комбинации трех механизмов – снижения капиллярности за счет уменьшения водоцементного соотношения, гидрофобизации капилляров, физической или химической блокировки пор. Для регулирования капиллярности используют реакционноспособные силикаты [13, 14], кальцинированные глины [15, 16], коллоидный диоксид кремния [17, 18], лигносульфонаты [8, 19], нафталинсульфонат формальдегид [8, 20-22], сульфированный меламин-формальдегид [22, 23], эфир поликарбоксилата [24-26]. Гидрофобизация капилляров достигается при введении мыла [27], битума [27, 28], минеральных масел [29, 30], жирных кислот с длинной цепью [8, 31], стеаратов кальция и цинка [32-35], бутилстеарата [36, 37], акриловых смол [38, 39], эмульсий тонких восков [40, 41], силиконов [42, 43], силанов-силоксанов [44, 45]. Так, например, стеараты вступают в химическую реакцию с гидроксидом кальция в составе бетона, в результате чего на стенках пор цементного камня образуется гидрофобный слой из нерастворимого стеарата кальция [46]. Физическая блокировка пор может быть достигнута путем введения инертных порошковых наполнителей – талька [47], бентонита [48], мелкодисперсных восков [49], битумов [50] или акриловых эмульсий [39, 51], эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков [52, 53]. Химическая блокировка пор осуществляется с помощью усовершенствованных микротонких скрытых реакционноспособных силикатов [54] или пуццолановых наночастиц [55, 56], обеспечивающих вторичную гидратацию для достижения максимально плотной упаковки геля C-S-H в цементной матрице в наномасштабе. В вышеуказанных материалах для перекристаллизации и образования новых стабильных фаз C-S-H и C-A-S-H в присутствии воды применяется свободная известь Ca(OH)₂ [57].



Положительное действие от гидрофобизации бетона обычно заключается в том, что этот вид обработки продлевает период до начала коррозии. Когда начинается коррозия, гидрофобность пор цементного камня эффективно препятствует проникновению жидкой среды и снижает скорость коррозии [58]. Отсутствие проникновения хлоридов в гидрофобизированный бетон было обнаружено на пирсе автомагистрали после семи лет эксплуатации [59]. Гидрофобизирующие добавки не оказывают негативного влияния на прочность бетона, вместо этого некоторые бетоны обладают повышенной прочностью [11, 60]. Поскольку водоотталкивающие средства равномерно распределены по объему бетона, они не приводят к изменению внешнего вида изделия. Кроме того, гидрофобные добавки эффективны для уменьшения высолов, поскольку в их присутствии снижается миграция воды по объему бетона [61, 62].

Цель работы – исследование коррозионной стойкости железобетона с гидрофобизирующими добавками в агрессивной хлоридсодержащей среде. Чтобы оценить вклад гидрофобизации в долговечность конструкции, необходимо знать, насколько эффективно этот способ обработки препятствует проникновению агрессивных веществ и как долго сохраняется эффект от введения добавок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводили на прутках стальной арматуры класса проката А500С, которые в цилиндрической форме заливали цементным раствором, изготовленным из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н с В/Ц = 0.3.

Во время замешивания цементного раствора в качестве гидрофобизирующей добавки вводили стеарат кальция. Для определения марки бетона по водонепроницаемости применяли методики, описанные в патенте РФ № 2187804 «Способ определения водонепроницаемости цементных материалов» и МИ 2625-2000 «Рекомендация ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом». Количество вводимой добавки и марки бетона по водонепроницаемости указаны в табл. 1.

Таблица 1. Содержание гидрофобизирующей добавки в цементном камне

Table 1. The content of a water-repellent agent in cement brick

№ образца	Количество стеарата кальция, мас. %.	Марка бетона по водонепроницаемости
1	–	–
2	0.3	W4
3	0.5	W6
4	0,7	W8
5	0.8	W10
6	1.1	W14
7	1.3	W16

Коррозионные испытания проводили после отверждения образцов цементного камня на воздухе в течение 28 сут. Цементный камень помещали в емкости, заполненные агрессивной средой 2%-м раствором $MgCl_2$. Концентрация раствора $MgCl_2$ $20 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ принята как агрессивная по отношению к бетону в соответствии с СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии».

В течение 24 мес. измеряли потенциал арматуры в цементном камне. Электродный потенциал поверхности стальной арматуры в бетоне определяли неразрушающим методом (см. рис. 1).

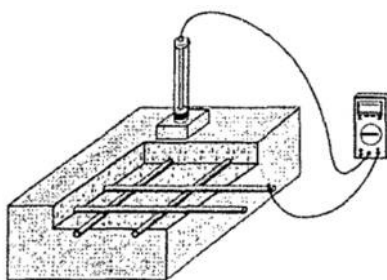


Рис. 1. Измерение потенциала поверхности арматуры в бетоне методом потенциалов полуэлемента с одним электродом сравнения

Fig. 1. Measurement of the reinforcement surface potential in concrete by the method of half-element potentials with one reference electrode

Измерение осуществляли путем установки на бетонную поверхность через увлажненную губку электрода сравнения, подключенного к отрицательному полюсу вольтметра. Положительный полюс вольтметра подключали к стальной арматуре, проводили фиксацию данных после стабилизации показаний прибора. Показания считали стабильными, если они оставались неизменными в течение как минимум 15 с в режиме работы прибора с дискретностью 1 мВ.

Для пересчета потенциала стальной арматуры E_{Me} достаточно к измеренному по данной методике потенциалу $E_{изм}$, взятому со своим знаком, прибавить потенциал электрода сравнения $E_{э.с.}$:

$$E_{Me} = E_{изм} + E_{э.с.} \quad (1)$$

Измерение поляризационного сопротивления проводили при переменном токе в двухэлектродной ячейке, представляющей собой стакан с крышкой, где были закреплены электроды (рис. 2). Рабочим электродом являлись образцы арматуры в цементном камне. Расстояние между рабочими частями электрода составляло 20 мм. Ячейку заполняли исследуемым раствором, затем ее подключали к измерительному прибору. Показания снимали относительно хлорсеребряного электрода сравнения. Сопротивление исследуемой системы регистрировали в течение 30 мин при комнатной температуре – первые 5 мин каждые 20 с, затем до конца опыта – каждые 60 с.

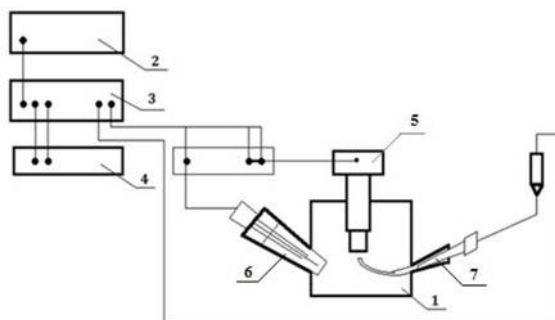
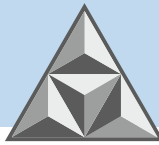


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для проведения поляризационных измерений:
1 – электрохимическая ячейка; 2 – программатор ПР-8; 3 – потенциостат ПИ-50-1;
4 – двухкоординатный регистрирующий прибор ПДА-1; 5 – рабочий электрод (р.э.);
6 – вспомогательный электрод (в.э.); 7 – электрод сравнения (э.с.)

Fig. 2. Scheme of the experimental setup for conducting polarization measurements: 1 – electrochemical cell;
2 – programmer PR-8; 3 – potentiostat PI-50-1; 4 – two-coordinate recording device PDA-1;
5 – working electrode (w.e.); 6 – auxiliary electrode (a.e.); 7 – reference electrode (r.e.)



Поляризационные измерения, кроме информации об электрохимическом поведении стальной арматуры в цементном камне, позволили рассчитать показатели скорости коррозии:

$$K_m^- = \frac{j \cdot A}{z \cdot 26.8} \quad (2)$$

$$K_h = K_m^- \cdot \frac{8.76}{\rho_{me}}, \quad (3)$$

где K_m^- – отрицательный показатель изменения массы, $г \cdot ч^{-1} \cdot м^2$; j – плотность тока коррозии, $А \cdot м^{-2}$; A – атомная масса металла, $г \cdot моль^{-1}$; z – валентность иона металла, переходящего в раствор; 26.8 – постоянная Фарадея, $А \cdot ч^{-1} \cdot моль^{-1}$; K_h – глубинный показатель коррозии, $мм \cdot год^{-1}$; ρ_{me} – плотность металла, $г \cdot см^{-3}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Находящаяся в цементном камне стальная арматура на начальном этапе не меняет потенциал вследствие наличия пассивной пленки на ее поверхности (рис. 3). Пассивность стальной арматуры в цементном камне сохраняется в течение 6 мес. воздействия на систему агрессивной хлоридсодержащей среды, затем потенциал поверхности начинает медленно сдвигаться в отрицательную сторону.

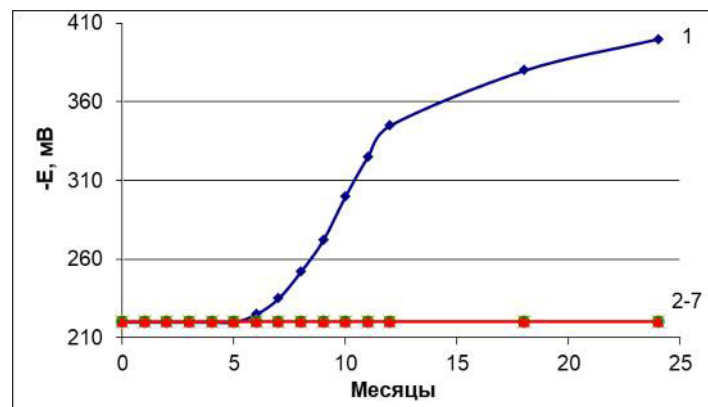


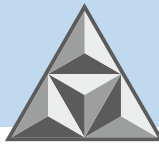
Рис. 3. Изменение потенциала арматуры из стали класса проката А500С в цементном камне в условиях жидкостной коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$: линия 1 – без добавки; линии 2-7 – гидрофобизированный бетон различных марок по водонепроницаемости (см. табл. 1)

Fig. 3. Change in the potential of reinforcement made of rolled steel A500C in cement brick in liquid corrosion medium of 2% $MgCl_2$ solution: line 1 – without additives; lines 2-7 – hydrophobized concrete of various grades for water resistance (see Table 1)

При достижении потенциала ниже -350 мВ поверхность стали переходит в активное состояние, в котором с низкой скоростью происходит развитие коррозионных процессов [63]. Дальнейшее снижение потенциала свидетельствует о том, что коррозионный процесс интенсифицируется и становится катодно контролируемым. Через 18 мес. изменение потенциала замедляется, что объясняется перепассивацией поверхности вследствие образования продуктов коррозии.

В течение 24 мес. испытаний в гидрофобизированных бетонах потенциал поверхности стальной арматуры не изменялся, следовательно, коррозионные процессы в данном случае не инициировались.

Поляризационные кривые (рис. 4) показывают, что для стальной арматуры в цементном



камне без добавки характерны более высокие значения плотности коррозионного тока; значит, коррозионное разрушение будет сильнее.

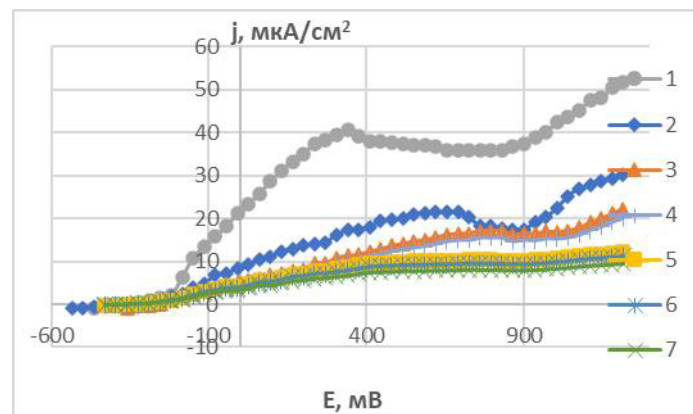


Рис. 4. Поляризационные кривые арматуры из стали класса проката А500С в цементном камне, находящемся в условиях жидкостной коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$: линия 1 – без добавки; линии 2-7 – гидрофобизированный бетон различных марок по водонепроницаемости (см. табл. 1)

Fig. 4. Polarization curves of fittings made of rolled steel A500C in cement brick in liquid corrosion medium of 2% $MgCl_2$ solution: line 1 - without additives; lines 2-7 – hydrophobized concrete of various grades for water resistance (see Table 1)

При достижении значения -290 мВ начинается анодное разрушение поверхности арматуры. Этот процесс находится в активной стадии до повышения потенциала к уровню $+760$ мВ. После непродолжительной пассивации поверхности стали начинается питтингообразование.

Анодное растворение стальной арматуры, находящейся в гидрофобизированном цементном камне, осуществляется при потенциале -255 мВ. При достижении потенциала $+340$ мВ поверхность стали переходит в активно-пассивное состояние. С увеличением содержания стеарата кальция в составе цементного камня происходит сглаживание поляризационных кривых (рис. 4, линии 5-7). Это свидетельствует о длительном сохранении пассивного состояния арматуры. Пассивность стали не нарушается в связи с замедлением поступления хлорид-ионов к поверхности металла; цементный камень вследствие осаждения в поровой структуре гидрофобизатора обладает повышенной плотностью.

Ниже (табл. 2) представлена скорость коррозии стальной арматуры в цементном камне в условиях воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды, определяемая выражениями (2) и (3) по результатам поляризационных измерений.

Таблица 2. Показатели скорости коррозии стальной арматуры А500С в цементном камне после коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$ в течение 24 мес.

Table 2. Corrosion rates of A500C steel reinforcement in cement brick after corrosion in 2% $MgCl_2$ solution for 24 months

K_m Номер образца	Показатель изменения массы, $г \cdot ч^{-1} \cdot м^2$	Глубинный показатель коррозии K_b , $мм \cdot год^{-1}$
1	$4.26 \cdot 10^{-3}$	$4.77 \cdot 10^{-3}$
2	$2.24 \cdot 10^{-3}$	$2.51 \cdot 10^{-3}$
3	$1.79 \cdot 10^{-3}$	$2.01 \cdot 10^{-3}$
4	$1.63 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-3}$
5	$0.98 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-3}$
6	$0.82 \cdot 10^{-3}$	$0.92 \cdot 10^{-3}$
7	$0.81 \cdot 10^{-3}$	$0.91 \cdot 10^{-3}$

Когда у поверхности стальной арматуры накапливаются хлорид-ионы, количество которых достаточно для нарушения пассивности и начала коррозионного разрушения,



коррозия арматуры в негидрофобизированном цементном камне протекает в 1.9 раз быстрее, чем в образце марки W4 по водонепроницаемости. С увеличением содержания стеарата кальция скорость коррозии арматуры в бетоне уменьшается в 2.5-5.0 раз.

Однако для достижения предельной концентрации агрессивных веществ у поверхности стальной арматуры в гидрофобизированном бетоне требуется значительно больше времени. Установлено [58], что пороговое значение концентрации хлорид-ионов достигается через три года в бетонах марок W6 и W8 по водонепроницаемости. Для накопления такого количества хлорид-ионов у поверхности арматуры в бетоне без гидрофобизирующих добавок в условиях действия 2%-го раствора $MgCl_2$ понадобится 6 мес.

Расчетные сроки начала развития коррозионных процессов на поверхности стальной арматуры в бетоне подтверждают результаты замеров потенциала арматуры в цементном камне, находящемся в 2%-м растворе $MgCl_2$ (см. рис. 3).

ВЫВОДЫ

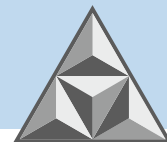
Объемная гидрофобизация за счет осаждения в порах нерастворимого стеарата кальция приводит к повышению плотности цементного камня, уменьшению объема поступающей внутрь бетона агрессивной среды, замедлению коррозии стальной арматуры.

Установлено, что изменение электродного потенциала поверхности стальной арматуры в бетоне начинается через 6 мес. нахождения образцов в 2%-м растворе $MgCl_2$, тогда как для гидрофобизированных бетонов потенциал арматуры в течение двух лет остается неизменным.

С учетом скорости коррозии стальной арматуры в бетоне, растворение металла на начальном этапе эксплуатации в жидкой хлоридсодержащей среде происходит медленно. За счет введения стеарата кальция в цементную смесь на стадии изготовления бетона можно значительно увеличить период сохранения пассивного состояния поверхности арматурной стали в бетоне, снизить скорость коррозии после накопления критической концентрации хлорид-ионов у поверхности арматуры. Это обеспечивает продление срока безремонтной службы железобетонного изделия в жидких хлоридсодержащих средах, отличающихся высокой степенью агрессивности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Степанова В.Ф.** Долговечность бетона. М.: Издательство АСВ, 2014. 126 с.
2. **Алексеев С.Н.** Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: Стройиздат, 1968. 232 с.
3. **Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А.** Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
4. **Bertolini L., Elsener B., Pedefferri P., Redaelli E., Polder R.B.** Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2013. 434 p.
5. **Asamoto S., Sato J., Okazaki S., Chun P.-j., Sahamitmongkol R., Nguyen G.H.** The Cover Depth Effect on Corrosion-Induced Deterioration of Reinforced Concrete Focusing on Water Penetration: Field Survey and Laboratory Study // *Materials*. 2021. Vol. 14, iss. 13. P. 3478. DOI: 10.3390/ma14133478
6. **Баженов Ю.М.** Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. 524 с.
7. **Claisse P.A.** *Transport Properties of Concrete: Modelling the Durability of Structures*. Second Edition. Woodhead Publishing, 2020. 328 p.
8. Добавки в бетон / под ред. В.С. Рамачандран и др. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
9. **Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С.** Исследование влияния отечественных

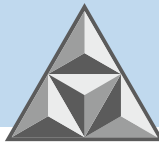


гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 4 (26). С. 207-210.

10. Суздальцев О.В., Калашников В.И., Мороз М.Н., Ерофеева И.В. Влияние порошкового гидрофобизатора на прочность и водопоглощение архитектурно-декоративных бетонов нового поколения // *Молодой ученый*. 2015. № 5 (85). С. 186-189.
11. Tuskaeva Z., Karyayev S. Influence of various additives on properties of concrete // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164. P. 14007. DOI: 10.1051/e3sconf/202016414007.
12. Юхневский П.И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов. Минск: БНТУ, 2013. 310 с.
13. Сафаров К.Б. Применение реакционноспособных заполнителей для получения бетонов, стойких в агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 17-20.
14. Cappellesso V.G., dos Santos Petry N., Dal Molin D.C.C., Masuero A.B. Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete // *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2016. Vol. 1. Article no. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
15. Гросс Ш., Майер Х.В., Хеерше П.Х. Кальцинированная глина как компонент цемента и бетона // *Цемент и его применение*. 2019. № 4. С. 102-107.
16. Jaskulski R., Józwiak-Niedźwiedzka D., Yakymchko Y. Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material. *Materials*. 2020. Vol. 13, iss. 21. P. 4734. DOI: 10.3390/ma13214734.
17. Флорес-Вивриан И., Прадото Р., Моини М., Кожухова М.И., Потапов В.В., Соболев К.Г. Влияние SiO₂-наночастиц на свойства цементных материалов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 11. С. 6-16. DOI: 10.12737/artide_5bf7e352d68e96.02791207.
18. Geng Y., Li S., Hou D., Chen X., Jin Z. Effect of SiO₂ Sol/Silane Emulsion in Reducing Water and Chloride Ion Penetration in Concrete // *Coatings*. 2020. Vol. 10, iss. 7. P. 682. DOI: 10.3390/coatings10070682
19. Breilly D., Fadlallah S., Froidevaux V., Colas A., Allais F. Origin and industrial applications of lignosulfonates with a focus on their use as superplasticizers in concrete // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 301. P. 124065. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124065.
20. Dvorkin L.I. The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. Vol. 93, no. 1. P. 121-133. DOI: 10.18720/MCE.93.10.
21. Qin Y.L., Bai M.X., Zhang Z.M., Yang D.J. Adsorption Behavior of Naphthalene Sulfonate Formaldehyde Condensate with Different Molecular Weights on the Cement Particle Surface // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 557-559. P. 870-876. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.870
22. Khudhair M.H.R., Elyoubi M.S., Elharfi A. Study of the influence of water reducing and setting retarder admixtures of polycarboxylate «superplasticizers» on physical and mechanical properties of mortar and concrete // *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2018. Vol. 9, iss. 1. P. 56-65. DOI: 10.26872/jmes.2018.9.1.7.
23. Ramachandran V.S., Lowery M.S., Malhotra V.M. Behaviour of ASTM Type V cement hydrated in the presence of sulfonated melamine formaldehyde // *Materials and Structures*. 1995. Vol. 28. P. 133-138. DOI: 10.1007/BF02473220.
24. Богданов Р.Р., Пашаев А.В., Журавлев М.В., Калимуллин А.А. Гиперпластификаторы на основе эфира поликарбоксилата и полиарила и их влияние на физико-технические свойства цементных композиций // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 4 (46). С. 265-273.
25. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 6 (21). С. 58-69.
26. Paktiawal A., Alam M. Effect of polycarboxylate ether-based superplasticizer dosage on fresh



- and hardened properties of cement concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1166. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1166/1/012013.
27. **Хигерович М.И., Байер В.Е.** Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 126 с.
28. **Misnikov O.S., Chertkova E.Yu.** Hydrophobic modification of mineral binders by additives produced from peat // *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. P. 63-68.
29. **Гречухин В.А.** Ремонтные бетоны с добавкой из вторичных продуктов производства минеральных масел // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. 2015. № 8. С. 120-126.
30. **Badikova A.D., Sakhigareev S.R., Fedina R.A., Rakhimov M.N., Tsadkin M.A.** Effective mineral additive on the basis of wastes of petrochemical plants for a concrete structural mix. *Nanotechnologies in Construction*. 2020. Vol. 12, no. 1. P. 34-40. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-34-40. URL: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-1-2020/34-40.pdf
31. **Albayrak A.T., Yasar M., Gurkaynak M.A., Gurgey I.** Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement // *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, iss. 2. P. 400-404. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.07.031.
32. **Мороз М.Н., Калашников В.И., Худяков В.А., Василик П.Г.** Водостойкий мелкозернистый бетон, гидрофобизированный наночастицами стеарата кальция // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 55-59.
33. **Nemati Chari M., Naseroleslami R., Shekarchi M.** The impact of calcium stearate on characteristics of concrete // *Asian Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 20. P. 1007-1020. DOI: 10.1007/s42107-019-00161-x.
34. **Калашников В.И., Мороз М.Н., Нестеров В.Ю., Хвастунов В.Л., Макридин Н.И., Василик П.Г.** Металлоорганические гидрофобизаторы для минерально-шлаковых вяжущих // *Строительные материалы*. 2016. № 10. С. 38-39.
35. **Lanzón M., Martínez E., Mastre M., Madrid J.A.** Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 139. P. 114-122. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.055.
36. **Cellat K., Tezcan F., Kardaş G., Paksoy H.** Comprehensive investigation of butyl stearate as a multifunctional smart concrete additive for energy-efficient buildings // *International Journal of Energy Research*. 2019. Vol. 43, iss. 13. P. 7146-7158. DOI: 10.1002/er.4740.
37. **Kurdi A., Almoatham N., Mirza M., Ballweg T., Alkahlan B.** Potential Phase Change Materials in Building Wall Construction – A Review // *Materials*. 2021. Vol. 14, iss. 18. P. 5328. DOI: 10.3390/ma14185328.
38. **Liu X., Song X., Wang Z., Xia C., Li T., Li X., Xu Q., Cui S., Qian S.** Polymer for Internal Hydrophobization of Cement-Based Materials: Design, Synthesis, and Properties // *Polymers*. 2021. Vol. 13, iss. 18. P. 3069. DOI: 10.3390/polym13183069.
39. **Крисман А.Е.** Модифицирование бетонной смеси дисперсией акриловой, ее влияние на эксплуатационные характеристики бетона // *NovaInfo.ru* 2017. № 66. С. 22-32.
40. **Sharma N., Sharma P.** Effect of hydrophobic agent in cement and concrete: A Review // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1116. P. 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/1116/1/012175.
41. **Соловьев В.Г., Еремин А.В., Елисеев Д.М., Бурьянов А.Ф.** Повышение водостойкости гипсового вяжущего парафиновой эмульсией // *Строительные материалы*. 2017. № 1-2. С. 45-49.
42. **Бутакова М.Д., Михайлов А.В., Сарибекян С.С.** Влияние кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2017. Т. 17, № 2. С. 34-41. DOI: 10.14529/build170205.



