

ISSN ONLINE 2782-1919

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



**Том 3
выпуск**

1

2022

**VOL. 3
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 3

Выпуск 1

Ярославль 2022

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 (иностраный 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	ignatyeva@ystu.ru
Электронный адрес	http://comincon.ru

Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

Редакторы:	М.А. Канакотина, Л.С. Кокина, В.Б. Доронина
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 3

Issue 1

Yaroslavl 2022

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	ignatyevaa@ystu.ru
Website	http://comincon.ru

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

Editors:	M.A. Kanakotina, L.S. Kokina, V.B. Doronina
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



Строительные конструкции, здания и сооружения

Опарина Л.А., Баделина А.А.

Систематизация факторов, влияющих на выбор организационно-технических решений по звукоизоляции помещений при капитальном ремонте многоквартирных домов

Oparina, L.A., Badelina, A.A.

Systematization of factors affecting the choice of organizational and technical solutions for sound insulation of premises during major repairs of apartment buildings

7

Строительные материалы и изделия

Низин Д.Р., Низина Т.А., Селяев В.П., Канаева Н.С.

Обратимое и необратимое изменение свойств полимерных материалов в процессе натурального климатического старения

Nizin, D.R., Nizina, T.A., Selyaev, V.P., Kanaeva N.S.

Reversible and irreversible changes in the properties of polymer materials during full-scale climatic aging

18

Овчинников А.А., Обручев Д.А., Николаевич Д.И.

Оптимизация составов композиционных материалов на основе технологии полиструктурной интеграции гетерогенных материалов

Ovchinnikov, A.A., Obruchev, D.V., Danilov, I.N.

Optimisation of composite material structure based on the technology of polystructural integration of heterogeneous materials

30

Логинова С.А.

Принципы математического моделирования коррозионных процессов в биоагрессивных средах

Loginova S.A.

Principles of mathematical modeling of corrosion processes in aggressive environments

47



Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

Дудин В.М., Курныгина А.А.

Повышение безопасности дорожного движения в зимних условиях

Dudin, V.M., Kurnygina, A.A.

58

Improving road safety in winter conditions

Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности

Lichak, D.A., Lichak, N.A.

The concept of the "garden city": the utopia realized in the construction of socialist

Личак Д.А., Личак Н.А.

73

Концепция «города-сада»: утопия, воплощенная в строительстве социалистического
Ярославля

Isaeva, N.A., Pokrovskaya, M.Y., Lumingo, F.

Problems and features of designing social housing in Angola

Исаева Н.А., Покровская М.Ю., Ф. Луминго.

82

Проблемы и особенности проектирования социального жилья в Анголе



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.003

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_7

Систематизация факторов, влияющих на выбор организационно-технических решений по звукоизоляции помещений при капитальном ремонте многоквартирных домов

Л.А. Опарина, А.А. Баделина

Людмила Анатольевна Опарина

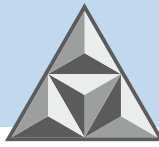
Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

L.A.Oparina@gmail.com

Анна Анатольевна Баделина

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

annasolo.99@mail.ru



В настоящее время под действием сверхнормативного акустического воздействия находится от 30 до 50% (а в крупных городах и более) населения, что значительно влияет на продолжительность жизни горожан. Около 45% населения постоянно испытывают чувство дискомфорта от действия повышенного шума. В результате весьма острой проблемой являются вопросы защиты жителей городов от шума, обусловленного различными источниками. Это, прежде всего, шум от строительных и дорожно-ремонтных работ, шум автомобильного и железнодорожного транспорта и много другое. Однако при проведении капитального ремонта многоквартирных домов вопросам звукоизоляции уделяется недостаточное внимание. В статье представлены факторы, влияющие на уровень шума в помещениях. Описаны современные звукоизолирующие материалы. Новизной является предложение автоматизации выбора организационно-технических решений по звукоизоляции помещений многоквартирных домов при производстве капитального ремонта.