43. **Zhang P., Shang H., Hou D., Guo S., Zhao T.** The Effect of Water Repellent Surface Impregnation on Durability of Cement-Based Materials // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 2017. Article ID 8260103. DOI: 10.1155/2017/8260103.
44. **Христофоров А.И., Христофорова И.А., Еропов О.Л.** Бетонная смесь, модифицированная аэросилом и тетраэтоксисилоаном // *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. 2011. Т. 4, № 6. С. 704-710.
45. **Grabowska K., Koniorczyk M.** Internal hydrophobization of cement mortar by addition of siloxanes // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 282. P. 02030. DOI: 10.1051/mateconf/201928202030. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/31/mateconf_cesbp2019_02030.pdf
46. **Maryoto A., Setijadi R., Widyaningrum A., Waluyo S.** Drying Shrinkage of Concrete Containing Calcium Stearate, $(Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2)$, with Ordinary Portland Cement (OPC) as a Binder: Experimental and Modelling Studies // *Molecules*. 2020. Vol. 25, iss. 21. P. 4880. DOI: 10.3390/molecules25214880.
47. **Azad A., Mousavi S.F., Karami H., Farzin S.** Application of Talc as an Eco-Friendly Additive to Improve the Structural Behavior of Porous Concrete // *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2019. Vol. 43. (Suppl. 1). P. 443-453. DOI: 10.1007/s40996-018-0177-1.
48. **Lima-Guerra D.J., Mello I., Resende R., Silva R.** Use of Bentonite and Organobentonite as Alternatives of Partial Substitution of Cement in Concrete Manufacturing // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2014. V.8. P. 15-26. DOI: 10.1007/s40069-013-0066-8.
49. **Raheem S.A., Saheb M.A., Moula H.H., Maula B.H., Alshreefi R.A., Bahnam Q.M.** Improve Light Weight Concrete Characteristics by Adding Paraffin Wax as Moisture Proof // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 972. P. 16-25. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.972.16
50. **Пыжов А.С.** Технология получения и применения укатываемого дорожного цементного бетона с дисперсным битумом // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2010. № 3 (28). С. 239-251.
51. **Anikina N.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N., Zaharova E.A.** Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 81, no. 5. P. 116-124. DOI: 10.18720/MCE.81.12.
52. **Yao S.Y., Ge Y.** Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties. *Advanced Engineering Forum*. 2012. Vol. 5. P. 283-288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/aef.5.283.
53. **Abdo Sh., Galishnikova V.V., Fawzy A.M.** Properties of recycled aggregate pervious concrete modified with Styrene Butadiene Rubber Latex // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. Vol. 108, no. 8. Article No. 10805. DOI: 10.34910/MCE.108.5.
54. **Kim M.J., Park E.S., Hwang W.I., Cho W.J.** Effect of FNS Incorporation on the Properties of Ternary Blended Cement Containing Blast Furnace Slag and Fly Ash // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. Article ID 1047648. DOI: 10.1155/2022/1047648
55. **Sychova A.M., Svatovskaya L.B., Starchukov D.S., Soloviova V.Y., Gravit M.V.** The improving of the concrete quality in a monolithic clip // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 80, no. 4. P. 3-14. DOI: 10.18720/MCE.80.1.
56. **Cardenas H., Kupwade-Patil K., Eklund S.** Corrosion Mitigation in Mature Reinforced Concrete Using Nanoscale Pozzolan Deposition // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011. Vol. 23, iss. 6. P. 752-760. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000194.
57. **De Souza Oliveira A., Gomes O.F.M., Ferrara L., Fairbairn E.M.R., Filho R.D.T.** An overview of a twofold effect of crystalline admixtures in cement-based materials: from permeability-reducers to self-healing stimulators // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 41. P. 102400. DOI: 10.1016/j.job.2021.102400.
58. **Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В.** Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2018. № 4 (56). С. 93-99.



59. **Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J., Long, A.E.** Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance // *Construction and Building Materials*. 1997. Vol. 11, iss. 7-8. P. 413-429. DOI: 10.1016/S0950-0618(97)00019-6.
60. **Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В.** Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 4 (63). С. 113-118. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-113-118.
61. **Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., Мохов А.В.** Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7. С. 14-22. DOI: 10.5862/МСЕ.33.2.
62. **Zhu H., Wang P., Zhang G.** Effect of hydrophobic agent on efflorescence of portland cement-based decorative mortar // *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*. 2014. Vol. 17, no. 5. P. 882-886, 900. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9629.2014.05.021.
63. **Tuutti K.** Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982. 468 p. DOI: 10.4324/9780203475287.ch2.

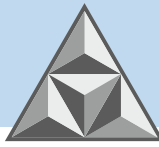
Поступила в редакцию 21.02.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 20.03.2023

REFERENCES

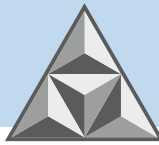
1. **Stepanova, V.F.** (2014) *Durability of concrete*. M.: ASV Publishing House (in Russian).
2. **Alekseev, S.N.** (1968) *Corrosion and protection of reinforcement in concrete*. M.: Stroyizdat (in Russian).
3. **Moskvin, V.M., Ivanov, F.M., Alekseev, S.N. & Guzeev, E.A.** (1980) *Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection*. M.: Stroyizdat (in Russian).
4. **Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E. & Polder, R.B.** (2013) *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
5. **Asamoto, S., Sato, J., Okazaki, S., Chun, P.-j., Sahamitmongkol, R. & Nguyen G.H.** (2021) The Cover Depth Effect on Corrosion-Induced Deterioration of Reinforced Concrete Focusing on Water Penetration: Field Survey and Laboratory Study, *Materials*, 14(13), pp. 3478. DOI: 10.3390/ma14133478.
6. **Bazhenov, Yu.M.** (2011) *Technology of concrete*. M.: Izd-vo ASV (in Russian).
7. **Claisse, P.A.** (2020) *Transport Properties of Concrete: Modelling the Durability of Structures*. Second Edition. Woodhead Publishing.
8. **Ramachandran, V.S.** (1988) *Concrete admixtures*. M.: Stroyizdat (in Russian).
9. **Bogdanov, R.R., Ibragimov, R.A., Izotov, V.S.** (2013) Studies of the influence of domestic water-repelling additions on the basic properties of cement paste and mortar, *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (4), pp. 207-210 (in Russian).
10. **Suzdaltsev, O.V., Kalashnikov, V.I., Moroz, M.N. & Erofeeva, I.V.** (2015) Influence of powder hydrophobizer on strength and water absorption of architectural and decorative concretes of new generation, *Molodoj uchenyj*, (5), pp. 186-189 (in Russian).
11. **Tuskaeva, Z. & Karyayev, S.** (2020) Influence of various additives on properties of concrete, *E3S Web of Conferences*, 164, pp. 14007. DOI: 10.1051/e3sconf/202016414007.
12. **Yukhnevsky P.I.** (2013) *The influence of the chemical nature of additives on the properties of concrete*. Minsk: BNTU (in Russian).
13. **Safarov K.B.** (2015) The Use of Reactive Aggregates for Producing Concretes Resistant to Aggressive Media, *Stroitel'nye materialy*, (7), pp. 17-20 (in Russian).
14. **Cappellesso, V.G., dos Santos Petry, N., Dal Molin, D.C.C. & Masuero, A.B.** (2016) Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete, *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*,



- 1, article no. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
15. **Gross, S., Meyer, H.W. & Heersche, P.H.** (2019) Calcined Clay as a Component of Cement and Concrete, *Cement i ego primenenie*, (4), pp. 102-107 (in Russian).
 16. **Jaskulski, R., Jóźwiak-Niedźwiedzka, D. & Yakymchko, Y.** (2020) Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material, *Materials*, 13(21), pp. 4734. DOI: 10.3390/ma13214734.
 17. **Flores-Vivian, I., Pradoto, R., Moini, M., Kozhukhova, M.I., Potapov, V.V. & Sobolev, K.G.** (2018) The effect of SiO₂ nanoparticles on performance of cement-based materials, *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, (11), pp. 6-16. DOI: 10.12737/artide_5bf7e352d68e96.02791207 (in Russian).
 18. **Geng, Y., Li, S., Hou, D., Chen, X. & Jin, Z.** (2020) Effect of SiO₂ Sol/Silane Emulsion in Reducing Water and Chloride Ion Penetration in Concrete, *Coatings*, 10(7), pp. 682. DOI: 10.3390/coatings10070682.
 19. **Breilly, D., Fadlallah, S., Froidevaux, V., Colas, A. & Allais, F.** (2021) Origin and industrial applications of lignosulfonates with a focus on their use as superplasticizers in concrete, *Construction and Building Materials*, 301, p. 124065. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124065
 20. **Dvorkin, L.I.** (2020) The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete, *Magazine of Civil Engineering*, 93(1), pp. 121-133. DOI:10.18720/MCE.93.10
 21. **Qin, Y.L., Bai, M.X., Zhang, Z.M. & Yang, D.J.** (2012) Adsorption Behavior of Naphthalene Sulfonate Formaldehyde Condensate with Different Molecular Weights on the Cement Particle Surface, *Advanced Materials Research*, 557-559, pp. 870-876. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.870.
 22. **Khudhair, M.H.R., Elyoubi, M.S. & Elharfi, A.** (2018) Study of the influence of water reducing and setting retarder admixtures of polycarboxylate «superplasticizers» on physical and mechanical properties of mortar and concrete, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(1), pp. 56-65. DOI: 10.26872/jmes.2018.9.1.7.
 23. **Ramachandran, V.S., Lowery, M.S. & Malhotra, V.M.** (1995) Behaviour of ASTM Type V cement hydrated in the presence of sulfonated melamine formaldehyde, *Materials and Structures*, 28, pp. 133-138. DOI: 10.1007/BF02473220.
 24. **Bogdanov, R.R., Pashaev, A.V., Zhuravlev, M.V. & Kalimullin, A.A.** (2018) Superplasticizer based on polycarboxylate ether and polyaryl and their influence on the physico-technical properties of cement compositions, *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (4), pp. 265-273 (in Russian).
 25. **Barabanshchikov, Yu.G. & Komarinski, M.V.** (2014) Superplasticized technological properties of concrete mixtures, *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij*, (6), pp. 58-69 (in Russian).
 26. **Paktiawal, A. & Alam, M.** (2021) Effect of polycarboxylate ether-based superplasticizer dosage on fresh and hardened properties of cement concrete, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1166, p. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1166/1/012013.
 27. **Higerovich, M.I. & Bayer, V.E.** (1979) *Hydrophobic plasticizing additives for cements, mortars and concretes*. Moscow: Strojizdat (in Russian).
 28. **Misnikov, O.S. & Chertkova, E.Yu.** (2014) Hydrophobic modification of mineral binders by additives produced from peat, *Eurasian Mining.*, (1), pp. 63-68.
 29. **Grechuhin, V.A.** (2015) Concrete repair mortars with the additive from the secondary products of mineral oils, *Vestnik Polotskogo gosuniversiteta. Ser. F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, (8), pp. 120-126 (in Russian).
 30. **Badikova, A.D., Sakhigareev, S.R., Fedina, R.A., Rakhimov, M.N. & Tsadkin, M.A.** (2020) Effective mineral additive on the basis of wastes of petrochemical plants for a concrete structural mix, *Nanotechnologies in Construction*, 12(1), pp. 34-40. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-34-40 [online]. Available at: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-1-2020/34-40.pdf
 31. **Albayrak, A.T., Yasar, M., Gurkaynak, M.A. & Gurgey, I.** (2005) Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement, *Cement and Concrete Research*, 35(2), pp. 400-404. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.07.031.



32. **Moroz, M.N., Kalashnikov, V.I., Khudyakov, V.A. & Vasilik, P.G.** (2009) Water-resistant fine-grained concrete hydrophobized with calcium stearate nanoparticles, *Stroitel'nye materialy*, (8), pp. 55-59 (in Russian).
33. **Nemati Chari, M., Naseroleslami, R. & Shekarchi, M.** (2019) The impact of calcium stearate on characteristics of concrete, *Asian Journal of Civil Engineering*, 20, pp. 1007-1020. DOI: 10.1007/s42107-019-00161-x.
34. **Kalashnikov, V.I., Moroz, M.N., Nesterov, V.Yu., Hvastunov, V.L., Makridin, N.I. & Vasilik, P.G.** (2016) Organometallic hydrophobizers for mineral-slag binders, *Stroitel'nye materialy*, (10), pp. 38-39 (in Russian).
35. **Lanzón, M., Martínez, E., Mestre, M. & Madrid, J.A.** (2017) Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain, *Construction and Building Materials*, 139, pp. 114-122. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.055.
36. **Cellat, K., Tezcan, F., Kardaş, G. & Paksoy, H.** (2019) Comprehensive investigation of butyl stearate as a multifunctional smart concrete additive for energy-efficient buildings, *International Journal of Energy Research*, 43(13), pp. 7146-7158. DOI: 10.1002/er.4740.
37. **Kurdi, A., Almoatham, N., Mirza, M., Ballweg, T. & Alkahlan, B.** (2021) Potential Phase Change Materials in Building Wall Construction – A Review, *Materials*, 14(18), p. 5328. DOI: 10.3390/ma14185328
38. **Liu, X., Song, X., Wang, Z., Xia, C., Li, T., Li, X., Xu, Q., Cui, S. & Qian, S.** (2021) Polymer for Internal Hydrophobization of Cement-Based Materials: Design, Synthesis, and Properties, *Polymers*, 13(18), p. 3069. DOI: 10.3390/polym13183069.
39. **Krisman, A.E.** (2017) Modification of the concrete mixture with acrylic dispersion, its effect on the performance characteristics of concrete, *NovaInfo.ru*, (66), pp. 22-32 (in Russian).
40. **Sharma, N. & Sharma, P.** (2021) Effect of hydrophobic agent in cement and concrete: A Review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1116, p. 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/1116/1/012175.
41. **Solovyev, V.G., Eremin, A.V., Eliseev, D.M. & Buryanov, A.F.** (2017) Improvement of water resistance of gypsum binder by paraffin emulsion, *Stroitel'nye materialy*, (1-2), pp. 45-49 (in Russian).
42. **Butakova, M.D., Mikhailov, A.V. & Saribekyan, S.S.** (2017) Influence of Silicon-Containing Additives on the Property of the Watertightness of Concrete Samples. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 17(2), pp. 34-41 (in Russian). DOI: 10.14529/build170205.
43. **Zhang, P., Shang, H., Hou, D., Guo, S. & Zhao, T.** (2017) The Effect of Water Repellent Surface Impregnation on Durability of Cement-Based Materials, *Advances in Materials Science and Engineering*, V. 2017, article ID 8260103. DOI: 10.1155/2017/8260103.
44. **Khristoforov, A.I., Khristoforova, I.A. & Eropov, O.L.** (2011) Modification of Concrete and Organic Nanoparticles Substances, *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Texnika i texnologii*, 4(6), pp. 704-710 (in Russian).
45. **Grabowska, K. & Koniarczyk, M.** (2019) Internal hydrophobization of cement mortar by addition of siloxanes, *MATEC Web of Conferences*, 282, p. 02030. DOI: 10.1051/mateconf/201928202030 [online]. Available at: https://www.mateconferences.org/articles-/mateconf/pdf/2019/31/mateconf_cesbp2019_02030.pdf
46. **Maryoto, A., Setijadi, R., Widyaningrum, A. & Waluyo, S.** (2020) Drying Shrinkage of Concrete Containing Calcium Stearate, (Ca(C₁₈H₃₅O₂)₂), with Ordinary Portland Cement (OPC) as a Binder: Experimental and Modelling Studies, *Molecules*, 25(21), p. 4880. DOI: 10.3390/molecules25214880.
47. **Azad, A., Mousavi, S.F., Karami, H. & Farzin, S.** (2019) Application of Talc as an Eco-Friendly Additive to Improve the Structural Behavior of Porous Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43, (Suppl. 1), pp. 443-453. DOI: 10.1007/s40996-018-0177-1.
48. **Lima-Guerra, D.J., Mello, I., Resende, R. & Silva, R.** (2014) Use of Bentonite and Organobentonite as Alternatives of Partial Substitution of Cement in Concrete Manufacturing, *International Journal*



of *Concrete Structures and Materials*, 8, pp. 15-26. DOI: 10.1007/s40069-013-0066-8.

49. **Raheem, S.A., Saheb, M.A., Moula, H.H., Maula, B.H., Alshreefi, R.A. & Bahnam, Q.M.** (2019) Improve Light Weight Concrete Characteristics by Adding Paraffin Wax as Moisture Proof, *Materials Science Forum*, 972, pp. 16-25. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.972.16.
50. **Pyzhov, A.S.** (2010) Technology of production and use of road rolled concrete with disperse bitumen, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (3), pp. 239-251 (in Russian).
51. **Anikina, N.A., Smirnov, V.F., Smirnova, O.N. & Zaharova, E.A.** (2018) Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration, *Magazine of Civil Engineering*, 81(5), pp. 116-124. DOI: 10.18720/MCE.81.12.
52. **Yao, S.Y. & Ge, Y.** (2012) Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties, *Advanced Engineering Forum*, 5, pp. 283-288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/aef.5.283.
53. **Abdo, Sh., Galishnikova, V.V. & Fawzy, A.M.** (2021) Properties of recycled aggregate pervious concrete modified with Styrene Butadiene Rubber Latex, *Magazine of Civil Engineering*, 108(8), article no. 10805. DOI: 10.34910/MCE.108.5.
54. **Kim, M.J., Park, E.S., Hwang, W.I. & Cho, W.J.** (2022) Effect of FNS Incorporation on the Properties of Ternary Blended Cement Containing Blast Furnace Slag and Fly Ash, *Advances in Materials Science and Engineering*, V. 2022, article ID 1047648. DOI: 10.1155/2022/1047648.
55. **Sychova, A.M., Svatovskaya, L.B., Starchukov, D.S., Soloviova, V.Y. & Gravit, M.V.** (2018) The improving of the concrete quality in a monolithic clip, *Magazine of Civil Engineering*, 80(4), pp. 3-14. DOI: 10.18720/MCE.80.1.
56. **Cardenas, H., Kupwade-Patil, K., Eklund, S.** (2011) Corrosion Mitigation in Mature Reinforced Concrete Using Nanoscale Pozzolan Deposition, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(6), pp. 752-760. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000194/
57. **de Souza Oliveira, A., Gomes, O.F.M., Ferrara, L., Fairbairn, E.M.R. & Filho, R.D.T.** (2021) An overview of a twofold effect of crystalline admixtures in cement-based materials: from permeability-reducers to self-healing stimulators, *Journal of Building Engineering*, 41, pp. 102400. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102400.
58. **Fedosov, S.V., Rumyantseva, V.E., Konovalova, V.S. & Karavaev, I.V.** (2018) Rate of penetration of chloride ions to the surface of steel reinforcement in hydrophobized concretes, *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, (4), pp. 93-99 (in Russian).
59. **Basheer, P.A.M., Basheer, L., Cleland, D.J. & Long, A.E.** (1997) Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance. *Construction and Building Materials*, 11(7-8), pp. 413-429. DOI: 10.1016/S0950-0618(97)00019-6.
60. **Fedosov, S.V., Rumyantseva, V.E., Konovalova, V.S. & Karavaev, I.V.** (2017) Liquid corrosion of concrete in the environment with various degree of aggressiveness, *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, (4), pp. 113-118. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-113-118 (in Russian).
61. **Babkov, V.V., Gafurova, E.A., Rezvov, O.A. & Mokhov, A.V.** (2012) The problems of the occurrence of efflorescence on the surface of buildings' exterior walls made of vibropressed concrete blocks and the methods of blocking these processes, *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, (7), pp. 14-22. DOI: 10.5862/MCE.33.2 (in Russian).
62. **Zhu, H., Wang, P. & Zhang, G.** (2014) Effect of hydrophobic agent on efflorescence of portland cement-based decorative mortar, *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 17(5), pp. 882-886, 900. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9629.2014.05.021.
63. **Tuutti, K.** (1982) *Corrosion of Steel in Concrete*. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. DOI: 10.4324/9780203475287.ch2.

Received 21.02.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 20.03.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175.5:624.121.54

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_34

Оценка работоспособности гидроизоляции из полимерных ПВХ-мембран при строительстве в сейсмоопасных регионах РФ

В.Н. Шалимов, А.В. Цыбенко, И.Н. Гоглев

Владимир Николаевич Шалимов

Общество с ограниченной ответственностью «Технониколь–Строительные системы», Москва,
Российская Федерация

shalimov@tn.ru

Алексей Васильевич Цыбенко

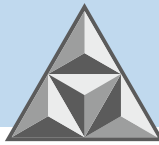
Общество с ограниченной ответственностью «Технониколь–Строительные системы», Москва,
Российская Федерация

cybenko@tn.ru

Илья Николаевич Гоглев

Общество с ограниченной ответственностью «Технониколь–Строительные системы», Москва,
Российская Федерация

goglev@tn.ru



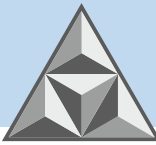
Оценивается возможность использования полимерных (ПВХ) мембран LOGICBASE™ в регионах России с повышенной сейсмической активностью. Рассмотрен механизм работы полимерных мембран в конструкциях фундаментов в условиях постоянных перемещений и трения. В ходе исследований многоосного растяжения образцы полимерных мембран круглой формы закрепляли в зажимах испытательной камеры, прикладывали гидравлическое давление до момента их разрыва (моделирование работы в деформационных швах). Выявлено, что максимальная прочность образцов при разрыве достигает 6.95 МПа, а удлинение образцов при разрыве составляет 114%. Исследована зависимость деформации образцов от величины прикладываемого гидравлического давления. Показано, что полимерные мембраны обладают высокой изотропией материала, благодаря чему обеспечивается их равномерная работа на растягивающую многоосную нагрузку. Это позволяет использовать их в конструкциях уникальных и стратегических объектов – тоннелей, резервуаров для питьевой воды. Определены коэффициенты трения для системы «полимерный (ПВХ) гидроизоляционный материал – бетонная (железобетонная) конструкция» в условиях повышенной сейсмической активности по шкале MSK-64. Установлено, что ПВХ-мембраны для инженерной гидроизоляции можно использовать в районах строительства с сейсмичностью до 9 баллов по шкале MSK-64.

Ключевые слова: бетон, железобетон, фундаменты, сейсмическая безопасность, гидроизоляция, полимерные мембраны, коэффициент трения

Для цитирования:

Шалимов В.Н., Цыбенко А.В., Гоглев И.Н. Оценка работоспособности гидроизоляции из полимерных ПВХ-мембран при строительстве в сейсмоопасных регионах РФ // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 34-47. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_34



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_34

Assessment of the performance of waterproofing made of PVC-membranes during construction in earthquake- prone regions of the Russian Federation

V.N. Shalimov, A.V. Tsybenko, I.N. Goglev

Vladimir N. Shalimov

OOO (Limited Liability Company) «Technicol-Stroitelniye sistemy», Moscow, Russia

shalimov@tn.ru

Alexey V. Tsybenko

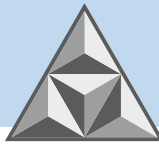
OOO (Limited Liability Company) «Technicol-Stroitelniye sistemy», Moscow, Russia

cybenko@tn.ru

Ilya N. Goglev

OOO (Limited Liability Company) «Technicol-Stroitelniye sistemy», Moscow, Russia

goglev@tn.ru



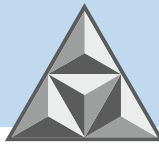
The two-stage study assesses the possibility of using LOGICBASE™ polymer (PVC) membranes in regions of increased seismic activity in the territory of the Russian Federation. The first stage considers the mechanism of polymer membranes operation in foundation structures under conditions of constant displacement and friction. The second stage of the research examines the round-shaped samples made of polymer membranes on a special multiaxial stretching unit according to GOST 33067-2014, Application DV. During the study, we fix the samples in the clamps of the test chamber and use a hydraulic pressure to stepwise them until they burst (simulation of work in deformation seams). According to the results of LOGICBASE™ V-SL polymer membranes for multiaxial stretching studies, the maximum tensile strength of the samples was 6948.22 kPa (~ 6.95 MPa). The stretching of the samples was 113.89%. Additionally, we constructed the graphs of the deformation (stretching) dependence of samples on the applied hydraulic pressure. Indeed, polymer membranes have a high isotropy of the material. It ensures their uniform operation on a tensile multiaxial load, and allows them to be used in the construction of unique and strategic facilities (tunnels, nuclear power plants, drinking water tanks, etc.). The study determined the coefficient of friction in the system "polymer (PVC) waterproofing material-concrete (reinforced concrete) structure" in conditions of increased seismic activity. Thus, in terms of the results of the study, PVC membranes for engineering waterproofing could be used in construction areas with seismicity up to 9 points (inclusive) on the MSK-64 scale.

Key words: concrete, reinforced concrete, foundations, seismic safety, waterproofing, polymer membranes, coefficient of friction

For citation:

Shalimov, V.N., Cybenko, A.V.& Goglev, I.N. (2023) Assessment of the performance of waterproofing made of PVC-membranes during construction in earthquake-prone regions of the Russian Federation, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 34-47 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_34



ВВЕДЕНИЕ

Территории Российской Федерации характеризуются большим разнообразием ландшафтов, часовых, климатических и сейсмических зон. При этом более 30% территории РФ находится в районах с повышенной сейсмической активностью [1-3]. В частности, к таким районам относятся Северный Кавказ, Крым, Алтай, часть Якутии, Забайкалье, Сахалин, Камчатка и Курильские острова [2]. Так, согласно СП 14.13330.2018 и Приложения А – Карты сейсмического районирования (ОСР-2015-А, В), сейсмическая активность на Курильских островах составляет 10 баллов по шкале MSK-64. Строительство в таких зонах требует обеспечения максимальной надежности и прочности применяемых строительных материалов и изделий [2, 3]. Для объектов класса КС-3 [4] подбор качественных строительных материалов на этапе проектирования также предусмотрен нормативными документами. Например, при строительстве зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, для которых отсутствуют апробированные решения (в том числе и в области гидроизоляции), согласно п. 3.7 ГОСТ 27751-2014, необходимо использовать данные испытаний, проведенных на моделях или натуральных конструкциях [5, 6]. Расчет конструкций и оснований для таких сооружений рекомендуется выполнять на основе специальных теоретических и апробированных численных и экспериментальных исследований [5-8].

Гидроизоляционные материалы, пригодные для применения в таких зонах строительства, должны обладать повышенной прочностью на растяжение [9], высокими характеристиками относительного удлинения [9] и способностью воспринимать многоосевые нагрузки [9, 10]. К таким материалам относятся полимерные (ПВХ) мембраны [9, 10]. Их использование весьма актуально в зонах деформационных швов зданий, где возникают многоосные растягивающие нагрузки, например, продольный сдвиг (рис. 1).

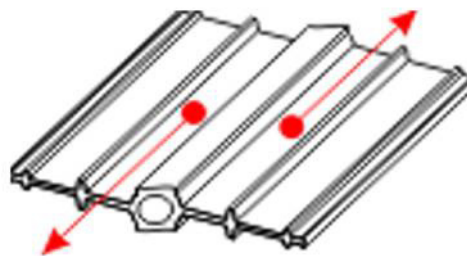
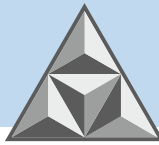


Рис. 1. Работа гидроизоляционной шпонки на продольный сдвиг

Fig. 1. The work of the waterproofing key on the longitudinal shift

При использовании гидроизоляционного материала возникает трение материала о стенки бетонных и железобетонных конструкций, а возникающие многоосные растягивающие нагрузки позволяют оценить работу, направленную на обеспечение целостности и долговечности конструкций при воздействии подземных вод. В случае повреждения гидроизоляции может начаться процесс коррозии бетона или железобетона [11-13], сопряженный с рядом рисков. Главный риск – снижение прочности и несущей способности конструкций [11-13], что представляет большую опасность при высокой сейсмической активности.

Цель работы – оценка работы гидроизоляционных ПВХ-мембран в условиях повышенной сейсмичности и проведение расчетной проверки сдвига и возможности опрокидывания здания при сейсмическом воздействии.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Определение коэффициента трения полимерных мембран

Коэффициент трения μ определяют по формуле [14-16]:

$$\mu = \frac{F_{cp}}{P} \quad (1)$$

где F_{cp} – среднее арифметическое значение силы трения F (рис. 2), определяемое для всех групп образцов с учетом потерь на трение в самой машине, Н;

P – нагрузка, прижимающая образцы к контртелу, Н.

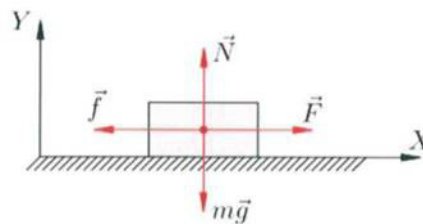


Рис. 2. Принципиальная схема определения коэффициента трения

Fig. 2. Schematic diagram of the friction coefficient determination

Если брусок тянут с помощью динамометра с постоянной скоростью, динамометр показывает модуль силы трения скольжения F_{mp} . В данной схеме сила упругости пружины динамометра уравнивает возникающую силу трения скольжения.

Известно, что сила трения скольжения зависит от силы нормальной реакции опоры N , возникающей вследствие действия веса тела [14-16]. Соответственно, бóльший вес создает бóльшую силу трения. Между этими силами существует прямая зависимость:

$$F_{mp} = \mu \cdot N \quad (2)$$

Коэффициент трения показывает, как сила трения скольжения зависит от веса тела или силы нормальной реакции и какую долю от нее она составляет [14-16]. Для различных пар поверхностей коэффициент трения неодинаков и является безразмерной величиной. Таким образом, используя формулы (1) и (2) и зная значения силы трения и нормальной реакции, можно определить коэффициент трения для любых поверхностей:

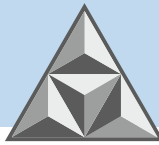
$$\mu = \frac{F_{mp}}{N} \quad (3)$$

Сила нормальной реакции опоры зависит от веса тела и равна ему по модулю, но противоположна по направлению. Вес тела P можно вычислить исходя из значения массы тела и ускорения свободного падения [14-16]; следовательно, $N = P = m \cdot g$.

Тогда формула (3) приобретает вид:

$$\mu = \frac{F_{mp}}{m \cdot g} \quad (4)$$

Трение покоя μ_0 проявляется, если тело, находящееся в состоянии покоя, приводится в движение. Трение скольжения $\mu_{ск}$ проявляется при движении тела, и оно значительно



меньше трения покоя ($\mu_{ск} < \mu_0$). Сила трения скольжения всегда противоположна движению тела [14-16], а при изменении направления скорости изменяется и направление силы трения. Если внешняя сила F превысит максимальное значение силы трения покоя μN , тело начнет движение.

Для определения коэффициента использовалась разрывная машина МИРК-1000К, предназначенная для статических испытаний образцов стальных канатов и изделий из них. Технические характеристики машины (наибольшая номинальная нагрузка – 1000 кН, ширина рабочего пространства – 450 мм и др.) позволяют проводить измерение силы трения с погрешностью не более 5% от измеряемой величины при статической тарировке, а также выполнять многократное скольжение образцов по одному и тому же следу на плоскости контртела.

Испытательный образец по требованиям ГОСТ Р 58753-2019 (Приложение В) помещали в захватные устройства типа «вилка» [15, 16], одно из которых было установлено на подвижной траверсе, а другое – выполнено неподвижным. Зона проведения испытаний имеет защитное ограждение. Разрывная машина МИРК-1000К оснащена автоматизированными системами управления/измерения, благодаря чему обеспечивается непрерывное автоматическое управление процессом нагружения и его визуализация. Для давлений 0.1-0.3 МПа использовали динамометр фирмы Tidemann с максимальным усилием растяжения 1 кН, а для давлений 0.4-0.9 МПа – динамометр ДПУ-5 с максимальным усилием растяжения 5 кН.

Опорной поверхностью служила бетонная бордюрная плита 500×200 мм и толщиной 70 мм (моделирование реальной бетонной поверхности). Пятно нагрузки передавалось на опорную поверхность при помощи стандартного бетонного кубика 50×50×50 мм (для повышенного давления 0.4-0.9 МПа) или бетонной призмы 50×180×100 мм (для пониженного давления 0.1-0.3 МПа). Между бетонными поверхностями укладывали гидроизоляционный ковер размером 200×400 мм, состоящий из двух слоев геотекстильного материала, между которыми размещалась полимерная ПВХ-мембрана LOGICBASE™ марки V-SL (двухслойная мембрана с желтым сигнальным слоем). Для подстилающего и разделительного слоя в гидроизоляционном ковре использовали иглопробивной термообработанный полипропиленовый геотекстиль плотностью 300-500 г·м⁻².

Схему определения силы трения реализовали согласно [15, 16] (рис. 2). Бетонные образцы вместе с гидроизоляционным пакетом (ковром) и держателями устанавливали на машину, после чего к ним прикладывали удельную нагрузку 0.1-1.0 МПа. В процессе возникающего перемещения измеряли силу трения, фиксируемую динамометрами каждые 5 мин после начала испытания. Испытание считали законченным при достижении постоянной силы трения, но не ранее чем через (25±5) мин после начала испытания.

Испытание полимерных мембран на многоосное растяжение

ГОСТ 33067-2014 «Материалы геосинтетические для тоннелей и подземных сооружений. Общие технические требования» содержит раздел по определению прочности при многоосном растяжении для материалов. Специфика работы деформационных швов в конструкциях подразумевает наличие большого количества разнонаправленных растягивающих и сдвигающих нагрузок [10, 17, 18], возникающих при сейсмических воздействиях. При этом классические испытания полимерных мембран на растяжение [9] в продольном и поперечном направлении не позволяют приблизить условия работы гидроизоляционного материала к работе реальных деформационных швов.

Установка для испытаний в общем виде (рис. 3, а) включает четыре основных узла.

Испытательная камера. Состоит из основания и зажимных колец с внутренним



диаметром (200 ± 2) мм, что соответствует размеру образцов для испытаний. Нижний внутренний край зажимных колец имеет радиус закругления 3 мм.

Основание испытательной камеры. Расположено горизонтально, должно быть плоским или с впускным отверстием для жидкости в центре.

Устройство для измерения прогиба. Точность измерения ± 0.5 мм (может также использоваться чувствительный тензодатчик).

Устройство для измерения давления жидкости. Точность измерения $\pm 1\%$; температура жидкости должна поддерживаться в течение всего испытания на уровне (20 ± 2) °С.

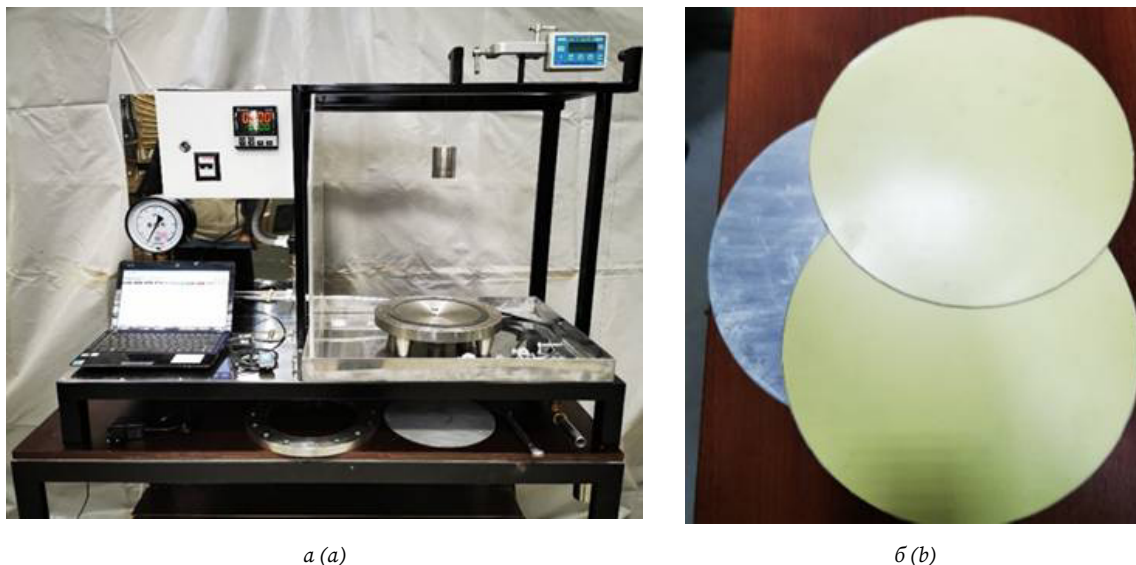


Рис. 3. Испытательная установка: а – общий вид; б – испытательные образцы из ПВХ мембраны

Fig. 3. Test facility: a – main view of the test facility; b – PVC membrane test samples

Испытания проводили по ГОСТ 33067-2014, Приложение ДВ (европейский стандарт EN 14151:2010 «Геосинтетики. Определение прочности при разрыве»). Объектами исследования служили образцы LOGICBASE™ V-SL круглой формы диаметром (200 ± 2) мм и толщиной 2 мм с сигнальным слоем. Предварительно очищенная лицевая поверхность образцов не имела видимых дефектов (рис. 3, б). Их кондиционировали при относительной влажности воздуха $(65\pm 5)\%$ и температуре (20 ± 2) °С, укладывали на опорную поверхность камеры сигнальным слоем вверх, а тыльной стороной черного цвета – к основанию. Основание испытательной камеры для плотного прилегания образцов заполняли водой через впускное отверстие. Скорость потока жидкости составляла $3 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$. В центр образцов устанавливали устройство для измерения деформаций. К образцам ступенчато прикладывали гидравлическое давление до момента разрыва, фиксируя их деформацию под действием давления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате испытаний систем «полимерный (ПВХ) гидроизоляционный материал – бетонная (железобетонная) конструкция» получены следующие данные (табл. 1).

В таблице 2 приведены результаты статистической обработки экспериментов.

**Таблица 1.** Результаты определения коэффициента трения ПВХ мембраны о бетонную поверхность**Table 1.** Results of friction coefficient determination of a PVC membrane on a concrete surface

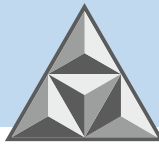
Масса пригруза m , кг	Площадь опирания S , см ²	Давление на опорную поверхность P , МПа	Показания динамометра F , кГ	Коэффициент трения μ
- для давлений от 0.1 до 0.3 МПа – бетонная призма размерами 5x18x10 см; динамометр до 100 кГ				
97	90	0.11	30	0.309
			31	0.320
			32	0.330
172	90	0.19	54	0.314
			56	0.326
			59	0.343
207	90	0.23	71	0.343
			73	0.353
			75	0.362
278	90	0.30	91	0.327
			93	0.335
			95	0.342
- для давлений от 0.4 до 1.0 МПа – бетонный кубик размером 5x5x5 см; динамометр до 1000 кГ				
100	25	0.4	32.6	0.326
			33.6	0.336
			35.4	0.354
156	25	0.62	36.1	0.282
			45.9	0.359
			49.5	0.387
210	25	0.84	70.8	0.337
			73.1	0.348
			77.2	0.368
255	25	1.02	86.1	0.338
			90.6	0.355
			101.7	0.399

Таблица 2. Результаты статистической обработки экспериментов**Table 2.** Results of statistical processing of experiments

Давление на опорную поверхность P , МПа	Средний коэффициент трения $\mu_{ср}$	Стандарт отклонения σ_{μ}	Абсолютная погрешность Δ_{μ}	Диапазон изменения коэффициента трения $\mu = \mu_{ср} \pm \Delta_{\mu}$
0.106	0.324	0.008	0.011	0.324 \pm 0.011
0.187	0.326	0.010	0.013	0.326 \pm 0.013
0.226	0.353	0.007	0.009	0.353 \pm 0.009
0.303	0.337	0.006	0.007	0.337 \pm 0.007
0.402	0.340	0.010	0.015	0.340 \pm 0.015
0.624	0.349	0.043	0.060	0.349 \pm 0.060
0.840	0.353	0.012	0.018	0.353 \pm 0.018
1.020	0.343	0.042	0.063	0.343 \pm 0.063

На рис. 4 показано изменение коэффициента трения в зависимости от величины давления на гидроизоляционный пакет (система «ПВХ мембрана – бетонное (железобетонное) основание»).

Для моделирования процесса опрокидывания в условиях сейсмической активности рассмотрена упрощенная классическая модель, известная из курсов теоретической механики, сопротивления материалов и теории упругости. С точки зрения сопротивления материалов, теоретическая модель процесса выглядит следующим образом [15-19]: брусок с нитью, привязанной к длинной грани, устанавливают торцом на горизонтальную поверхность стола. Если нить закреплена невысоко над поверхностью стола, при ее



потягивании брусок будет скользить, а в случае большой высоты закрепления нити может опрокинуться при минимальном скольжении. При определенной высоте h точки A крепления нити сила натяжения нити F опрокидывает брусок (см. рис. 5).