Ключевые слова: строительство, звукоизоляция, шум, капитальный ремонт

Для цитирования:

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. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_7



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_7

Systematization of factors affecting the choice of organizational and technical solutions for sound insulation of premises during major repairs of apartment buildings

L.A. Oparina, A.A. Badelina

Lyudmila A. Oparina

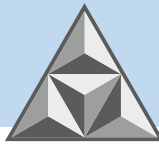
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

L.A.Oparina@gmail.com

Anna A. Badelina

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

annasolo.99@mail.ru



Currently, from 30 to 50% (and in large cities and more) of the population is under the influence of excess acoustic impact, which significantly affects the life expectancy of citizens. About 45% of the population constantly experience a feeling of discomfort from the effects of increased noise. As a result, the issue of protecting urban residents from noise caused by various sources is a very acute problem. This is, first of all, the noise from construction and road repair work, the noise of road and rail transport, and much more. However, during the overhaul of apartment buildings, insufficient attention is paid to sound insulation issues. The article presents the factors affecting the noise level in the premises. Modern soundproofing materials are described. The requirements for sound insulation of premises and the regulatory framework have been systematized. A novelty is the proposal to automate the selection of organizational and technical solutions for soundproofing the premises of apartment buildings during major repairs.

Key words: construction, soundproofing, noise, overhaul

For citation:

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)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_7



В настоящее время вопросам капитального ремонта жилых многоквартирных домов (МКД) уделяется много внимания [1-3]. Это связано как с постоянно растущим износом элементов зданий и инженерной инфраструктуры, так и с растущим моральным износом и ростом требований к комфортности проживания. На протяжении последних 50 лет в нашей стране главное внимание уделялось наращиванию совокупного размера жилищного фонда. На эти цели расходовалось более 85% материально-финансовых ресурсов. После 1992 года финансирование строительства нового жилья, а также капитального ремонта уже построенного жилого фонда существенно снизилось. Недостаточность финансирования капитального ремонта и реконструкции приводила к постоянному накоплению так называемого «недоремонта». В результате техническое состояние большого количества многоквартирных домов не соответствует современным требованиям, предъявляемым к техническим и качественным характеристикам жилищного фонда.

Несмотря на определенный рост объемов капитального ремонта многоквартирных домов (МКД), обеспеченного в ходе реализации Федерального закона от 21.07.2007 №185-ФЗ «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства», потребность в качественном техническом содержании и обновлении жилья продолжает оставаться одной из самых актуальных задач в большинстве городов страны. Принятая программа капитального ремонта многоквартирных домов запустила механизм накопления средств собственников и направление их на работы по капитальному ремонту.

В ст. 166 п. 1 Жилищного кодекса РФ установлен Перечень услуг и (или) работ по капитальному ремонту общего имущества в многоквартирном доме, оказание и (или) выполнение которых финансируются за счет средств фонда капитального ремонта, сформированного исходя из минимального размера взноса на капитальный ремонт, установленного нормативным правовым актом субъекта Российской Федерации, включает в себя: 1) ремонт внутридомовых инженерных систем электро-, тепло-, газо-, водоснабжения, водоотведения; 2) ремонт, замену, модернизацию лифтов, ремонт лифтовых шахт, машинных и блочных помещений; 3) ремонт крыши; 4) ремонт подвальных помещений, относящихся к общему имуществу в многоквартирном доме; 5) ремонт фасада; 6) ремонт фундамента многоквартирного дома. Однако в перечне работ по капитальному ремонту, не выделены работы по звукоизоляции помещений в МКД и снижению уровня шума. Современный капитальный ремонт должен быть энергоэффективным, то есть приводить к снижению стоимости платы за потреблённые энергоресурсы. А также он должен быть направлен не только на повышение надёжности и комфортности зданий, но и обеспечивать комфортный микроклимат внутри помещений и заботу об окружающей среде. Одним из важнейших параметров комфортного микроклимата является акустический комфорт, параметры которого необходимо учитывать при проведении капитального ремонта МКД. Таким образом, данный вопрос тоже является актуальным.