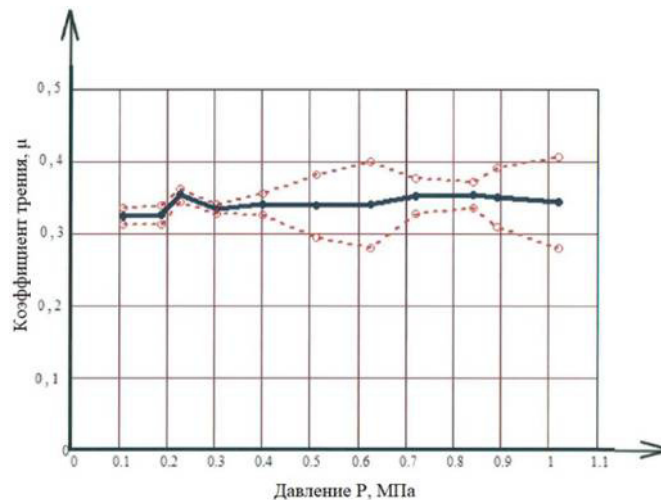


Рис. 4. Изменение коэффициента трения в зависимости от давления на гидроизоляционный пакет

Fig. 4. Change in the coefficient of friction depending on the pressure on the waterproofing package

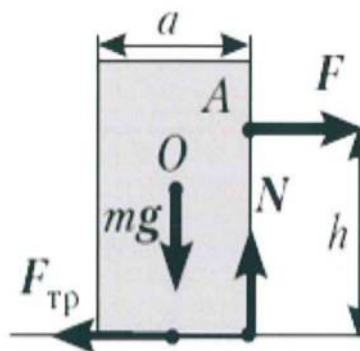


Рис. 5. Брусок и действующие на него усилия

Fig. 5. The bar and the forces acting on it

Условия равновесия для этого случая относительно точки – угла опрокидывания выглядят следующим образом:

$$Fh - mga/2 = 0. \quad (5)$$

$$F - F_{тр} = 0. \quad (6)$$

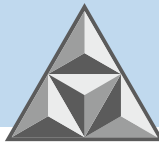
$$N - mg = 0. \quad (7)$$

С учетом формулы (2), получаем $\mu mg = mga/2$.

Из этого вытекает

$$\mu = \frac{a}{2 \cdot h}. \quad (8)$$

Из выражений (6)-(8) следует, что сдвиг здания как полноценной системы произойдет при условии $F_{тр} = \mu N < A mg$, где $A = 0.1, 0.2$ или 0.4 при сейсмичности площадки 7, 8 и 9 баллов соответственно (см. СП 14.13330.2018) [15-19].



Учитывая условие (8) и $\mu > A$, можно сделать вывод, что при данных показателях сейсмичности опрокидывание не произойдет.

Результаты испытаний гидроизоляционных ПВХ мембран на многоосное растяжение приведены на рис. 6 и в табл. 3.

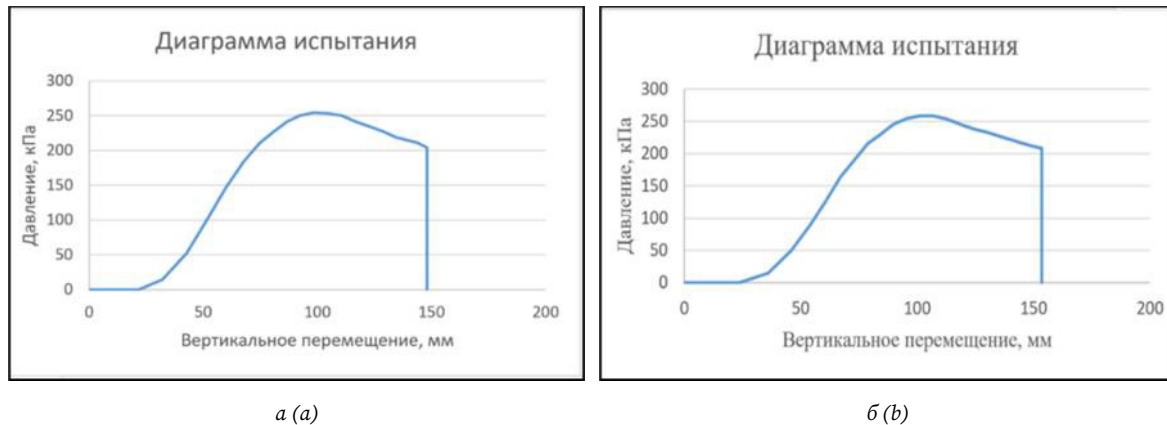


Рис. 6. Результаты испытаний гидроизоляционных ПВХ мембран на многоосное растяжение:
а, б – графики гидравлического давления и соответствующие ему деформации образцов

Fig. 6. Test results of waterproofing PVC membranes for multiaxial tension:
a, b – Graphs of hydraulic pressure and corresponding deformations of samples

Таблица 3. Результаты испытаний по определению прочности при многоосном растяжении ПВХ мембран LOGICBASE™

Table 3. Test results for determining the multiaxial tensile strength of LOGICBASE™ PVC membranes

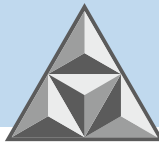
№ п/п	Определяемые показатели испытываемой продукции	Единица измерения	Обозначение нормативной документации на методы испытаний	Условия испытаний	Результаты
1.	Прочность при разрыве	кПа	ГОСТ 33067-2014 Приложение ДВ	$t = 22.2 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 46.8\%$	среднее: 5591
2.	Максимальная прочность	кПа	ГОСТ 33067-2014 Приложение ДВ		среднее: 6948
3.	Деформация образца при разрыве	%	ГОСТ 33067-2014 Приложение ДВ		среднее: 114

На основании результатов исследований получены соответствующие заключения, которые позволяют использовать мембраны на объектах повышенного и высокого уровня ответственности (в частности, тоннелях, фундаментах уникальных зданий, промышленных резервуарах, защитных экранах полигонов твердых бытовых отходов) [9, 10, 19]. Также результаты исследований будут полезны для расчетов сейсмостойких зданий в различных программных комплексах [17-19] (ANSYS, STARKES, SCAD и др.).

ВЫВОДЫ

Показано, что коэффициент трения ПВХ-мембран не превышает 0.4. Данная величина отвечает устойчивому состоянию здания, исключающему опрокидывание при сейсмичности площадки 7, 8 и 9 баллов.

Выявлена высокая эластичность гидроизоляционных ПВХ-мембран, что обеспечивает высокие показатели их прочности на многоосное растяжение и относительного удлинения. Прочность материала при воздействии многоосной нагрузки сохраняется в неизменном виде, без привязки к направлению приложения нагрузки.



Расчетные коэффициенты трения и результаты численного моделирования процесса опрокидывания здания с гидроизоляцией из мембран LOGICBASE™ показали, что указанные материалы могут успешно применяться в зонах с сейсмичностью до 9 баллов включительно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Мартемьянов А.И.** Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1985. 255 с.
2. **Вагабов Г.А., Мустафин Р.Р.** Строительство зданий и сооружений из железобетона в зоне повышенной сейсмической активности // *Молодой ученый*. 2019. № 47(285). С.142-145.
3. **Савин С.Н., Данилов И.Л.** Сейсмобезопасность зданий и территорий. СПб: Лань, 2015. 240 с.
4. **Кловский А.В., Мареева О.В.** Особенности проектирования объектов повышенного уровня ответственности при пограничных значениях сейсмичности площадки строительства // *Природообустройство*. 2018. № 3. С. 63-69.
5. **Травуш В.И., Волков Ю.С.** О параметрической (Performance Based) модели нормирования и требованиях ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения" // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 2(1002). С. 36-38.
6. **Еременко Д.Б.** Технический регламент как источник объективных требований к применяемым материалам (в порядке обсуждения) // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 11. С. 57-62.
7. **Лебедева И.В.** Проблемы нормирования надежности строительных конструкций и экспертная деятельность в области международной стандартизации // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2022. № 2 (301). С. 39-46.
8. **Ершов Г.А., Семериков В.Н., Семериков Н.В., Тарасьев Ю.И.** Нормативное обеспечение терминологии в области надежности, хорош или плох ГОСТ 27751-2014 // *Стандарты и качество*. 2023. № 2. С. 37-41.
9. **Шалимов В.Н., Цыбенко А.В., Гоглев И.Н.** Исследование расхода инъекционных составов в ремонтнопригодных системах гидроизоляции фундаментов // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, вып. 2. С. 29-44. DOI: https://doi.org/10.52957/27821919_2022_2_29. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2F3MН%2FtYvYFPs3TLkcfuDBrTNxOq-DGa0660tQNf00DBl4DGv5CTw6Sa4ZVuFHDjcNkq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=V3N2_2022.pdf
10. **Цыбенко А.В.** Многоосное растяжение полимерного рулонного гидроизоляционного материала. определение прочности при разрыве // *Фундаменты*. 2022. № 3(9). С.55-57.
11. **Румянцева В.Е., Гоглев И.Н., Логинова С.А.** Применение полевых и лабораторных методов определения карбонизации, хлоридной и сульфатной коррозии при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // *Строительство и техногенная безопасность*. 2019. № 15(67). С. 51-58.
12. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Логинова С.А., Гоглев И.Н.** Выявление сульфатной и хлоридной коррозии бетона на полевой и лабораторной стадиях обследования строительных конструкций зданий и сооружений // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2021. № 10(1046). С. 29-31.
13. **Логинова С.А., Гоглев И.Н.** Индикаторные способы определения долговечности железобетонных конструкций при их обследовании // *Строительство и техногенная безопасность*. 2022. № 8. С. 119-126. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-8-8-16.
14. **Клавсюк А.Л., Никонорова Е.А., Салецкий А.М., Слепков А.И.** Лабораторный практикум по механике. Часть 1.М.: ООП Физ. фак-та МГУ, 2014. 215 с.



15. Кабардина С.И., Шефер Н.И. Измерения физических величин. М.: БИНОМ "Лаборатория знаний", 2005. 136 с.
16. Кравченко Н.С., Гаврилина Н.И. Определение коэффициента силы трения скольжения. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 10 с.
17. Симбиркин В.Н., Панасенко Ю.В. Учет указаний СП 14.13330.2018 при реализации расчета сооружений на сейсмические воздействия в программном комплексе STARK ES // *Вестник НИИЦ Строительство*. 2019. № 2(21). С. 103-113.
18. Соколов Н.С. Длительные исследования процессов деформирования оснований фундаментов при повышенных нагрузках // *Жилищное строительство*. 2018. № 5. С. 3-8.
19. Определение коэффициента трения на уровне материала рулонного полимерного гидроизоляционного LOGICROOFT-SL. Научно-технический отчет. М., 2015. 18 с.

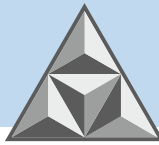
Поступила в редакцию 04.02.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 23.03.2023

REFERENCES

1. Martem'janov, A.I. (1985) *Design and construction of building sand structures in seismic areas*. М.: Strojizdat (in Russian).
2. Vagabov, G.A. & Mustafin, R.R. (2019) Construction of reinforced concrete buildings and structures in the zone of increased seismic activity, *Molodoj uchenyj*, 47(285), pp.142-145 (in Russian).
3. Savin, S.N. & Danilov, I.L. (2015) *Seismic safety of buildings and territories*. SPb: Lan (in Russian).
4. Klovs'kij, A.V. & Mareeva, O.V. (2018) Features of the design of objects with an increased level of responsibility at the boundary values of the seismicity of the construction site, *Prirodoobustrojstvo*, (3), pp. 63-69 (in Russian).
5. Travush, V.I. & Volkov, Ju.S. (2018) About the parametric (Performance Based) model of rationing and the requirements of GOST 27751-2014 "Reliability of building structures and foundations. Basic provisions", *BST: B'ulleten' stroitel'noj tehniki*, (2), pp. 36-38 (in Russian).
6. Eremenko, D.B. (2015) Technical regulations as a source of objective requirements for the materials used (in the order of discussion), *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, (11), pp. 57-62 (in Russian).
7. Lebedeva, I.V. (2022) Problems of rationing the reliability of building structures and expert activity in the field of international standardization, *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, (2), pp. 39-46 (in Russian).
8. Ershov, G.A, Semerikov, V.N., Semerikov, N.V. & Taras'ev, Ju.I. (2023) Regulatory support of terminology in the field of reliability. is GOST 27751-2014 good or bad, *Standarty i kachestvo*, (2), pp. 37-41 (in Russian).
9. Shalimov, V.N., Cybenko, A.V. & Goglev, I.N. (2022) Investigation of the consumption of injection formulations in maintainable waterproofing systems of foundations, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 29-44. DOI: https://doi.org/10.52957/27821919_2022_2_29 [online]. Available at: <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2F3MH%2FtYvYFPs3TLkcfuDBrTNxOqDGa0660tQNFo0DBI4DGv5CTw6Sa-4ZVuFHDjcNkq>



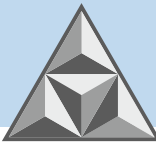
[%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D&name=V3N2_2022.pdf \(in Russian\).](#)

10. **Cybenko, A.V.** (2022) Multiaxial stretching of polymer roll waterproofing material. determination of tensile strength, *Fundamenty*, 3(9), pp. 55-57 (in Russian).
11. **Rumjanceva, V.E., Goglev, I.N. & Loginova, S.A.** (2019) Application of field and laboratory methods for the determination of carbonation, chloride and sulfate corrosion in the examination of building structures of buildings and structures, *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'*, 15(67), pp. 51-58 (in Russian).
12. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Loginova, S.A. & Goglev, I.N.** (2021) Detection of sulfate and chloride corrosion of concrete at the field and laboratory stages of inspection of building structures of buildings and structures, *BST: Bjuliten' stroitel'noj tehniki*, 10(1046), pp. 29-31 (in Russian).
13. **Loginova, S.A. & Goglev, I.N.** (2022) Indikatornye sposoby opredelenija dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij pri ih obsledovanii, *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'*, (8), pp. 119-126 (in Russian).
14. **Klavsjuk, A.L., Nikonorova, E.A., Saleckij, A.M. & Slepkov, A.I.** (2014) *Laboratory workshop on mechanics. Part 1.* M.: OOP Fiz. fak-ta MGU (in Russian).
15. **Kabardina, S.I. & Shefer, N.I.** (2005) *Measurements of physical quantities.* M.: BINOM "Laboratoriya znaniy" (in Russian).
16. **Kravchenko, N.S. & Gavrilina, N.I.** (2012) *Determination of the coefficient of sliding friction force.* Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta (in Russian).
17. **Simbirkin, V.N. & Panasenko, Ju.V.** (2019) Taking into account the instructions of SP 14.13330.2018 when implementing the calculation of structures for seismic impacts in the STARK ES software package, *Vestnik NIC Stroitel'stvo*, 2(21), pp. 103-113 (in Russian).
18. **Sokolov, N.S.** (2018) Long-term studies of the processes of deformation of the foundations of foundations under increased loads, *Zhilishhnoe stroitel'stvo*, 5, pp. 3-8 (in Russian).
19. **Dzhinchelashvili, G.A.** (2015) *Determination of the coefficient of friction at the material level of the rolled polymer waterproofing LOGICROOFT-SL. Scientific and technical report.* Moskva (in Russian).

Received 04.02.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 23.03.2023



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_48

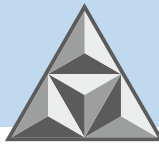
The effect of spropel additives on the properties of cement concrete for road construction

V.M. Dudin

Vladimir M. Dudin

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

dudinvm@ystu.ru



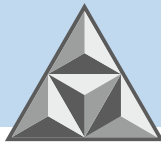
In order to improve the quality of roads it is advisable to build foundations and pavements of cement concrete. It requires a considerable amount of cement-concrete mixtures and, consequently, cement. One way to increase the production volume of cement-concrete mixtures and cement is to use inert additives. The choice of inert additives can reduce the cost of cement and cement-concrete mixtures without compromising the properties of the cement concrete. In particular, sapropel can serve as an additive. The article proposes to conduct scientific research and obtain recommendations for the use of sapropel in the production of cement-concrete mixtures for road construction.

Key words: automobile road, cement concrete, inert additive, sapropel

For citation:

Dudin, V.M. (2023) The effect of sapropel additives on the properties of cement concrete for road construction, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 48-56 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_48



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 693.78

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_48

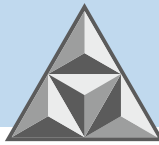
Влияние добавки сапропеля на свойства цементобетона для дорожного строительства

В.М. Дудин

Владимир Михайлович Дудин

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

dudinvm@ystu.ru



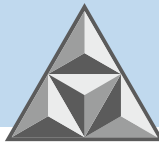
Для повышения качества автомобильных дорог целесообразно строительство оснований и покрытий из цементобетона. Для этого требуется значительное количество цементобетонных смесей и, соответственно, цемента. Одним из способов увеличения объемов производства цементобетонных смесей и цемента является применение инертных добавок. Выбор инертных добавок может снизить стоимость цемента и цементобетонных смесей без ухудшения свойств цементобетона. Такой добавкой, в частности, может служить сапропель. Предлагается проведение научных исследований и получение рекомендаций по использованию сапропеля в производстве цементобетонных смесей для дорожного строительства.

Ключевые слова: автомобильная дорога, цементобетон, инертная добавка, сапропель

Для цитирования:

Дудин В.М. Влияние добавки из сапропеля на свойства цементобетона для дорожного строительства // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 48-56. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_48



INTRODUCTION

Road construction and reconstruction work is actively conducted in Russia. New GOSTs have been adopted for quality construction, which should ensure the inter-repair normative terms for overhaul and repair of roads of technical categories I-IV not less than 24 years and 10 years, respectively (Russian Government Resolution No. 658 of 30.05.2017, Annex 4). For this purpose different repair and overhaul technologies can be applied: injection method, hot and cold regeneration, surface treatment, etc. The use of grouted concrete foundations and pavements is one of the most feasible solutions for the construction and reconstruction of highways, which ensures an increase in the time between repairs, structural quality, and durability [1].

Increasing the production volumes of cement-concrete mixtures for road construction will require an increase of cement demand. Cement is the most expensive component in the production of mixtures. To reduce its cost it is possible to use mineral additives (GOST 30515-2013), which can be active (AMA) and inert (IMA). The use of active additives can reduce cement consumption when preparing cement concrete mixture and change its properties (curing time, compressive strength). The use of inert additives also reduces the consumption of cement, but does not affect the strength of the cement concrete product. Curing times tend to increase in this case.

A difference is made between manufactured mineral additives (crushed slag, fly ash, micro-silica, burnt slate) and natural mineral additives (ash, tuff, volcanic slag, zeolite).

A number of researchers suggest using sapropel, clayey rocks, and fly ash as raw materials for the production of IMAs [2-5].

The formation of sapropel sediments takes place over a long period of time and is characterized by a number of catchment-specific features. High-ash clay and sandy sapropels are formed in water bodies characterizing by a low proportion of dissolved nutrients in water, which determines the absence of favorable conditions for the deposition of organic compounds on the bottom (characteristic for deep water bodies).

Algal-clay and algal-lime sapropels are usually formed in nutrient-rich bodies of water in the presence of benthic plants, which, dying off, create conditions for the formation of these sapropels. The same types of sapropels may form in well-warmed basins, rich with bottom vegetation and plankton. Algae-lime sapropels are formed in the presence of similar conditions and feeding by carbonate waters.

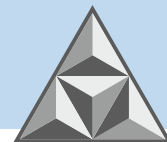
The sapropel sediments include both organic and mineral part. The organic part is formed by the flora and fauna of the water bodies and the mineral part by surface runoff from the watershed area. In addition, the accumulation of mineral matter occurs as a result of the life activity of aquatic organisms. Thus, sapropel, along with organic matter, is enriched with calcium, phosphorus, iron, trace elements and physiologically active substances as a result of physical, chemical, and biological processes.

According to GOST 25100-2020 (Soils, classification. - Moscow: Standartinform, 2020. 41 p.), «sapropel is an organomineral or organic sediment of freshwater stagnant water bodies (or buried sediment) with more than 10% mass of organic matter, of flowing or liquid consistency».

Studying the possibility of using sapropel for road construction is an urgent task for the Yaroslavl region, as there is a unique Lake Nero in the region, with sapropel reserves of over 250 million m³.

According to the content and composition of organic and mineral matter, the lake sapropel deposits are divided into four types: clayey, algal-iron, algal-limestone, and calcareous.

It is possible to use low organic content sapropels - clayey, algal-limestone and calcareous - for the production of IMA from Lake Nero sapropel.



EXPERIMENTAL PART

Considering the fact that not all the sapropels of Lake Nero are suitable for use in agriculture as fertilisers or soil ameliorants, it is advisable to conduct further research to expand the areas of its application.

Road construction can be one of the important directions of sapropel application. Taking into account the studies on the use of sapropel in the production of cement-concrete mixtures in the Omsk region [7, 8], we decided to conduct research on the use of sapropel from Lake Nero in the Yaroslavl region for the production of cement-concrete mixtures and cement-sand mortars.

Samples were made using activated sapropel during testing. Activation of sapropel was conducted by roasting in laboratory furnace SNOL 1.6.2.5.1/11-M1 with subsequent grinding and sifting through sieves with square cells. The cement-concrete mixture was designed according to the methodical recommendations of Rosavtodor (Methodical recommendations on the selection of cement-concrete compositions for road construction in different climatic zones and taking into account the operating conditions of road surfaces / FDA Rosavtodor. – M., 2017. 81 p.).

The research was conducted at the road laboratory of Yaroslavl State Technical University. Limestone sapropel of Nero Lake, Yaroslavl region was used as a solid material. The compressive strength of 10x10x10 cm samples was determined after moulding and curing for 28 days. Table 1 (for cement concrete specimens) and Table 2 (for cement-sand mixture specimens) present the test results.

Table 1. Results of laboratory tests to determine the strength of ready-mixed concrete samples

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний по определению прочности образцов из товарного бетона

Sample number	Mineral content of sapropel in binder, %	Compressive strength, kg/cm ²	Average compressive strength, kg·cm ⁻²	Ratio of compressive strength for test samples to control samples
1.1	2.5	170	161	1.40
1.2	2.5	152		
2.1	5.0	167	167	1.28
2.2	5.0	167		
3.1	10.0	135	143	1.10
3.2	10.0	151		
4.1	15.0	130	132	1.01
4.2	15.0	134		
5.1	20.0	124	124	0.95
5.2	20.0	123		
6.1	Monitoring without sapropel	124	130	-
6.2		136		

Table 2. The results of laboratory studies to determine the strength of samples from commercial cement-sand mortar

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований по определению прочности образцов из товарного цементно-песчаного раствора

Sample number	Mineral content of sapropel in binder, %	Compressive strength, kg/cm ²	Average compressive strength, kg·cm ⁻²	Ratio of compressive strength for test samples to control samples
1.1	2.5	25	31.7	0.54
1.2	2.5	15		
1.3	2.5	55		
2.1	5.0	85	65.0	1.11
2.2	5.0	25		
2.3	5.0	85		
3.1	10.0	105	98.3	1.68



Sample number	Mineral content of sapropel in binder, %	Compressive strength, kg/cm ²	Average compressive strength, kg·cm ⁻²	Ratio of compressive strength for test samples to control samples
3.2	10.0	100		
3.3	10.0	90		
4.1	15.0	100		
4.2	15.0	65	85.0	1.45
4.3	15.0	90		
5.1	Monitoring without sapropel	75	58.3	-
5.2		50		
5.3		50		

After the tests, the strength properties of samples made of cement-concrete mixtures and cement-sand mortars were compared.

RESULTS AND DISCUSSION

The data obtained by laboratory studies show an increase in the strength characteristics of samples made from experimental cement concrete mixtures and cement-sand mortars. The analysis of the results of investigations to determine the strength of experimental samples showed that the addition to cement-concrete mixtures IMA from sapropel Lake Nero increases the strength of cement-concrete. The most rational amount of sapropel IMA was 5%. The strength of the samples compared to the control samples is increased by up to 28% with this amount of IMA. The use of sapropel IMA for the production of commercial cement-sand mortar also leads to an increase in the strength of the samples. The rationally chosen quantity of IMA is 10%. The strength of the control samples increased by 68% (compared to the control samples without IMA) with the specified amount of IMA. According to the colloid-chemical hypothesis, the hardening of Portland cement is due to the formation of a gel-like component of calcium hydrosilicates, which occurs due to the addition of water to the original substance without its dissolution. The gel-like constituent glues the binder and aggregate particles together. The hydration of the underlying layers of the cement grains takes place over time and by sucking the water out of the gel, it causes the gel to harden and consolidate [9].

The increased strength can be explained by the accelerated hydration of the three-calcium silicate (alite) of the cement when limestone sapropel ash from Lake Nero is added to the cement in the early period of hardening (up to 3 months) [10].

CONCLUSIONS

The construction of cement-concrete foundations and pavements is directly related to cement requirements. Indeed, it is important to find a profitable cement-concrete composition without loss of quality. The solution is achieved by using inert mineral additives based on calcareous sapropel ash from freshwater reservoirs.

Sapropel reserves in Russia exceed 5 billion tonnes. The use of high ash sapropel deposits in construction will not only reduce the cost of cement concrete mixes, but also protect water bodies of bottom sediments and restore their ecological balance. As sapropel always has a different chemical composition, separate tests are required for each of their deposits.

REFERENCES

1. **Popova, E.S.** (2015) Improving the quality of the road surface through the use of cement concrete, *Sovremennye tendencii tekhnicheskikh nauk: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii.*



- Kazan, pp. 76-79 (in Russian).
2. **Karsakov, N.V. & Dudin, V.M.** (2021) Application of lean cement concrete for road construction, *Semdesyat chetvertaya vsrossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya studentov. magistrantov I aspirantov vysshikh uchebnykh zavedeniy s mezhdunarodnym uchastiyem 21 aprelya 2021 g.*. Yaroslavl: sb. materialov konf. V. 2 ch. Ch. 2. Yaroslavl: Izd-vo YaGTU, pp. 398-402. 1 CD-ROM. Tekst: elektronnyj (in Russian).
 3. **Lebedev, M.S. Zhernovsky, I.V., Fomina, E.V. & Fomin, A.E.** (2015) Features of the use of clay rocks in the production of building materials, *Stroitel'nye materialy*, (9), pp. 67-71 (in Russian).
 4. **Urhanova, L.A. & Rozina, V.E.** (2011) High-strength concrete with the use of fly ash and microsilicemia, *Vestnik IrGTU. Stroitel'stvo i arhitektura*, (10), pp. 97-100 (in Russian).
 5. **Omirtaev, B.O.** (2020) Analytical review of the use of CHP ash in the production of concrete, *Molodoj uchyony*, (13), pp. 25-28 (in Russian).
 6. **Klimovitsky, M.L. Mayorov, I.M, Khokhlov, B.N., Malyshkov, L.S. & Dudin, V.M.** (1999) *Sapropel of Lake Nero - a unique source of wealth of the land of Yaroslavl*. Yaroslavl': Verhne-Volzhskiy regional'nyj centr RAEN (in Russian).
 7. **Khomich, V.A. & Danilina, E.V.** (2013) Sapropel's ashes as additives to Portland cement, *Vestnik YUURGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 13 (1), pp. 41-44 (in Russian).
 8. **Stafeeva, Z.V., Argynbayev, T.M. & Belogub, E.V.** (2013) Rational use of natural resources with deep processing of enrichment products, *Perspektivy razvitiya stroitel'nogo materialovedeniya: sb. statej Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Chelyabinsk: Izd-vo «Pirs», pp. 43-49 (in Russian).
 9. **Kuzmenkov, M.I. & Kunitskaya, T.S.** (2003) *Binders and technology of production of products based on them*. Minsk: BGTU (in Russian).
 10. **Khomich, V.A. & Krivonos, O.A.** (2015) Sapropel modifiers of cement binder, *Vestnik SibADI*, 5(45), pp. 99-105 (in Russian).

Received 11.01.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 20.03.2023

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Попова Е.С.** Повышение качества дорожного покрытия путём применения цементобетона // *Современные тенденции технических наук: Мат. IV Межд. науч.-техн. конф.* Казань, 2015. С. 76-79.
2. **Карсаков Н.В., Дудин В.М.** Применение «тощего» цементобетона в дорожном строительстве // *Семьдесят четвертая всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высш. учеб. завед. с междунар. участием 21 апреля 2021 г.*, Ярославль: сб. мат. конф. V. 2 ч. Ч. 2. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2021. С. 398-402. 1 CD-ROM. Текст: электронный.
3. **Лебедев М.С., Жерновский И.В., Фомина Е.В., Фомин А.Е.** Особенности использования глинистых пород при производстве строительных материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 9. 67-71 с.
4. **Урханова Л.А., Розина В.Е.** Высокопрочный бетон с использованием золы уноса и микрокремнезема // *Вестник ИрГТУ. Строительство и архитектура*. № 10. 2011. С. 97-100.
5. **Омиртаев Б.О.** Аналитический обзор применения золы ТЭЦ в производстве бетона // *Молодой ученый*. 2020. № 13. С. 25-28.
6. **Климовицкий М.Л., Майоров И.М., Хохлов Б.Н., Малышков Л.С., Дудин В.М.** Сапропель озера Неро – уникальный источник богатства земли Ярославской. Ярославль: Верхне-Волжский региональный центр РАЕН, 1999. 84 с.
7. **Хомич В.А., Данилина Е.В.** Золы сапропеля как добавки к портландцементу // *Вестник ЮУРГУ*.



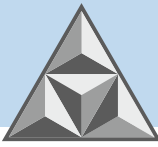
Сер. «Строительство и архитектура». 2013. Т. 13, № 1. С. 41-44.

8. **Стафеева З.В., Аргынбаев Т.М., Белогуб Е.В.** Рациональное использование природных ресурсов с глубокой переработкой продуктов обогащения // *Перспективы развития строительного материаловедения: сб. ст. Межд. науч.-техн. конф.* Челябинск: Изд-во «Пирс», 2013. С. 43-49.
9. **Кузьменков М.И., Куницкая Т.С.** Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе. Минск: БГТУ, 2003. 224 с.
10. **Хомич В.А., Кривонос О.А.** Сапропелевые модификаторы цементного вяжущего // *Вестник СибАДИ.* 2015. Вып. 5(45). С. 99-105.

Поступила в редакцию 11.01.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 20.03.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.003:69.032.4

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_57

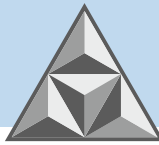
Практическое применение методики расчета комфортности малоэтажной жилой застройки

Л.А. Опарина

Людмила Анатольевна Опарина

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

L.A.Oparina@gmail.com



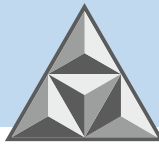
К современному жилью потребителями предъявляются высокие требования, на первом месте – по комфортности. Комфортность – понятие, объединяющее множество факторов объективного и субъективного характера, в широком смысле – состояние удовлетворения человека, обеспеченное совокупностью положительных психологических и физиологических ощущений от пространственной среды. Одним из важных условий комфортности является автоматизация управления инженерными системами зданий и помещений, освещением, безопасностью, микроклиматом, то есть наличие системы «умный дом». Организация «умного дома» является частным критерием комфортности. Показатель «ума дома» целесообразно отнести к критерию комфортности, наряду с другими критериями. Существующие в настоящее время методики расчета комфортности зданий не учитывают наличие данной системы. Представлены результаты практического применения методики расчёта комфортности на примере малоэтажной жилой застройки. Новизной является предложение включения показателя автоматизации управления зданием в методику определения комфортности.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, комфортность, «умный дом»

Для цитирования:

Опарина Л.А. Практическое применение методики расчета комфортности малоэтажной жилой застройки // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 57-67. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_57



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_57

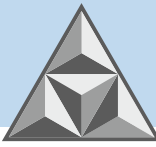
Practical application of the methodology for structural analysis of low-rise residential buildings predicted mean vote

Lyudmila A. Oparina

Lyudmila A. Oparina

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

L.A.Oparina@gmail.com



Consumers have quite high requirements for modern housing. At the first place is the requirement for comfort. Comfort is a concept combining many factors of objective and subjective nature. General, it is a state of human satisfaction provided by a set of positive psychological and physiological sensations from the spatial environment. One important prerequisite for comfort is the automation of building and room systems, lighting, security, and climate control, i.e. the "smart home" system. The smart home structure is a private comfort criterion. It is appropriate to classify the "intelligence of the home" indicator as a criterion of comfort, along with the other criteria. Current methods for analysing of buildings comfort do not consider this system. The paper presents the results of the practical application of the methodology for structural analysis of low-rise residential buildings predicted mean vote. A novelty is the proposal to include an indicator for building automation in the comfort assessment methodology.

Key words: low-rise construction, comfort, "smart home"

For citation:

Oparina, L.A. (2023) Practical application of the methodology for calculating the comfort of low-rise residential buildings, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 57-67 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_57



ВВЕДЕНИЕ

К современному жилью предъявляется множество требований, которые можно объединить ёмким словом «комфортность». Понятие «комфортность» – довольно широкое, имеет ряд объективных и субъективных характеристик. В целом можно сказать, что комфортность – это состояние удовлетворения человека, обеспеченное совокупностью положительных психологических и физиологических ощущений от пространственной среды. Уровень комфортности влияет на потребительские характеристики как отдельных зданий, так и всей жилой застройки в целом, и от того, насколько точно произведена его оценка, зависят спрос на те или иные объекты, предложения рынка, проектные и эксплуатационные характеристики, а также уровень и тренды развития среды жизнедеятельности в целом. Поэтому методические вопросы оценки уровня комфортности жилья остаются актуальными.

Проблема оценки объектов жилой застройки по уровню комфортности обусловлена сложностью самого понятия, которое необходимо рассматривать как объект гражданских прав и как объект материального мира, а также неоднозначностью определения степени комфортности жилой застройки как сравнительной характеристики уюта, удобства и удовлетворения, определяемой совокупностью положительных психологических и физиологических ощущений человека в конкретной окружающей среде.

Комфортность в современном понимании – также система автоматического регулирования инженерными системами здания; в целом такое управление и представляет систему «умный дом». На современном этапе развития человечества, в эпоху тотальной компьютеризации концепт «дом» («HOUSE/HOME») трансформируется в «умный дом» («SMART HOUSE/SMART HOME»). Сегодня концепт «SMART HOUSE/SMART HOME» звучит актуально, т.к. включает не только знание о доме, но и о техническом комплексе, который управляется единым центром и обеспечивает комфорт и безопасность живущих в нем людей [1]. «Умным» можно назвать любое здание, оснащенное компьютерной и коммуникационной техникой, которое может автоматически реагировать на внутренние или внешние раздражители. Результатом является автоматизированная и предусмотрительная деятельность, позволяющая снизить эксплуатационные расходы и повысить комфорт. Способы реализации «умного» здания являются строительство с низким энергопотреблением, устройство пассивного здания или здания с высокой экономией [2].

Понятия «комфорт» и «умное здание» в различных источниках часто фигурируют вместе. В ряде зарубежных и отечественных исследовательских работ предлагается системный подход к реализации модели системы «умного дома», которая может управлять всем электрическим оборудованием, а также контролировать использование каждого устройства, используемого в «умном доме». Система будет использовать сочетание технологий искусственного интеллекта и Интернета вещей. Эта система призвана обеспечивать комфорт в повседневной жизни. Система не только оптимизирует использование энергии, но и поддерживает появление оборудования, которое входит в полный пакет «умного дома» [3-6].

Тематика комфортности жилой застройки рассматривается как наиболее значимая в реализации концепции «умный дом», что связывается с социально-экономической ролью жилья. Жилище входит в число главных потребностей человека, и его оценка, с точки зрения уровня комфорта, должна иметь адекватную методическую основу. В настоящее время особое внимание необходимо уделять методическим проблемам оценки и присвоения класса объектам малоэтажной жилой застройки по степени комфортности. Малоэтажный многоквартирный комплекс – жилой массив, возведенный на отдельной территории, где



высота зданий не превышает 3-5 (в отдельных случаях 6-7) этажей. Малоэтажному жилому строительству в настоящее время уделяется большое внимание, такой тип жилой застройки сложился под влиянием историко-культурных факторов и является актуальным в силу ментальных, географических и экономико-политических особенностей нашей страны.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки уровня комфортности существует достаточно много методик и рейтинговых показателей, постоянно совершенствующихся в силу эволюционного развития науки, появления новых технологий и знаний. Общие положения и принципы оценки комфортности изложены в СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011. Они базируются на принципе устойчивого развития общества, включающего три аспекта человеческой деятельности: социально-культурный, энерго-экологический и экономический. Данный документ устанавливает базовые категории с указанием их критериев, максимально возможных значений баллов оценки по каждому из них, а также доли значимости каждой категории в интегральной оценке устойчивости среды обитания. Максимальный оценочный балл равен 650, доля категорий – 100%. Рейтинговая система оценивает устойчивость среды обитания по 46 критериям, которые сгруппированы в 10 категорий. Каждый из критериев выражается одним или группой индикаторов. Индикаторы имеют числовое определение в виде параметра, параметрального ряда или параметральной характеристики, которым отвечает балльный эквивалент оценки. Оценка критерия осуществляется по балльному эквиваленту характеризующего индикатора. Критерии оценки комфортности малоэтажной жилой застройки, с учетом европейских требований к качеству, представлены в [7]. В различных исследованиях можно ознакомиться с факторами, формирующими понятие комфортности и их оценочными критериями. Например, жителям модельной территории Москвы более важны социальные факторы с общим весом 65.5% (транспортная доступность с весом 39.1% и доступность объектов инфраструктуры с весом 26.4%), чем экологические факторы с общим весом 34.5% (акустическое загрязнение с весом 11.7%, доступность и качество зеленых зон с весом 11.5%, загрязнение окружающей среды с весом 8.9%, неблагоприятные геоморфологические процессы с весом 2.4%) [8].

Таким образом, можно выделить, что понятие «комфортности» неразрывно связано с множеством факторов; одним из таких факторов является микроклимат. Параметрами микроклимата являются тепловой комфорт, состав воздуха внутри помещений, кратность воздухообмена и другие характеристики [9, 10]. Также одним из важнейших параметров комфортного микроклимата является акустический комфорт [11]. Не менее важны внешние факторы – инфраструктурная и транспортная доступность, объемно-планировочные решения. С одной стороны, различные методики расчета комфортности не предусматривают наличие системы «умный дом», с другой стороны – система «умного дома» является частным критерием комфортности. Таким образом, показатель автоматизации управления зданием целесообразно отнести к критерию комфортности, наряду с другими критериями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на вышеизложенном, автором настоящей работы предлагается система частных показателей оценки комфортности, сформированных на основе СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011, СП 42.13330.2011 и СП 30-102-99. Данная методика и ее практическое



применение на основе одного из рассматриваемых проектов представлены в таблице 1. Рассматриваемый проект дома называется «Комфортный». Площадь дома – 165 м². Место строительства – г. Ярославль. Характеристики дома указаны в таблице 2.

Таблица 1. Оценки степени комфортности проекта дома «Комфортный»

Table 1. Assessment of the "Comfortable house" project comfort level

№ п/п	Критерий	Индикатор	- (0)	+	Баллы
1.	Расположение здания и окружение	Расположенность вблизи кладбищ; мусорных свалок; хосписов; домов престарелых; тюрем; «трущоб»; старого аварийного и ветхого жилищного фонда, с неоднородным социальным окружением; вблизи промышленных предприятий и пр.	-	Нет	1.0
		Расположенность в районах с развитой социальной инфраструктурой и зонами отдыха.	-	Да	1.0
2.	Радиусы пешеходной доступности объектов обслуживания	Наличие предприятия торгово-бытового обслуживания повседневного пользования (в радиусе до 800 м)	Нет	-	1.0
		Наличие отделения связи и банковских услуг, опорный пункт охраны порядка (в радиусе до 800 м)	Нет	-	1.0
		Наличие аптеки (в радиусе до 800 м)	Нет	-	1.0
		Наличие объектов амбулаторно-поликлинические учреждения (в радиусе до 1000 м)	Нет	-	1.0
		Наличие дошкольных учреждений (в радиусе до 500 м)	Нет	-	1.0
		Наличие общеобразовательных школ (в радиусе до 750 м)	Нет	-	1.0
		Наличие помещений для физкультурно-оздоровительных и досуговых занятий (в радиусе до 800 м)	Нет	-	1.0
		Расположенность центра административного самоуправления (в радиусе до 1200 м)	Нет	-	1.0
3.	Комфортность объемно-планировочных и конструктивных решений	Высота помещений составляет не менее 2,5 м	-	Да	1.0
		Коэффициент соотношения ширины и глубины 60% помещений в здании	-	Да	1.0
4.	Озелененность территории	Отношение площади озелененной придомовой территории к общей площади придомовой территории более 15%	-	Да	1.0
5.	Комфортность от степени автоматизации управления зданием (необходимо выбрать один из показателей)	Высокоэффективные автоматические системы управления зданием «А»	-	-	1.0
		Системы управления зданием с повышенной эффективностью «В»	-	-	0.6
		Стандартные системы автоматического управления зданием «С»	-	-	0.3
		Автоматическое управление отоплением отсутствует «Д»	-	Да	0



№ п/п	Критерий	Индикатор	- (0)	+	Баллы
6.	Дальность пешеходного подхода до остановки общественного транспорта, м (необходимо выбрать один из показателей)	До 200	-	-	1.0
		От 200 до 300	-	-	0.6
		От 300 до 500	-	-	0.3
		Более 500	Да	-	0
7.	Качество архитектурного облика здания. Метод экспертной оценки гармонии здания с внешней застройкой, соответствия функциональному назначению, оригинальности, эстетичности, идеальности цветовых решений. (необходимо выбрать один из показателей)	Высшая	-	-	1.0
		Отличная	-	Да	0.6
		Хорошая	-	-	0.3
8.	Применение альтернативной и возобновляемой энергии	Использование вторичных энергоресурсов	Нет	-	1.0
		Использование возобновляемых энергоресурсов	Нет	-	1.0
Итого:					5.6

Приведённый в п. 5 критерий, оценивающий степень автоматизации управления зданием, подразумевает следующее:

- класс А (от 75 до 100%) – Высокая автоматизированная системы управления зданием;
- класс В (от 50 до 75%) – Системы управления зданием с повышенной автоматизацией;
- класс С (от 25 до 50%) – Стандартные системы автоматизации управления зданием;
- класс Д (до 25%) – Системы управления зданием с пониженной автоматизацией.

В соответствии с предложенными показателями, определена сумма баллов и проект дома может быть отнесён к одному из предлагаемых классов комфортности малоэтажной жилой застройки:

- Элитный (более 13.5 баллов);
- Бизнес (9.0–13.5 баллов);
- Комфортный (4.5–9.0 баллов);
- Стандарт (менее 4.5 баллов).

Названия классов комфортности соотнесены с классами проектируемого жилья, указанными в «Единой методике классифицирования жилых новостроек по потребительскому качеству (классу)», утвержденной в 2012 г. решением Национального совета Российской гильдии риэлторов в качестве стандарта Российской гильдии риэлторов [11]. Согласно данной методике, новостройки подразделяются на четыре класса жилья – стандарт, комфорт, бизнес и элитный. Признаки, по которым оцениваются проекты жилья, подразделяются по региону застройки, архитектуре и благоустройству дворов, объемно-планировочным и инженерным характеристикам квартир.

**Таблица 2.** Оценки степени комфортности проекта дома «Комфортный»**Table 2.** Assessment of the "Comfortable house" project comfort level

№ п/п	Характеристика	Описание
1.	Тип фундамента	Монолитная железобетонная плита
2.	Тип наружных стен	Газобетонные блоки толщиной 375 мм, плотностью D400, облицовочный кирпич
3.	Тип внутренних стен	Двойной норский кирпич
4.	Тип перекрытий	Монолитные железобетонные – над 1-м этажом, по деревянным балкам – над 2-м этажом
5.	Крыша	Чердачная стропильная конструкция
6.	Тип кровли	Металлочерепица
7.	Количество этажей	2 + чердачное помещение 20 м ²
8.	Верхний этаж	Полумансардный
9.	Утеплитель	Минеральная вата 200 мм
10.	Отделочные работы	Укладка плитки в санузлах. Подготовка стен под покраску или обои. Окраска стен (поклейка обоев). Устройство пола 1-го этажа включает: утепление (100 мм), пароизоляция, чистовой пол под ламинат, плинтусы. Пол 2-го этажа: выравнивание пола (наливной пол 20-30 мм) под ламинат. Устройство потолков включает: обшивка гипсокартонном, шпаклевка, покраска, либо устройство натяжных потолков.
11.	Коммуникации	Отопление: электрический котел – Proterm. 1-й этаж – 100% покрытие, теплый пол. 2-й этаж – алюминиевые радиаторы, разводка труб, опрессовка, пуско-наладка. Электричество (розетки и выключатели, слаботочка). Устройство вывода канализации. Устройство водопровода.
12.	Примечание	В отделку не включены смесители, межкомнатные двери, сантехника и светильники.