Вопросам звукоизоляции в строительстве уделяется много внимания. Среди ведущих учёных, специалистов в данном вопросе, можно назвать И.Л. Шубина, И.Е. Цукерникова, Т.О. Невенчанную, А.И. Антонова и других. Разработаны и апробированы методы защиты от шума, расчётные методы проектирования помещений с учётом звукоизоляции, сформирована обширная база данных для проведения расчётов, а также нормативно-техническая литература. Однако существующие разработки, как правило, касаются методов акустической защиты производственных помещений, помещений нестандартных форм, расчётно-аналитических методов звукоизоляции на этапе проектирования зданий и сооружений.

Вопросы звукоизоляции при проведении капитального ремонта МКД, выбора



соответствующих материалов, разработка организационно-технических решений при планировании и производстве работ по капремонту освещены недостаточно полно. При этом жители многоквартирных домов испытывают постоянное негативное влияние городского шума, которое складывается под воздействием множества факторов, представленных (рис. 1) [4].

Все эти увеличивающиеся шумовые воздействия снаружи, повышенные шумовые воздействия изнутри дома, делают людей более чувствительными. В жилых зданиях часто размещаются встроенные предприятия общественного назначения. Особенностью таких предприятий является наличие в их помещениях высокого уровня шума. Шум оказывает негативные воздействия на работников и посетителей предприятий, приводит к зашумлению смежных квартир. Большинство источников, вызывающих шум, излучают непостоянную во времени звуковую мощность. В результате в помещениях образуются непостоянные шумовые поля [5].



Рис. 1. Распределение обращений жителей на повышенный уровень шума, по источникам воздействия, исключая строительные и дорожно-ремонтные работы

Fig. 1. Schematic diagram of the organization of design and construction processes using information modeling technologies

Таким образом, как источников шума, так и факторов, влияющих на его уровень, достаточно много, и все они оказывают влияние на принятие организационно-технических решений по проведению работ по капитальному ремонту помещений в МКД. Данные факторы можно классифицировать по разным признакам:

Внешние факторы:

- транспортные потоки около здания;
- близость железнодорожных и авиационных путей сообщения;
- размер участка под зданием и около него;
- плотность окружающей застройки;



Внутренние факторы:

– объёмно-планировочные характеристики здания и помещения: расположение помещения в квартире относительно геометрии дома (этаж, место в углу или центре, близость лифтовой шахты и т.д.);

– геометрия помещения;

– различное время работы членов семьи;

– работа в разные смены и, соответственно, разное время сна и отдыха;

– более мощные стереоустановки;

– различные привычки относительно громкости телевизоров и прослушивания музыки;

– большая мощность домашних электроприборов;

– материал, из которого построен дом, системы строительных конструкций, год постройки;

– наличие в здании нежилых помещений общественного и производственного назначения.

Также существует множество звукоизолирующих материалов, применяемых в строительстве и капитальном ремонте помещений различного назначения (таблица 1).

Таблица 1. Классификация современных строительных материалы для звукоизоляции в жилых помещениях многоквартирных домов

Table 1. Classification of modern building materials for sound insulation in residential premises of apartment buildings

Звукоизоляция стен						
звукопоглощающие			звукоизолирующие		ультратонкие	
твёрдые (плиты в основе которых волокна минеральной ваты, в структуру добавлены пористые наполнители)	полужесткие (пористая структура. Стекловолоконные плиты)	мягкие (в основе войлок и стекловолокно)	плиты (или рулоны), в основе которых минеральная вата либо базальт	звукоизолирующие панельные системы	жидкий пенополиуретан	мембраны
Звукоизоляция пола						
мембранные материалы		рулонные материалы		плитные материалы		
фанера, ДВП, ДСП, МДФ картон войлок разного типа (технического, акустического и со встроенной мембраной) полимеров, натуральных волокон и связывающих компонентов		изготовленные из стекловолокна укладываемые под напольное покрытие		минеральная вата панели и плитки из пробки пенополистирол стекловолоконные панели		
Звукоизоляция потолка						
звукопоглощающие материалы		звукоизолирующие материалы		композиты		
минеральная вата, войлок, синтепон, базальтовые волокна.		бетон, кирпич и другие аналоги.		комбинированные системы, состоящие из слоев шумоизоляционных материалов звукоизолирующих и звукопоглощающих типов		