Такой подход, по мнению автора настоящей работы, облегчит потребителям выбор проекта по привычным критериям.

ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика расчета комфортности малоэтажной жилой застройки с учетом показателя «ума» позволяет участникам рынка недвижимости более четко ориентироваться в условиях современного и прогрессивного строительства. Методику также можно использовать в качестве эффективного инструмента оценки недвижимости.

Определение класса комфортности жилья обусловлено влиянием изменяющихся факторов внешней среды и технологий. Тема является открытой для обсуждения, а дальнейшие направления ее развития должны формироваться в области создания программных комплексов для автоматизации методик, размещения на цифровых сервисах и использования девелоперами, проектировщиками, застройщиками для совершенствования деятельности и формирования устойчивой комфортной среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Апраксина О.Н.** Контент-анализ концепта «Умный дом» («SMART HOUSE»/«SMART HOME») на основе национального корпуса современного американского языка (COCA) // *Мир науки, культуры, образования*. 2019. № 6 (79). С. 390-393.
2. **Zacek M., Janosek M.** SBOnto: Ontology of smart building // *Far East Journal of Electronics*



and Communications. 2017. Vol. 17, no. 5, pp. 1101-1109.

3. **Kaur H., Singh S.P., Bhatnagar S., Solanki A.** Intelligent Smart Home Energy Efficiency Model Using Artificial Intelligence and Internet of Things // *Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues*. 2021. Vol. 8, no. 1, pp. 183-210.
4. **Samuel A.K., Mohanan V., Sempey A., Bruneau D., Mahanta, N.** A Sustainable Approach for a Climate Responsive House in UAE: Case Study of SDME 2018 BAITYKOOL Project // *Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, 2019. 9004235. P. 816-823.
5. **Bajwa M.S., Singh N., Kaur H., Aggarwal K.** Home automation – A vision for beneficial future // *International Journal of Control and Automation*. 2019. Vol. 12, no. 5, pp. 498-505.
6. **Havard N., McGrath S., Flanagan C., MacNamee C.** Smart building based on internet of things technology // *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology. ICST*. 2018. 8603575. P. 278-281.
7. **Чугунова Д.Л.** Критерии оценки комфортности районов малоэтажной жилой застройки в крупном городе // *Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные вопросы архитектуры и строительства"*. 2018. С. 74-77.
8. **Крюков В.А., Голубева Е.И.** Оценка вклада экологических и социальных факторов в комфортность проживания в Москве // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2020. № 4. С. 32-41.
9. **Федосов С.В., Зайцева И.А., Федосеев В.Н., Емелин В.А.** Потенциал окружающего воздуха и функциональные возможности тепломассообмена фреонового контура воздушного теплового насоса // *Умные композиты в строительстве*. 2022 Т. 3, № 3. С. 16-28. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022
10. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Котлов В.Г., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Мартынов И.А.** Теоретические основы и методы повышения энергоэффективных жилых и общественных зданий и зданий текстильной и лёгкой промышленности. Иваново: ПресСто, 2018. 320 с.
11. **Опарина Л.А., Баделина А.А.** Систематизация факторов, влияющих на выбор организационно-технических решений по звукоизоляции помещений при капитальном ремонте многоквартирных домов // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 1. С. 7-17. DOI: 10.52957/27821919_2022_1_7. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022
12. Единая методика классифицирования жилых новостроек по потребительскому качеству (классу). М.: Российская гильдия риэлторов, 2020. 37 с.

Поступила в редакцию 28.12.2022

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 20.03.2023

REFERENCES

1. **Oparina, L.A. & Badelina, A.A.** (2022) Systematization of factors affecting the choice of organizational and technical solutions for sound insulation of premises during major repairs of apartment buildings, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 7-17 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (in Russian).
2. **Zacek, M. & Janosek, M.** (2017) SBOnTO: Ontology of smart building, *Far East Journal of Electronics and Communications*, 17(5), pp. 1101-1109.
3. **Kaur, H., Singh, S.P., Bhatnagar, S. & Solanki, A.** (2021) Intelligent Smart Home Energy Efficiency Model Using Artificial Intelligence and Internet of Things, *Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues*, 8(1), pp. 183-210.
4. **Samuel, A.K., Mohanan, V., Sempey, A., Bruneau D., & Mahanta, N.** (2019) A Sustainable Approach



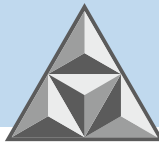
for a Climate Responsive House in UAE: Case Study of SDME 2018 BAITYKOOL Project, *Proceedings of 2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, 9004235, pp. 816-823.

5. **Bajwa, M.S., Singh, N., Kaur, H. & Aggarwal, K.** (2019) Home automation – A vision for beneficial future, *International Journal of Control and Automation*, 12(5), pp. 498-505.
6. **Havard, N., McGrath, S., Flanagan, C. & MacNamee, C.** (2018) Smart building based on internet of things technology, *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*, 8603575, pp. 278-281.
7. **Chugunova, D.L.** (2018) Criteria for assessing the comfort of low-rise residential areas in a large city, *In the collection: Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Technical Conference "Actual Issues of Architecture and Construction"*, pp. 74-77 (in Russian).
8. **Kryukov, V.A. & Golubeva, E.I.** (2020) Assessment of the contribution of environmental and social factors to the comfort of living in Moscow, *Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography*, (4), pp. 32-41 (in Russian).
9. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaytseva, I.A. & Voronov, V.A.** (2021) The hierarchy analysis method in backing expert judgments of criteria for increasing the energy efficiency of airheat pump, *Smart Composite in Construction*, 2(2), pp. 38-47. DOI:10.52957/27821919_2021_2_38 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021 (in Russian).
10. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Kotlov, V.G., Petrukhin, A.B., Oparina, L.A. & Martynov, I.A.** (2018) *Theoretical foundations and methods for improving energy-efficient residential and public buildings and buildings of the textile and light industry*. Ivanovo: PresSto (in Russian).
11. **Oparina, L.A. & Badelina, A.A.** (2022) Systematization of factors affecting the choice of organizational and technical solutions for sound insulation of premises during major repairs of apartment buildings, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 7-17. DOI: 10.52957/ 27821919 _2022 _1_7 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (in Russian).
12. *A unified methodology for classifying residential buildings by consumer quality (class)* (2020). M.: Rossiyskaya gildiya rieltorov (in Russian).

Received 28.12.2022

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 20.03.2023



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_68

Separation of oil-containing effluents of construction industry enterprises

A.V. Markelov¹, D.V. Volkov¹, E.B. Korobova²

Alexander V. Markelov

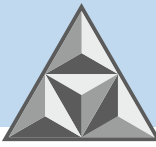
¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
aleksandr203.37@mail.ru

Danil V. Volkov

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
volkovdv@ystu.ru

Elena B. Korobova

²Limited Liability Company "Transportnaya Lisingovaya Kompaniya", Yaroslavl region, Shchedrino, Russia
lena-korobova@inbox.ru



The paper considers the influence of different input parameters on the ultrafiltration process of oily wastewater from reinforced concrete structures manufacturing plants, which are water-oil systems. Also we defined quantitative and qualitative indicators of the wastewater composition as the concentration of pollutants, particle sizes of pollutants, density, hydrogen index, specific electrical conductivity (SEC), etc. Based on this analysis, we determined the choice of material and physical characteristics of the membranes, the development of technological processes for the treatment of oily wastewater for specific production conditions. The study contains data on quantitative and chemical analysis of oily wastewater; an experimental installation for separation into components of water-oil systems; the effect of operating pressure, medium temperature, and flow velocity on the ultrafiltration process kinetics; experimental studies on separation of oily wastewater.

Key words: oily waste water, ultrafiltration, ceramic membranes

For citation:

Markelov, A.V., Volkov, D.V. & Korobova, E.B. (2023) Separation of oil-containing effluents of construction industry enterprises, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 68-80 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_68



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 66.066.3

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_68

Разделение нефтесодержащих стоков предприятий строительной отрасли

А.В. Маркелов¹, Д.В. Волков¹, Е.Б. Коробова²

Александр Владимирович Маркелов

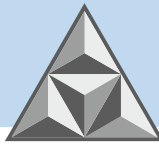
¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация
aleksandr203.37@mail.ru

Данил Владимирович Волков

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация
volkovdv@ystu.ru

Елена Борисовна Коробова

²Общество с ограниченной ответственностью «Транспортная лизинговая компания», Ярославская область, пос. Щедрино, Российская Федерация
lena-korobova@inbox.ru



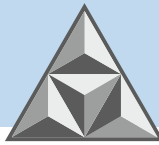
Исследовано влияние различных входных параметров на процесс ультрафильтрации нефтесодержащих сточных вод предприятий по производству железобетонных конструкций, представляющих собой водомасляные системы. Определены концентрация загрязняющих веществ в нефтесодержащих сточных водах, размеры частиц загрязнений, плотность, водородный показатель, удельная электрическая проводимость (УЭП). На основе проведенного анализа получены аргументированные ответы на вопросы, связанные с выбором материала и физических характеристик мембран, разработке технологических процессов по очистке нефтесодержащих сточных вод для конкретных производственных условий. Создана экспериментальная установка по разделению на компоненты водомасляных систем, позволяющая оценить влияние рабочего давления, температуры среды и скорости потока на кинетику процесса ультрафильтрации.

Ключевые слова: нефтесодержащие сточные воды, ультрафильтрация, керамические мембраны

Для цитирования:

Маркелов А.В., Волков Д.В. Разделение нефтесодержащих стоков предприятий строительной отрасли // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 68-80. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_68



INTRODUCTION

The construction industry, which consumes a huge amount of water resources, effluents of various compositions and with different physico-chemical properties are formed [1-4].

The reuse of wastewater in the water recycling system reduces discharges into water bodies. According to the principle of permissible use in recycling water supply wastewater is divided into groups A and B [1-4].

Group A includes wastewater can be used in the general water recycling system, i.e. contaminated only with easily oxidised substances[1-4] – after cooling of surface refrigerators and condensers, glands of pumps and other units of various machines, condensates from steam injectors, water steam distillation, settling water of distillate products, etc. Water of this type can be discharged to the sewerage system of technological units through local settling tanks. These waters may also include rainwater, water from flushing of floors, technological and construction sites. Water of this type must be routed to the recycling water system via settling tanks.

Group B is wastewater which cannot be diverted into the general water recycling system. These waters are polluted with non-volatile salts, acids, alkalis, and oil products (OP), as well as organic substances with increased solubility in water or resistance to oxidation by air oxygen. Wastewaters of this group are divided into four types according to the composition of pollutants and the nature of their effect on water bodies and aquatic organisms [1- 4].

Petroleum products are the most hazardous substances of anthropogenic origin. The operation of construction, road and motor-tractor machinery, enterprises producing reinforced concrete structures and sand-lime bricks, machine-building industry, petrol stations, as well as accidents at oil storages and refineries, pipelines lead to pollution of water resources and create a serious ecological threat to any region [6-12].

Wastewater may contain gasoline, kerosene, fuel and lubricating oils, benzene, toluene, xylenes, fatty acids, phenols, glycerides, steroids, pesticides, and organometallic compounds [6-12], which is about 90% of the total amount of all organic impurities.

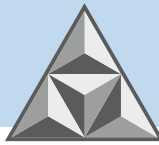
Wastewater is divided into low-concentrated and concentrated wastewater in terms of petroleum products concentration. Low-concentrated wastewater is produced when metal products are washed after heat treatment and canning. At many enterprises concentrated oil-containing wastewater is diluted with a large amount of conditionally clean water and becomes low-concentrated. The content of oil in them varies from 10 to 500 mg·dm⁻³ [1, 13, 14].

Oil-contaminated wastewater mainly contains used cleaning solutions and used cutting fluids (coolants). They are oil-in-water emulsions consisting of industrial oils, asidol, ethylene glycol, sodium nitrite, etc. [1, 6-14]. Indeed, coolants contain various stabilisers as well as a large number of additives (anticorrosive, antibacterial, extreme pressure, etc.) [13, 14].

The main reasons for changing coolants are the presence of large amounts of suspended solids (metal dust, abrasive particles), loosening and rotting. Emulsion heterogeneity indicates the significant presence of "alien" oil, while the occurrence of a putrid (hydrogen sulphide) odour indicates the water-oil emulsion (WME) is affected by bacteria [13, 14].

According to the Federal Waste Classification Catalogue, waste water-oil emulsions are Hazard Class III wastes [1]. According to the order of the Ministry of Natural Resources of the Ministry of Natural Resources (MNR) of Russia from June 15, 2001 No. 511, the multiplicity of dilution with clean water, in which there is no harmful effect on hydrobiota, is 101-1000 times. Such wastewater can be treated by mechanical, physico-chemical, chemical, and biological methods [6-14].

Coarse impurities (suspended solids, floating oil products, etc.) are removed mechanically.



These include sedimentation, filtration, and centrifugation. The finely dispersed, colloid-dissolved, and dissolved impurities are separated by coagulation, flotation, sorption, aeration, ion exchange (physical-chemical methods), ultrafiltration, electro dialysis, ozonation, reagent treatment, softening, etc. (chemical methods) [6-13].

Currently, membrane methods of liquid separation have been greatly developed. They are characterized by simplicity of hardware design, low energy consumption, non-reactivity, etc. [13-17].

The purpose of this work is an experimental assessment of oily wastewater purification possibility from construction industries by ultrafiltration.

THE EXPERIMENTAL PART

Semi-permeable polymer ultrafiltration membranes of tubular type manufactured by RPA Vladipor made of fluoroplast, polysulfone, polyestersulfone, polysulfonamide, polyvinyl chloride, modified polyvinyl chloride, manufactured according to TS 6559-88, 605-221-734-83, 655-4-88, and ceramic monotube membranes with a selective layer based on Al_2O_3 manufactured by LTD Keramikfilter were used as the filter material (Russia, Moscow).

Wastewater from steaming chambers and forming stations of reinforced concrete structures containing oil products (emulsol) was used as an object of investigation. The samples were taken at the company for production of reinforced concrete structures of CBS Holding (Ivanovo, Russia).

To conduct experimental studies on the baromembrane separation of water-oil systems, a laboratory installation was created (Fig. 1).

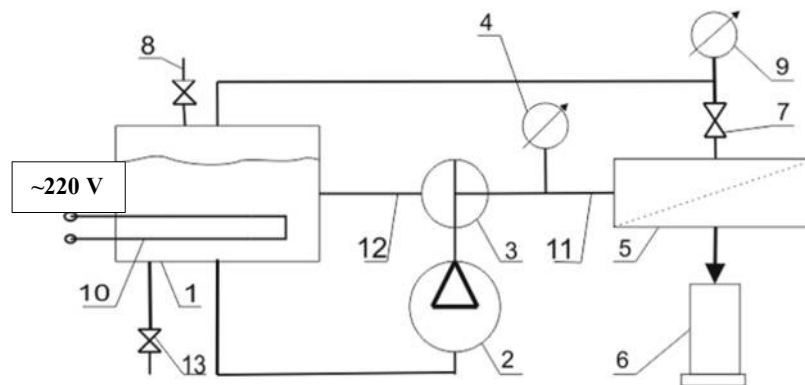


Fig. 1. Schematic diagram of a laboratory installation for the separation of water-oil emulsions:

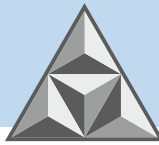
1 – a tank with spent engine oil; 2 – a pump; 3 – a three-way valve; 4, 9 – pressure gauges, respectively, at the inlet and outlet of the filter module; 5 – ultrafiltration module; 6 – dimensional flask with permeate; 7 – shut-off valves; 8 – a tap for filling waste oil; 10 – heating device; 11 – pressure line; 12 – bypass line; 13 – drain valve

Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки по разделению водомасляных эмульсий:

1 – резервуар с отработанным моторным маслом; 2 – насос; 3 – трехходовой кран; 4, 9 – манометры на входе и выходе из фильтрующего модуля; 5 – ультрафильтрационный модуль; 6 – мерная колба с пермеатом; 7 – запорная арматура; 8 – кран для залива отработанного масла; 10 – нагревательный прибор; 11 – напорная магистраль; 12 – байпасная магистраль; 13 – сливной вентиль

The initial solution for separation is pumped by pump 2 from tank 1 to the tubular membrane element 5. The ultrafiltrate (permeate) is collected in a volumetric flask 6. The solution is heated with electric heater 10. Pressure in the system is controlled by manometers 4, 9. To supply the working solution to the membrane element the pump is switched on and the handle of three-way valve 3 is turned. To change the pressure in the system turn the handle of the three-way valve making the connection of the main pressure line 11 with the bypass line 12.

The concentrate is returned to tank 1 by opening shut-off valve 7. Drain the concentrated



solution from the original tank 1 after separation by means of valve 13.

This laboratory installation allowed conducting studies of wastewater treatment from petroleum products under various process modes: pressure drop $\Delta p = 0.1-0.6$ MPa; solution temperature $t = 20-90$ °C, separated flow velocity $V = 1-5$ m·s⁻¹.

For the physico-chemical analysis, water-emulsion effluents of the holding of the Combine of Building Structures (Russia, Ivanovo) containing grease for molds and formwork of the Polyplast Forms brand type 3 were used.

According to TS 0258-038-58042865-2009 Polyplast Form type 3 contains in its composition mineral oils, corrosion inhibitors, active film-forming additives, hydrocarbons (paraffins, isoparaffins, naphthenes, oleic acid), organic alcohols (isopropyl, butyl) [18]. Polyplast Form type 3 is a ready-to-use universal grease for all kinds of forms (horizontal and vertical application). It is manufactured by Polyplast-UralSib, LTD (Russia, Pervouralsk, Sverdlovsk region).

In order to obtain reliable results three wastewater samples were taken from the storage tanks of the production base of Combinat of Building Structures (CBS, Russia, Ivanovo) for the manufacture of reinforced concrete structures in reusable metal moulds before discharge of such water to the wastewater treatment plant. The results of the physico-chemical analysis of samples No. 1, No. 2, No. 3 are presented in Table 1.

Table 1. Results of physico-chemical analysis of the water-oil emulsions of the holding KSK (Ivanovo, Russia)

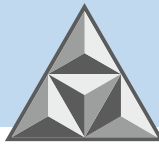
Таблица 1. Результаты физико-химического анализа ВМЭ холдинга КСК (Россия, г. Иваново)

Indicator	Standard	With $\pm \Delta$ mg·dm ⁻³ , $P = 0.95$, $n = 2$		
		Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3
pH,	6.0-9.0	8.3±0.1	8.2±0.1	8.9±0.1
Suspended substances, mg·dm ⁻³	300	2316±463	572±114	1554±233
Dry residue, mg·dm ⁻³	3000	20500±4100	16233±3247	19900±3980
Chemical oxygen consumption, mg O ₂ ·dm ⁻³	500	18760±3752	15600±3120	18215±3643
Content:	Standard*			
Nitrate ions, mg·dm ⁻³	Not regulated	183.0±36,6	51.6±10.3	54.6±11.0
Nitrite ions, mg·dm ⁻³	Not regulated	4.61±0.92	2.12±0.42	2.91±0.582
Sulphate ions, mg·dm ⁻³	300	188.0±37.6	71.8±14.4	121±24
Phosphate ions, mg·dm ⁻³	Not regulated	13.10±2.62	15.20±3.04	24.30±4.86
Chloride ions, mg·dm ⁻³	1000	202±40	175±35	280±56
Fluoride ions, mg·dm ⁻³	Not regulated	36.5±7.3	39.4±7.9	54.6±11.0
Petroleum products, g·dm ⁻³	10	10935±1094	9290±929	14400±2880
Fats, mg·dm ⁻³	50	16316±3263	10071±2014	10100±2525
Anionic surfactants, mg·dm ⁻³	10	2.20±0.44	0.440±0.088	3.15±0.79
Nonionic surfactants, mg·dm ⁻³	Not regulated	6187±1237	4083±817	4711±942

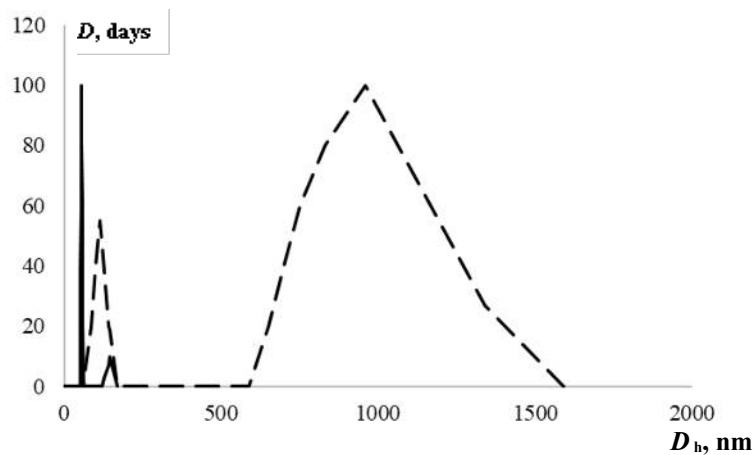
* – permissible concentrations of pollutants in wastewater allowed to discharge into wastewater disposal systems, approved by Resolution No. 644 of the Government of the Russian Federation dated 29.07.2013 "On Approval of the rules of cold water supply and sanitation" [19].

The main components in the waste water composition are: suspended substances, oil products, grease, non-ionic surface-active substances. In samples No. 1, No. 2, No. 3 the concentration of pollutants exceeds the permissible concentration for discharge into the sewage system regarding suspended solids by 1.9-8.0 times, regarding the parameter dry residue by 5-7 times, chemical oxygen demand by 31-38 times, oil products content by 900-1400 times, fat content by 200-326 times.

Oil-containing wastewater stratifies into components over time and the particles become larger. Therefore, particle size measurement was carried out twice - immediately after formation and after 3 months. The acoustic method based on measuring the degree of attenuation of the ultrasonic signal was used [20]. The results are tabulated (Table 2) and illustrated in Fig. 2.

**Table 2.** Average values of the particle size of the dispersed phase of emulsions**Таблица 2.** Средние значения размера частиц дисперсной фазы эмульсий

Type of emulsion	Particle size (main peak) D_h , nm	Particle size (second peak) D_h , nm
Sample of used oil-water emulsion immediately after formation	56±2	144±4
Sample of the spent water-oil emulsion after settling for 3 months	113±3	959±25

**Fig. 2.** Comparison of the particle size distribution of oil-containing wastewater dispersed phase: solid line – immediately after formation; dotted line – after destruction (stratification) after 3 months**Рис. 2.** Сравнение распределения размера частиц дисперсной фазы сточных нефтесодержащих вод: сплошная линия – сразу после образования; пунктирная линия – после разрушения (расслоения) через 3 мес.

Thus, the size of the contamination particles was 0.05-0.15 μm . To remove such particles, membrane elements with a pore size of the active layer of 0.01-0.05 μm were selected.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the results of a study of the permeability of polymer membranes for 8 hours. For the experiment we use a model oil-in-water solution with a concentration of petroleum products of 500 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Figure 4 shows the results of experimental studies on the effect of the duration of the process on the retention capacity of membranes with the same model solution.

The analysis of the curves shown in Fig. 3 shows a 50-60% drop in permeability 4 hours after the start of the separation process, then stabilization is observed. This phenomenon is associated with shrinkage of the membranes and the formation of a layer on the membrane surface.

Selectivity increases by 2-5% over time (see Fig. 4), which is also explained by a decrease in the average pore size as a result of shrinkage of the membranes and the formation of a layer on the surface.

Increasing the temperature of the separated solution is the main way to intensify the process on the one hand and reducing selectivity on the other.

The effect of temperature on the productivity and selectivity of the process is shown in Fig. 5. The studies were carried out for the most productive membranes made of fluoroplast and polysulfonamide. The temperature of the solution varied from 293 to 323 K with an interval of 10 degrees.



Conditions for conducting experimental studies:

- model solution with a concentration of petroleum products $500 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$;
- working pressure 0.4 Мпа .

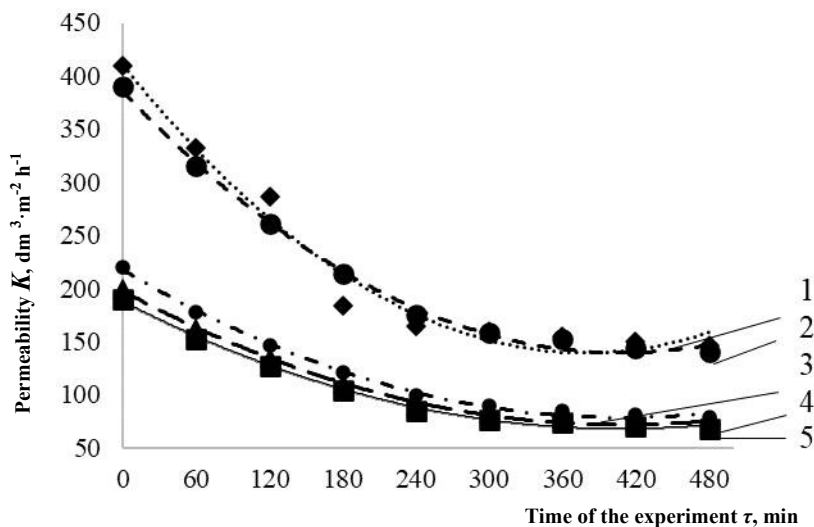


Fig. 3. Dependence of polymer membrane selectivity on time at $t = 323 \text{ K}$, petroleum products concentration $500 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, $\Delta P = 0.4 \text{ МПа}$: 1 – phtoroplast; 2 – polysulfonamide; 3 – polysulfone; 4 – polyvinyl chloride; 5 – polyestersulfone (curves obtained by approximation of data by the least squares method)

Рис. 3. Зависимость селективности полимерных мембран от времени при температуре 323 K , концентрации нефтепродуктов $500 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$, $\Delta P = 0.4 \text{ МПа}$: 1 – фторопласт; 2 – полисульфонамид; 3 – полисульфон; 4 – поливинилхлорид; 5 – полиэфирсульфон (кривые получены аппроксимацией данных методом наименьших квадратов)

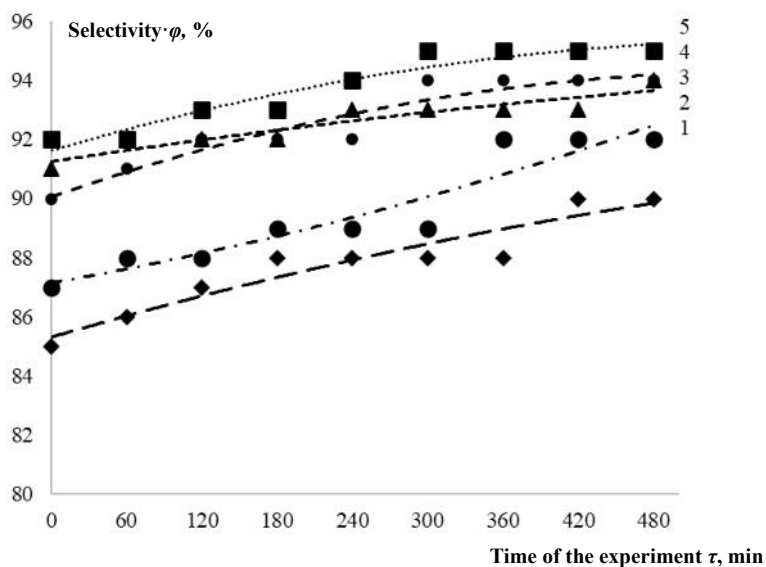
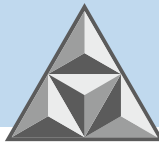


Fig. 4. Dependence of polymer membrane selectivity on time at $t = 323 \text{ K}$, petroleum products concentration $500 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, $\Delta P = 0.4 \text{ МПа}$: 1 – phtoroplast; 2 – polysulfonamide; 3 – polysulfone; 4 – polyvinyl chloride; 5 – polyestersulfone (curves obtained by approximation of data by the least squares method)

Рис. 4. Зависимость селективности полимерных мембран от времени при температуре 323 K , концентрации нефтепродуктов $500 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$, $\Delta P = 0.4 \text{ МПа}$: 1 – фторопласт; 2 – полисульфонамид; 3 – полисульфон; 4 – поливинилхлорид; 5 – полиэфирсульфон (кривые получены аппроксимацией данных методом наименьших квадратов)

The analysis of the dependencies presented in Fig. 5 allows us to observe the expected response



of the membrane–solution system to temperature changes. With a change in temperature to 323 K, the permeability predictably increased by 40%, and the selectivity decreased from 93-95 to 85-87%. This is due to a decrease in the viscosity of the solution and an increasing slip of dirt particles through a semi-permeable partition.

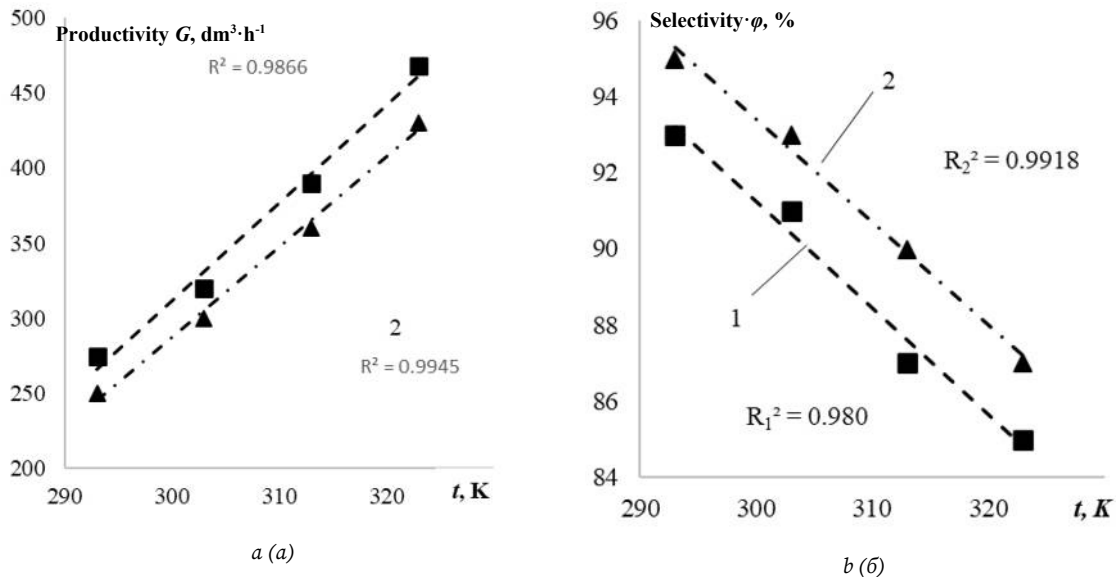


Fig. 5. The effect of the solution temperature on the permeability (a) and selectivity of the process (b); 1 – polysulfonamide; 2 – fluoroplast (curves are obtained by data approximation by the least squares method)

Рис. 5. Влияние температуры раствора на проницаемость мембран (a) и селективность процесса (б); 1 – полисульфонамид; 2 – фторопласт (кривые получены аппроксимацией данных методом наименьших квадратов)

The linear approximation of the experimental data (Fig. 5) gives a high confidence value $R^2 = 0.98-0.99$. Thus, the effect of temperature on permeability and selectivity can be described by the equation [21]:

$$y = a \cdot x + b, \quad (1)$$

where a , b are the approximation coefficients; x is the variable parameter, temperature.

Coefficients a and b were calculated according to the formulas [21]:

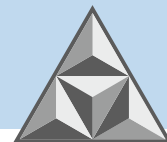
$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3)$$

where n is the number of experiments.

As a result of calculations, we have obtained equations adequately describing the effect of temperature:

for selectivity (see Fig. 5, a)



$$\varphi_1 = 6,49t - 1635,7; \quad (4)$$

$$\varphi_2 = 6t - 1513; \quad (5)$$

for permeability (Fig. 5, b)

$$G_1 = -0,28t - 175,24; \quad (6)$$

$$G_2 = -0,27t - 174,41. \quad (7)$$

The obtained patterns adequately describe the change in permeability and selectivity from temperature in the range from 373 to 323 K.

CONCLUSIONS

We develop the installation for separation of water-oil systems using polymer and ceramic membranes. The composition of the tested systems was determined using certified methods through the use of modern analytical equipment. The spent emulsion contains particles of 56 and 144 nm in size, and after its destruction, particles grow to 113-959 nm.

Membranes made of fluoroplast and ceramics are advisable to use when separating used engine oils. The productivity of such membranes depends on the structure of the microporous layer and its properties. With an increase in the concentration of petroleum products in the water-oil emulsion to g/dm³, the specific capacity of the membranes decreases by 40-50%, which is associated with an increase in the viscosity of the liquid phase.

It was also revealed that with an increase in the temperature of the separated solution (from 313 to 383 K), the ultrafiltration process is intensified by 8 times.

REFERENCES

1. The Water Code of the Russian Federation: Federal Law No. 74 - FZ of 03.06.2006 (2006), *Collection of Legislation of the Russian Federation*, (23), St. 2381 (in Russian).
2. **Enaldiev, A.F. & Golik, V.I.** (2004) Pollution of the hydrosphere by the industrial complex, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, (3), pp. 187-188 (in Russian).
3. **Masloboev, V.A.** (2009) Long-term experience of monitoring industrial pollution // *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN*, (1), pp. 24-33 (in Russian).
4. **Voronov, Yu.V. & Yakovlev, S.V.** (2006) *Drainage and wastewater treatment*. Textbook for universities. M.: Izd-vo ASV (in Russian).
5. **Zakharov, S.L.** (2002) Sewage treatment of oil depots, *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, May, pp. 35-37 (in Russian).
6. **Karelin, Ya.A., Popova, I.A., Evseeva, L.A. et al.** (2002) *Wastewater treatment of oil refineries*. M: Stroyizdat. (in Russian).
7. **Krylov, I.O., Anufrieva, S.I. & Isaev, V.I.** (2002) Installation of post-treatment of wastewater and stormwater from petroleum products, *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, June, pp. 17-19 (in Russian).
8. **Minakov, V.V., Krivenko, SM. & Nikitina, T.O.** (2002) New technologies of purification from oil pollution, *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, May, pp. 7-9 (in Russian).
9. **Asfandiyarova, L.R., Asfandiyarov, R N., Fatkullin, R.N., Rashidova, A.R. & Gvozdeva, K.A.** (2011) Purification of oily wastewater, *Bashkirskiy khim. zhurn.*, (2), pp. 52-55 (in Russian).



10. **Semenova, E.I., Bublivenko, N.A. & Shilofost, T.A.** (2014) Purification of oily wastewater, *Vestnik VGTU*, (27), pp. 161-167 (in Russian).
11. **Gimazutdinova, R.R., Ibragimova, A.R. & Ibragimov, R.R.** (2013) Technology of oil-containing wastewater treatment, *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, (19), pp. 151-155 (in Russian).
12. **Petrova, A.V.** (2013) Improvement of oil-containing wastewater treatment, *Arctic Environmental Research*, (1), pp. 14-19 (in Russian).
13. **Pervov, A.G.** (2009) *Modern highly efficient technologies of purification of drinking and industrial water using membranes: reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration*. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov (in Russian).
14. **Povorov, A.A.** (2002) The use of ultrafiltration for the purification of oily wastewater, *Vodosnabzhenie i santekhnika*, (3), pp. 35-39 (in Russian).
15. **Fedosov, S.V.** (2018) Theoretical analysis of the process of ultrafiltration of liquid media in tubular type apparatuses, *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstrukcii. Tekhnologii*, (1), pp. 32-41 (in Russian).
16. **Fedosov, S.V.** (2020) Pressure loss along the channel of a tubular membrane during the ultrafiltration of liquid media, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 54(2), pp. 380-387.
17. **Fedosov, S.V.** (2020) Modeling of the ultrafiltration process taking into account the formation of sediment on the membrane surface, *Membrany i membrannye tekhnologii*, 10(3), pp. 177-189 (in Russian).
18. Technical specifications: TU 0258-038-58042865-2009 "Grease for molds and formwork "POLYPLAST FORMS", sanitary conclusion 71.TC.04.000.T.000378.08.09 [online]. Available at: e-ecolog.ru (in Russian).
19. HDPE F 14.1:2.115-97 *Method of performing measurements of the mass concentration of nonionic surfactants in samples of natural and treated wastewater by photometric method with phosphoric-tungstic acid* (2014). M.: FGU FCAM (in Russian).
20. **Maksachuk, A.I. & Leonov, G.V.** (2009) Optical-acoustic method of remote control of the size of dispersed particles, *Tekhnicheskaya akustika*, (9), pp. 1-14 (in Russian).
21. **Vedenyapin, G.V.** (1973) *General methodology of experimental research and processing of experimental data*. M.: Kolos (in Russian).

Received 01.02.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 20.03.2023

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Водный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ // *Собрание законодательства РФ*. 2006. № 23. Ст. 2381.
2. **Еналдиев А.Ф., Голик В.И.** Загрязнение гидросферы промышленным комплексом // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2004. № 3. С. 187-188.
3. **Маслобоев В.А.** Долговременный опыт мониторинга промышленных загрязнений // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2009. № 1. С. 24-33.
4. **Воронов Ю.В., Яковлев С.В.** Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2006. 704 с.
5. **Захаров С.Л.** Очистка сточных вод нефтебаз // *Экология и промышленность России*. 2002. Май. С. 35-37.
6. **Карелин Я.А., Попова И.А., Евсеева Л.А. и др.** Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М: Стройиздат, 2002. 184 с.

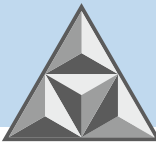


7. **Крылов И.О., Ануфриева С.И., Исаев В.И.** Установка доочистки сточных и ливневых вод от нефтепродуктов // *Экология и промышленность России*, 2002. Июнь. С. 17–19.
8. **Минаков В.В., Кривенко С.М., Никитина Т.О.** Новые технологии очистки от нефтяных загрязнений // *Экология и промышленность России*. 2002. Май. С. 7–9.
9. **Асфандиярова Л.Р., Асфандияров Р.Н., Фаткуллин Р.Н., Рашидова А.Р., Гвоздева К.А.** Очистка нефтесодержащих сточных вод // *Башкирский хим. журн.* 2011. № 2. С. 52-55.
10. **Семенова Е.И., Бублиенко Н.А., Шилофост Т.А.** Очистка нефтесодержащих сточных вод // *Вестник ВГТУ*. 2014. № 27. С. 161-167.
11. **Гимазутдинова Р.Р., Ибрагимова А.Р., Ибрагимов Р.Р.** Технология очистки нефтесодержащих сточных вод // *Технические науки – от теории к практике*. 2013. № 19. С 151-155.
12. **Петрова А.В.** Совершенствование очистки нефтесодержащих сточных вод // *Arctic Environmental Research*. 2013. №1. С. 14-19.
13. **Первов А.Г.** Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 239 с.
14. **Поворов А.А.** Использование ультрафильтрации для очистки нефтесодержащих сточных вод // *Водоснабжение и сантехника*. 2002. № 3. С. 35-39;
15. **Федосов С.В.** Теоретический анализ процесса ультрафильтрации жидких сред в аппаратах трубчатого типа // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии*. 2018. № 1. С. 32-41.
16. **Fedosov S.V.** Pressure loss along the channel of a tubular membrane during the ultrafiltration of liquid media // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2020. Vol. 54, no. 2. P. 380-387.
17. **Федосов С.В.** Моделирование процесса ультрафильтрации с учетом образования осадка на поверхности мембраны // *Мембраны и мембранные технологии*. 2020. Т. 10, № 3. С. 177-189.
18. ТУ 0258-038-58042865-2009 "Смазка для форм и опалубки "ПОЛИПЛАСТ ФОРМ", санитарное заключение 71.ТЦ.04.000.Т.000378.08.09. URL: e-ecolog.ru
19. ПНД Ф 14.1:2.115-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации неионогенных ПАВ в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с фосфорновольфрамовой кислотой. М.: ФГУ ФЦАМ, 2014. 18 с.
20. **Максачук А.И., Леонов Г.В.** Оптико-акустический метод дистанционного контроля размеров дисперсных частиц // *Техническая акустика*. 2009. № 9. С. 1-14.
21. **Веденяпин Г.В.** Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 200с.

Поступила в редакцию 01.02.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 20.03.2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72:711.4

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_81

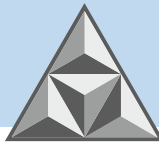
Архитектурная среда как смыслообразующий концепт города (на примере средневекового и современного Дербента)

М.Н. Кюребекова

Мадина Нусратовна Кюребекова

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

kyurebekovamn@ystu.ru



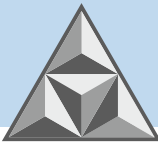
Дербент – древнейший и в географическом отношении самый южный город России; с 2003 года включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Особенности средневекового градостроения Дербента и архитектурная среда рассмотрены через призму философских категорий – пространство, форму и содержание, процесс формирования мировоззренческих установок и смыслов. Показано, что мировоззрение, транслируемое через архитектурную среду и направленное на мировосприятие, мироощущение и миропонимание, веками влияло на выстраиваемое горожанами социокультурное пространство. В результате архитектурный объект в городском пространстве горожанин-современник воспринимает в единстве соразмерности, формы, гармоничности. Дается описание архитектурных объектов, его функциональное значение и место в социокультурном пространстве. Архитектурная среда Дербента и организация городского пространства определили на многие века образ, уклад жизни горожанина, способствовали развитию ремесел и торговли. Преемственность социокультурных установок горожан определила на многие века архитектурный облик города, традиции строительства общественных и гражданских построек. Протекающие как в прошлом, так и настоящем, процессы образуют концепт города Дербента.

Ключевые слова: архитектурная среда, архитектурный объект, городское пространство, форма, мировоззрение, смыслообразующая система, философия города

Для цитирования:

Кюрбекова М.Н. Архитектурная среда как смыслообразующий концепт города (на примере средневекового и современного Дербента) // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 81-90. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_81



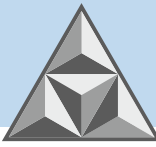
SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_81

Architectural environment as a concept of the city (on the example of medieval and modern Derbent)

M.N. Kyurebekova

Madina N. Kyurebekova
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
kyurebekovamn@ystu.ru



Derbent is Russia's oldest and geographically most southern city; it has been a UNESCO World Heritage Site since 2003. The paper considers the specific features of medieval urban Derbent planning and its architectural environment through the prism of philosophical categories - space, form, and content. Also the author points out on the process of forming ideological attitudes and meanings. The ideology as the vision of the world, transmitted through the architectural environment and aimed at the perception of the world, world-view and world-understanding, has influenced the socio-cultural space built by the citizens of the city for centuries. As a result, people perceive the architectural object in the urban space as a unity of proportionality, form, and harmony. The article describes architectural objects, their functional significance, and place in the socio-cultural space. The architectural environment of Derbent and the organisation of its urban space determined the lifestyle of the city dwellers for many centuries, and promoted the development of crafts and trade. For many centuries the continuity of the socio-cultural attitudes of the city dwellers determined the architectural aspect of the city, the traditions of public and civil construction. Indeed, processes both past and present form the concept of the Derbent city.

Key words: architectural environment, architectural object, urban space, form, attitude, contextual system, city philosophy

For citation:

Kyurebekova, M.N. (2023) Architectural environment as a concept of the city (on the example of medieval and modern Derbent), *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp. 81-90 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_81



ВВЕДЕНИЕ

Сложная история Дербента, его культурные переплетения способствовали созданию уникальной городской архитектуры. При строительстве города и установке архитектурных памятников нашли свое отражение культурные ценности и политические установки завоевателей, каждый из которых, как правило, оставлял свой «архитектурный след».