Таким образом, систематизация факторов и строительных материалов, применяемых для звукоизоляции помещений, является основой для принятия организационно-технических решений по проведению работ по капитальному ремонту помещений в МКД. Если учитывать их многогранность и разнообразие, то для выбора оптимальных организационно-технических решений по звукоизоляции помещений МКД при производстве ремонтно-строительных работ целесообразно разработать программное обеспечение, которое позволит в режиме онлайн подбирать нужные материалы по звукоизоляции в зависимости от факторов помещений и требований потребителя. В настоящее время существуют автоматизированные методы расчёта и проектирования звуковой защиты помещений, зданий [6-17].

Однако автоматизация выбора организационно-технических решений по звукоизоляции помещений при производстве капитального ремонта МКД в настоящее время практически не разработана. Подобные программные продукты, действующие по типу онлайн калькуляторов, должны содержать интерфейс, посредством которого пользователи бы могли вводить данные своей квартиры, в которой они желали бы провести звуковую изоляцию, все перечисленные в данной статье факторы, а результатом расчёта программы являлась бы готовые организационно-технические решения по звукоизоляции, с подбором соответствующих материалов, смет и ссылками на подрядные строительные организации данного региона.

Резюмируя вышеизложенное, необходимо обратить внимание на то, что защита от шума помещений многоквартирных домов является актуальной темой исследования. На шум в квартирах влияет множество факторов, также множество факторов влияет на выбор материалов для звукоизоляции при производстве работ по капитальному ремонту и методов их проведения. Поэтому необходимо разработать специальное программное обеспечение для автоматизирования выбора организационно-технических решений по звукоизоляции при проведении капитальных ремонтов многоквартирных домов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Опарина Л.А.** Проблемы реализации требований к энергоэффективности в условиях программы капитального ремонта многоквартирных домов // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*: сб. науч. тр. Иваново, 2015. С. 53-58.
2. **Опарина Л.А., Дерябкина Е.С.** Современное состояние и результаты реализации региональной программы капитального ремонта Ивановской области // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*: сб. науч. тр. Иваново, 2020. № 9. С. 17-25.
3. **Опарина Л.А., Полищук Е.И.** Современное состояние и результаты реализации региональной программы капитального ремонта Ивановской области // *Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений*: сб. науч. тр. Иваново, 2020. № 9. С. 8-17.
4. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году» / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС, 2018. 358 с.
5. **Шубин И.Л., Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Меркушева Н.П.** Оценка шумового режима в помещениях предприятий, встроенных в жилые здания // *Жилищное строительство*. 2020. № 6. С. 3-8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-3-8>.

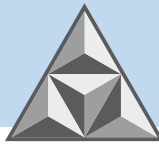


6. **Шубин И.Л., Леденёв В.И., Антонов А.И.** Программное обеспечение расчетов шума при акустическом благоустройстве в производственных зданиях // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. Российская академия архитектуры и строительных наук: сб. науч. тр.* М., 2019. Т. 2. С. 622-629. DOI: 10.22337/9785432303134.
7. **Шубин И.Л., Антонов А.И., Леденев В.И., Меркушева Н.П.** Компьютерное проектирование средств шумозащиты в зданиях с автоматизированными процессами // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 10 (1034). С. 36-38.
8. **Tsukernikov I., Shubin I., Tikhomirov L., Nevenchannaya T.** Software quality testing for calculation of outdoor noise // *Proceedings of the 10-th European Congress on Noise Control Euronoise 2015.* Maastricht, EAA, 2015. P. 1601-1603.
9. **Visentin C., Valeau V., Prodi N., Picaut J.** A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing // *Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics, ICA-2010.* 23-27 August 2010, Sydney, Australia. URL: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdrom-ICA2010/
10. **Billon A., Picaut J., Valeau V., Sakout A.** Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a Diffusion Model // *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration.* 2012. 9 p. DOI: 10.1155/2012/260394.
11. **Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J.** A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms // *21st International Congress on Acoustics. Jun 2013, Montréal, Canada, 8 p.* URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00845722/file/doc00014605.pdf>
12. **Visentin C. Prodi N., Valeau V., Picaut J.** A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics // *The Journal of the Acoustical Society of America.* 2012. Vol. 132. 3180 DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4756924>.
13. **Foy C. Picaut J., Valeau V.** Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering // *Proceedings of Internoise. San Francisco, August 9-12, 2015.*
14. **Foy C., Picaut J., Valeau V.** Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique // *Congrès Français d'Acoustique / Vibrations, SHocks and NOise. 2016. Le Mans, 11-15 avril 2016.*
15. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661741 РФ; опубл. 06.11.2015.
16. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661740 РФ; опубл. 06.11.2015.
17. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А.** Обоснование методом анализа иерархий экспертных суждений критериев повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса // *Умные композиты в строительстве.* 2021. Т 2, № 2. С. 38. DOI: 10.52957/27821919_2021_2_38.

Поступила в редакцию 09.03.2022

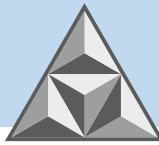
Одобрена после рецензирования 16.03.2022

Принята к опубликованию 22.03.22



REFERENCES

1. **Oparina, L.A.** (2015) Problems of implementation of requirements for energy efficiency in the conditions of the program of capital repairs of apartment buildings, *Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions: collection of scientific works*. Ivanovo, pp. 53-58 (in Russian).
2. **Oparina, L.A. & Deryabkina, E.S.** (2020) The current state and results of the implementation of the regional program for the overhaul of the Ivanovo region, *Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions: collection of scientific works*. Ivanovo, (9), pp. 17-25 (in Russian).
3. **Oparina, L.A. & Polishchuk, E.I.** (2020) The current state and results of the implementation of the regional program for the overhaul of the Ivanovo region, *Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions: collection of scientific works*. Ivanovo, (9), pp. 8-17 (in Russian).
4. **Kulbachevsky, A.O.** (ed.) (2018) *Report «On the state of the environment in the city of Moscow in 2017»*, M.: DPiOOS (in Russian).
5. **Shubin, I.L., Antonov, A.I., Ledenev, V.I., Matveeva, I.V. & Merkusheva, N.P.** (2020) Assessment of the noise regime in the premises of enterprises built into residential buildings, *Housing construction*, (6), pp. 3-8. (in Russian).
6. **Shubin, I.L., Ledenev, V.I. & Antonov, A.I.** (2019) Software for noise calculations during acoustic improvement in industrial buildings, *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences: collection of scientific works*. M., 2, pp. 622-629. DOI: 10.22337/9785432303134 (in Russian).
7. **Shubin, I.L., Antonov, A.I., Ledenev, V.I. & Merkusheva, N.P.** (2020) Computer design of noise protection means in buildings with automated processes, *BST: Bulletin of construction equipment*, 10(1034), pp. 36-38 (in Russian).
8. **Tsukernikov, I., Shubin, I., Tikhomirov, L. & Nevenchannaya, T.** (2015) Software quality testing for calculation of outdoor noise, *Proceedings of the 10-th European Congress on Noise Control Euronoise 2015*. Maastricht, EAA, pp. 1601-1603.
9. **Visentin, C., Valeau, V., Prodi, N. & Picaut, J.** (2010) A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing, *Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics, ICA-2010*. 23-27 August 2010, Sydney, Australia [online]. Available at: https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdrom-ICA2010/
10. **Billon, A., Picaut, J., Valeau, V. & Sakout, A.** (2012) Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a Diffusion Model, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration*, 9 p. DOI: 10.1155/2012/260394.
11. **Visentin, C., Prodi, N., Valeau, V. & Picaut, J.** (2013) A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms, *21st International Congress on Acoustics. Jun 2013, Montréal, Canada*, 8 p. [online]. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00845722/file/doc00014605.pdf>
12. **Visentin, C. Prodi, N., Valeau, V. & Picaut, J.** (2012) A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132, 3180 DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4756924>.