Первоначально организация пространства средневекового Дербента была связана с функциональным назначением поселения. На трех километрах между Каспийским морем и Кавказскими горами участок равнины стал ареной борьбы государств, желающих обладать правом владения Дербентским проходом. Исключительное положение Дербентского прохода, его стратегическое и торговое значение отмечаются в летописях. Здесь строили оборонительные и культовые сооружения, создавали поселения и вели торговлю персы, хазары, арабы, турки, русичи и др. Дербент и его городское расположение описывают ученые древности и путешественники. Большой вклад в изучение Дербента внесли работы по исследованию древней архитектуры города (академик Российской академии архитектуры и строительных наук С.О. Хан-Магомедов). Значительную ценность представляют сведения, полученные уже в XX веке в ходе археологических раскопок под руководством А.А. Кудрявцева.

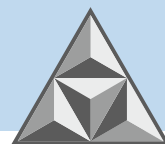
Архитектура является отражением времени. С учетом масштабности объектов и семиотического значения, Она является мощным инструментом хранения информации о культуре и историческом развитии общества. Дербент – тот город, где архитектурные памятники, сохранившиеся в наши дни, демонстрируют миру сложную историю в камне через свои фортификационные сооружения, цитадель, улицы старого города, здания. Здесь выявлены десять различных способов кладки камня, архитектурные элементы, свойственные строителям стран-завоевателей, письма резчиков камня. Современный Дербент, его архитектура реализовались путем переплетения культурных основ строительства с использованием камня-ракушечника.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА ЧЕРЕЗ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ

Пространство и форма в архитектуре являют собой смыслообразующие элементы многоуровневой художественно-образной системы, функционирующей в контексте сложившейся среды. По своей сути, архитектура есть облеченное в форму пространство (архитектурное пространство детерминировано формой). Пространство является определяющей основой архитектуры и не существует вне формы. Следовательно, пространство и форма в архитектуре взаимосвязаны [1].

Архитектурная среда средневекового Дербента представляла собой метасистему, включающую, главным образом, фортификационные сооружения, цитадель, Северную и Южную стены, культовые сооружения. По сути, архитектура выступает материальной конструкцией, объектом в градостроении, но она же формирует мысль, образ жизни горожанина. Три философские категории – «пространство», «форма», «содержание» – активно использует архитектурное мышление [2]. Архитектурное мышление и философское сознание могут успешно взаимодействовать в городском пространстве, а человек становится мерилем этого взаимодействия. Через осознание пространства, соразмерность формы и понимание содержания человек выстраивал свое мировоззрение.

Правящая элита на «языке архитектуры» обращалась к народу, обустроивала город,



определяла образ жизни горожан. Цитадель Нарын-кала – грандиозный оборонительный комплекс (постройка династии Сасанидов) была окружена с трех сторон крутыми склонами и двумя мощными каменными стенами (толщина 2.5-3.8 м, высота 10-15 м). «Территория Дербента с VI–XIX столетий оставалась неизменной. Город непосредственно располагался между двумя параллельными стенами, соединившими цитадель с гаванью (портом). На этой территории (длина 2.7 км, ширина 200-400 м) и происходило многовековое развитие города» [3]. Северная и Южная городские стены блокировали проход между морем и горами. За всю историю средневековья в Северной и Южной стенах было построено 73 оборонительные башни, 14 ворот (рис. 1).

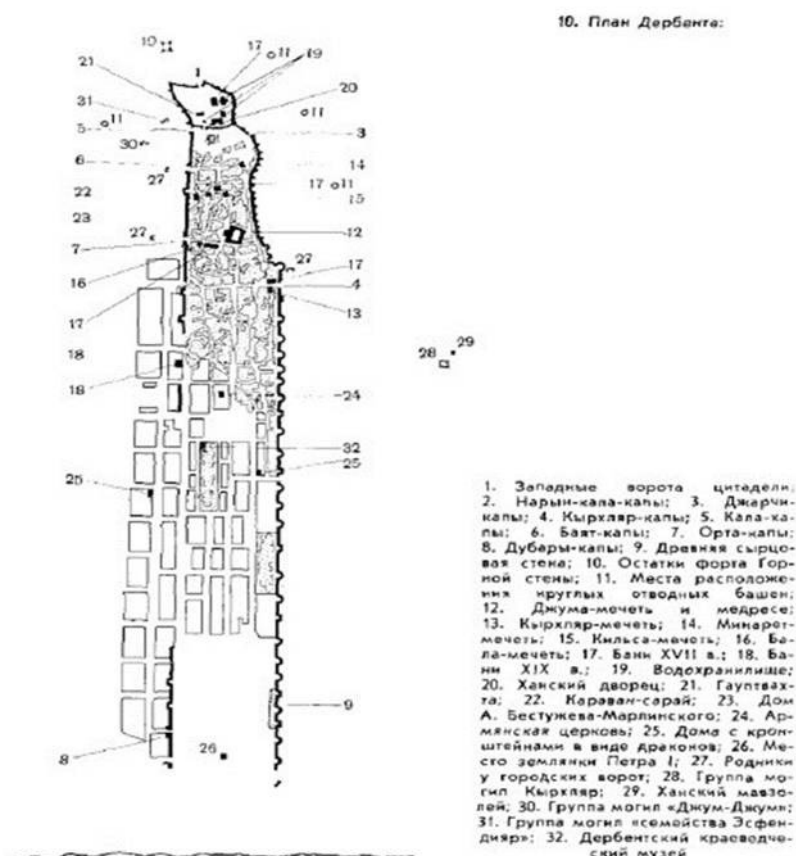


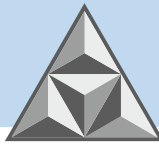
Рис. 1. План-карта Дербента с памятниками архитектуры середины XX века, представленная С.О. Хан-Магомедовым [4]

Fig. 1. The plan of Derbent with architectural monuments of the mid-twentieth century, presented by S.O. Khan-Magomedov [4]

Город за два тысячелетия преобразился и давно переместился за рамки двух стен, тогда как древняя часть Дербента до сих пор является «почетным центром» для горожан.

АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА И СОЦИОКУЛЬТУРНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Архитектурные объекты, являясь частью жизненной среды горожанина, оказывали большое влияние на формирование его взглядов и идей. Великие сооружения напоминали человеку: пусть это не его творение, однако он должен соответствовать этой среде и жить в ней. В условиях средневекового города развитие жизненного уклада осуществляется в рамках весьма многослойного и динамичного социокультурного пространства. В течение многих



веков менялись жители и культурные традиции, осваивались языки, обустроивалась жизнь.

Архитектура – материально воссозданная философия города, организация пространства с помощью геометрических форм, цвета и пр. Необходимо отметить, что архитектура и философия в отдельных случаях используют схожую терминологию: каркас, построение, возведение, фундамент, конструкция, надстройка, краеугольный камень, опора и т.д. Мысль может строиться подобно зданию и, если есть необходимость утверждать себя, преобразовывать целые города или же конкретные здания, она способна основать новый город [5].

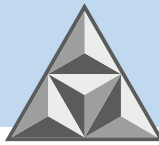
Архитектор средневековья – зодчий с определенным мировоззрением и этнической культурой. Создать образ и воздвигнуть определенный объект – не просто задача, а возможность передать культурный код, социально-культурные установки. До сих пор в Дербенте можно встретить пехлевийские, арабские и другие надписи, оставленные зодчими разных стран, привлекаемых для строительства архитектурных объектов. Каждый завоеватель с помощью зодчего подчеркивал свою значимость на века. Поэтому в архитектуре Дербента тесно переплелись традиции Ближнего Востока и Передней Азии. Зодчий средневековья, будучи специалистом широкого профиля («мастер», «строитель», «каменщик»), понимал, что воспринимаемая внешняя форма – главный источник информации об объекте и уделял большое внимание элементам эстетики. Таким образом выстраивались системообразующие связи «среда – объект – культурный элемент».

Взаимосвязь архитектурного объекта, зодчего и горожанина выражается через художественный образ. Значимость возникающих системных связей – явных и скрытых – высока, именно они определяют специфику системы, т.е. являются смыслообразующими. Одни и те же элементы могут выступать в различном качестве – в зависимости от того, каким образом произошла их интеграция, включение в целое [6].

Архитектурные объекты воздвигались с VI века, не просто определяя границы, но также устанавливая жизненный уклад и мировоззренческие предпосылки. Для средневекового города важнейшим является развитие строительного ремесла. Особую значимость приобретают специализированные виды строительных работ и камнеобрабатывающий промысел. В этот период здесь появляются специализированные каменоломни, где добывается местный ракушечник, распиливаемый на стандартные блоки. Из каменоломен, располагавшихся в 4 км севернее города, камень в Дербент доставляли по морю, а затем отправляли по специально проложенным дорогам в районы строительства. Помимо рабочих, занятых добычей, распиловкой и доставкой камня, в строительном процессе участвовали каменотесы, мастера-камнеукладчики, приготовители специального раствора необычайной прочности [7]. О мастерстве каменотесов города свидетельствуют многочисленные резные архитектурные детали раскопанных и сохранившихся до наших дней строений, оформление древнейших ворот Дербента.

Скопление в Дербенте привезенных завоевателями людских масс, оторванных от привычной хозяйственной деятельности и нуждавшихся в предметах первой необходимости, способствовало быстрому развитию ремесла и торговли, значительному увеличению числа ремесленников и торговцев. Наряду с военными, ремесленники в это время составляют наиболее многочисленные группы городского населения. Удивительная планировка Дербента, протянувшегося узкой лентой через весь проход, фортификационные сооружения, благоустроенные улочки, вымощенные каменными плитами, с тупиками, мечетями и каменным водопроводом являются достижениями арабских завоевателей и через века свидетельствуют о значительном развитии города.

Архитектура создает эстетику города, отражает господствующую философию,



идеологию. Религия становится неотъемлемой частью жизни и важным составляющим мировоззрения, так в эпоху арабских завоеваний (VIII в.) распространяется ислам. Культовые сооружения получают широкое распространение. Мечети поддерживают и развивают религиозные настроения в обществе. При каждой улице (махале) и в цитадели была своя мечеть (всего 8 мечетей) и при каждой из них – минарет. Соборная Джума – мечеть VIII–XIV вв. представляла комплекс «мечеть – медресе – жилое здание духовенства», где все здания располагались вокруг квадратного двора (рис. 2).

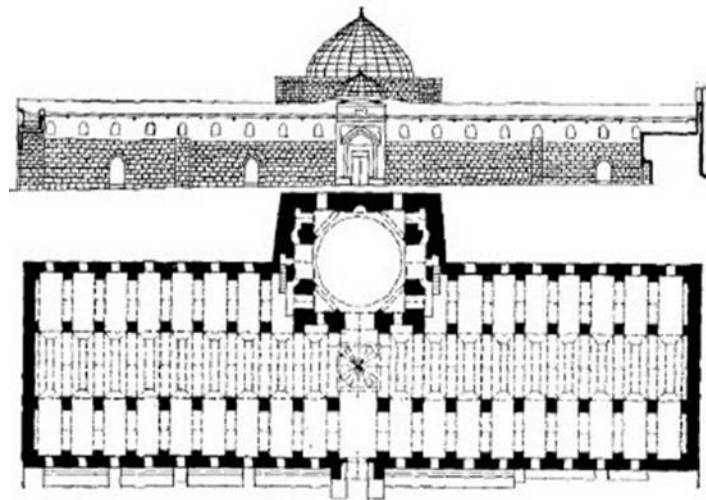


Рис. 2. Древнейшая мечеть города Дербент. Фасад и план (чертеж С.О. Хан-Магомедова) [3]
Fig. 2. The oldest Derbent mosque. Facade and plan (drawing by S.O. Khan-Magomedov) [3]

Традиция сбора горожан на пятничную молитву сохраняется и по сегодняшний день. Такие факты свидетельствуют о том, что при помощи архитектурно-градостроительных решений формировался уклад жизни, который сказывался на мировоззрении горожан, придавая смысл их существованию.

ДЕРБЕНТ – ЦЕНТР КАВКАЗА С ВЫСОКОРАЗВИТЫМ РЕМЕСЛОМ И ТОРГОВЫМИ СВЯЗЯМИ

Дербент становится важным центром международной торговли. В этот период он выступает как крупнейший транзитный пункт на прикаспийской торговой трассе [8]. Караванные пути, пролегающие через Дербент, несли информацию о странах; выстраиваются коммуникации, расширяется мировоззрение горожан.

Город выстраивался, являясь не только пограничным объектом, но и местом жизни людей с различными потребностями. Так возникли рыночные площади, караван-сарай и др. строения. Дербент в VIII–X вв. – крупнейший экономический, административный и культурный центр Кавказа с высокоразвитым ремеслом и обширными торговыми связями. Каждый архитектурный объект организовывал пространство вокруг себя. Важную роль играли смыслообразующие связи, которые характеризовались упорядоченностью, иерархией, плотностью, что говорило о целостности системы. Устройство города и его планировка символизировали эту иерархию и связь. На Дербентском холме величественно располагалась цитадель как символ власти и управления, у подножия – дома местной знати, а ниже – гражданские постройки. Центрами общественной жизни становятся базарные площади, вокруг которых группируются торговые ряды, караван-сарай, мечети, общественные здания.



Археологическими раскопками доказано, что город развивался исключительно на территории между двумя стенами. Дербент, сохраняя внешне двухчастную структуру, в период VIII–X вв. фактически имел уже три части, типичные для средневековых городов Востока – цитадель (Нарын кала), полностью сохранившую прежнюю планировку; шахристан (торгово-досуговый район) на межстенной территории, в «верхнем городе»; рабад (ремесленный район) – в пределах крепостных стен, в «нижнем городе». Даже сегодня сохраняется в своем значении торговый район Дербента. Горожане, находясь в определенной пространственной среде, формировали закономерности бытия как в культурных традициях, так и в сфере символических отношений. В научной литературе сформировалось понятие «семиотические механизмы в архитектуре». Эти механизмы являют собой взаимосвязь формы и функции, средство порождения чувств, переживаний, настроений, перерастающих в смысловую составляющую [9].

Философия города начинается с архитектуры, которая определяет ее бытие. Российский архитектор А.Г. Раппапорт в статье «Архитектура и онтология» писал: «Иногда приходится читать, что архитектура «моделирует» образ мира или онтологическую действительность. Что это значит? Это значит, отношение архитектуры к миру не исчерпывается тем, что архитектура составляет часть этого мира, что архитектура входит в мир или включается в него. Это значит еще и то, что не будучи равной всему миру по объему и составляя лишь часть мира архитектура символически, отражает его структуру в целом» [10]. Поэтому можно сделать вывод, что архитектура способна транслировать в пространстве и времени мировоззрение определенной эпохи, цели и пути развития общества.

В наши дни концепция градостроения в Дербенте выражается через реализацию архитектурных проектов, направленных на сохранение древнейших построек и создание комфортной туристической среды.

ВЫВОДЫ

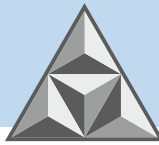
Архитектурная среда Дербента способствовала развитию в городе различных ремесел и торговли и на столетия вперед определила образ, а также уклад жизни горожанина.

Как и в средние века, в настоящее время организация городского пространства Дербента отличается единством формы, соразмерностью и гармоничностью, символизируя единомыслие и согласие. Формирование мировоззренческих установок, мировосприятие, мироощущение и миропонимание для жителя Дербента VI–XIX столетий означало обретение смысла развития.

Для социокультурных установок горожан характерна преемственность. Архитектурная среда, городское пространство Дербента и мировоззрение жителей древнего южного города являются элементами единого смыслообразующего концепта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Захарына Ю.Ю.** Художественный образ архитектуры: диалектика пространства и формы // *Питанні мастацтвазнаўства, этналогіі і фалькларыстыкі*. 2010. № 9. С. 37-42.
2. **Солощенко М.С.** Что нам говорит архитектура. Влияние зданий и сооружений на человека и общество // *Молодой исследователь Дона*. 2017. № 3(6). 5 с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chto-nam-govorit-arhitektura-vliyanie-zdaniy-i-soruzheniy-na-cheloveka-i-obschestvo>
3. **Хан-Магомедов С.О.** Дербент. Горная Стена. Аулы Табасарана. М.: Искусство, 1979. 288 с.



4. **Хан-Магомедов С.О.** Архитектура Дагестана: Дербентская крепость и Даг-Бары. В 8 вып. Вып. 5. М.: Ладья, 2002. 421 с.
5. **Терехова Г.Л.** Философия архитектуры: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2007. 104 с.
6. **Витюк Е.Ю.** Системный эффект в архитектуре // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2011. № 2. С. 61-63.
7. **Кудрявцев А.А.** Древний Дербент. М.: Наука, 1981. 170 с.
8. **Кудрявцев А.А.** Феодальный Дербент: пути и закономерности развития города в VI-сер. XIII вв. М.: Наука, 1993. 320 с.
9. **Янковская Ю.С.** Семиотические механизмы архитектуры // *Известия Уральского государственного университета*. 2004. № 32. С. 81-88.
10. **Раппапорт А.Г.** Архитектура и онтология. Блог А.Г. Раппапорта "Башня и лабиринт". URL: https://archi.ru/press/issue_present.html?id=669

Поступила в редакцию 20.12.2022

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 22.03.2023

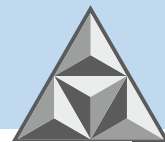
REFERENCES

1. **Zakharyna, Yu.Yu.** (2010) The artistic image of architecture: the dialectic of space and form, *Pytanni mastatstvennaya, etnologii i folklorystyki*, (9), pp. 37-42 (in Russian).
2. **Soloshenko, M.S.** (2017) What architecture tells us. The influence of buildings and structures on man and society. *Molodoy issledovatel Dona*, 3(6), 5 p. [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/chto-nam-govorit-arhitektura-vliyanie-zdaniy-i-soruzheniy-na-cheloveka-i-obschestvo> (in Russian).
3. **Khan-Magomedov, S.O.** (1979) *Derbent. Mountain Wall. Auls of Tabasaran*. М.: Art (in Russian).
4. **Khan-Magomedov S.O.** (2002) *Architecture of Dagestan: Derbent fortress and Dag Bars*. In 8 iss. Iss. 5. М.: Lad'ya (in Russian).
5. **Terekhova, G.L.** (2007) *Philosophy of architecture. Studies manual*. Тамбов: Изд-во ТГТУ (in Russian).
6. **Vityuk, E.Yu.** (2011) System effect in architecture, *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*, (2), pp. 61-63 (in Russian).
7. **Kudryavtsev, A.A.** (1981) *Ancient Derbent*. М.: Nauka (in Russian).
8. **Kudryavtsev, A.A.** (1993) *Feudal Derbent: ways and patterns of city development in the VI-mid. XIII centuries*. М.: Nauka (in Russian).
9. **Yankovskaya, Y.S.** (2004) Semiotic mechanisms of architecture, *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, (32), pp. 81-88 (in Russian).
10. **Rappaport, A.G.** *Architecture and ontology*. A.G. Rappaport's blog "The Tower and the Labyrinth" [online]. Available at: https://archi.ru/press/issue_present.html?id=669 (in Russian).

Received 20.12.2022

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 22.03.2023



РЕЦЕНЗИЯ

На монографию «Модели и методы высокотемпературной термической обработки в технологии пеностекла»
(авторы: С.В. Федосов, М.О. Баканов)

Представленная на рецензию монография является серьезным научным изданием. Она написана на 302 стр. текста, состоит из 7 глав, содержит 231 литературный источник и приложения.

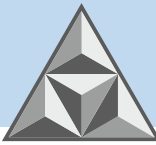
В научном издании представлены математические методы и модели, позволяющие описать процесс высокотемпературной термической обработки в технологии пеностекла. Особое внимание уделено моделям, основанным на теории теплопроводности с применением метода «микропроцессов» академика С.В. Федосова, которые, по мнению авторов, занимают промежуточную позицию между моделями, оперирующими с бесконечно малыми промежутками времени термического воздействия на материал, и моделями, рассматривающими процесс высокотемпературной термической обработки как одно целое, что, в конечном счете, позволяет рассматривать обе эти предельные ситуации.

Несомненное преимущество научного издания состоит в том, что в нем отражены результаты новейших исследований в области моделирования и разработки методик расчета температурных полей в процессах высокотемпературной термической обработки материалов.

В научном издании также широко рассматриваются феноменологические особенности теплопереноса в зависимости от пористости материала, приведен анализ геометрических моделей расположения пор в пространстве. Предложена физическая и математическая постановка задачи для моделирования процесса формирования пористой структуры в объеме сырьевой смеси для получения пеностекла.

Авторы переходят к формализации и моделированию второго этапа формирования пористой структуры пеностекла (вспенивание). Математическая модель должна позволять рассчитать время формирования поры размера R . Задача состоит в том, чтобы найти зависимость изменения радиуса поры от времени, тогда появляется возможность рассчитывать время необходимое для формирования пор необходимого радиуса.

Математическая модель разработана на основе уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости (Навье–Стокса) и уравнение неразрывности в сферических координатах. Предложенные графические зависимости для различных значений активности источника газообразования демонстрируют



ключевой вклад на продолжительность процесса порообразования скорости газообразования источника, то есть чем больше интенсивность, тем быстрее формируется пора заданного радиуса.

Монография содержит достаточное количество исходных данных, имеет необходимые пояснения, рисунки, графики, примеры, алгоритмы расчетов, написана технически грамотным языком, с применением терминологического аппарата, характерного для области научных исследований, оформлена аккуратно, имеются выводы, отражающие суть полученных результатов.

Учебное издание рекомендуется студентам, магистрам, аспирантам строительных вузов, а также научным сотрудникам, работающим в области математического моделирования тепловых процессов.

Монография «Модели и методы высокотемпературной термической обработки в технологии пеностекла» заслуживает высокой оценки и рекомендуется к практическому использованию.

Проректор по воспитательной работе
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технологический университет»,
советник РААСН, д.т.н.,
Заслуженный строитель республики Марий Эл,
Лауреат Государственных премий Республики Марий Эл
в области архитектуры и строительства

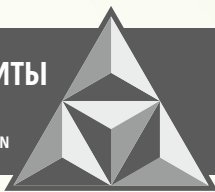


В.Г. Котлов



Исаева С.А.
«27» 12 2023.

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



ТОМ 4, ВЫПУСК 1, 2023 | VOL. 4, ISSUE 1