13. **Foy C., Picaut J. & Valeau V.** (2015) Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering. // *Proceedings of Internoise. San Francisco, August 9-12, 2015.*
14. **Foy, C., Picaut, J. & Valeau, V.** (2016) Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique, *Congrès Français d'Acoustique / Vibrations, SHocks and Noise. Le Mans, 11–15 avril 2016.*
15. Certificate of state registration of a computer program № 2015661741 RF; publ. 06.11.2015 (in Russian).
16. Certificate of state registration of a computer program № 2015661740 RF; publ. 06.11.2015 (in Russian).
17. **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 air heat pump, *Smart Composite in Construction*, 2(2), pp. 38-47. DOI: 10.52957/27821919_2021_2_38 (in Russian).

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691:620.17

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_18

Обратимое и необратимое изменение свойств полимерных материалов в процессе натурного климатического старения

Д.Р. Низин, Т.А. Низина, В.П. Селяев, Н.С. Канаева

Дмитрий Рудольфович Низин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Российская Федерация; Научно-исследовательский институт строительной физики
РААСН, Москва, Российская Федерация

nizindi@yandex.ru

Татьяна Анатольевна Низина

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Российская Федерация; Научно-исследовательский институт строительной физики
РААСН, Москва, Российская Федерация

nizinata@yandex.ru

Владимир Павлович Селяев

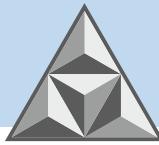
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Российская Федерация; Научно-исследовательский институт строительной физики
РААСН, Москва, Российская Федерация

ntorm80@mail.ru

Надежда Сергеевна Канаева

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Российская Федерация; Научно-исследовательский институт строительной физики
РААСН, Москва, Российская Федерация

aniknadya@yandex.ru



Представлены результаты исследования влияния влажностного состояния эпоксидных полимеров на изменение их упруго-прочностных характеристик в процессе натурального климатического старения в умеренно-континентальном климате. В качестве объекта исследования выбран полимерный материал, полученный на основе модифицированной эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М. По результатам проведенных исследований установлено подобие кривых изменения предела прочности образцов при растяжении в предельных равновесно-влажностных состояниях – высушенном и влагонасыщенном. В зависимости от длительности натурального климатического старения, диапазон варьирования предела прочности образцов при растяжении в предельных влажностных состояниях составляет от 14 до 33% от значения предела прочности в высушенном состоянии. Выявлен и количественно оценен синергетический эффект между необратимыми структурными изменениями полимерной матрицы, происходящими под действием факторов окружающей среды, и сорбированной влагой, выражающийся как в расширении, так и сужении диапазона обратимого влияния влаги. Установлено, что для поздних этапов натурального климатического старения образцов эпоксидных полимеров на основе эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М характерно возникновение точки максимума относительных удлинений при растяжении, не совпадающей при этом с точкой, соответствующей высушенному состоянию.

Ключевые слова: полимерные материалы, эпоксидные полимеры, влагосодержание, предел прочности при растяжении, относительное удлинение, обратимые изменения, необратимые изменения, синергетические изменения

Для цитирования:

Низин Д.Р., Низина Т.А., Селяев В.П., Канаева Н.С. Обратимое и необратимое изменение свойств полимерных материалов в процессе натурального климатического старения // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 1. С. 18-29. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_18



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_18

Reversible and irreversible changes in the properties of polymer materials during full-scale climatic aging

D.R. Nizin, T.A. Nizina, V.P. Selyaev, N.S. Kanaeva

Dmitry R. Nizin

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

nizindi@yandex.ru

Tatyana A. Nizina

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

nizinata@yandex.ru

Vladimir P. Selyaev

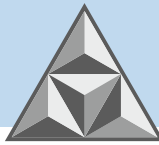
National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

ntorm80@mail.ru

Nadezhda S. Kanaeva

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

aniknadya@yandex.ru



The paper provides the results of studying the effect of the moisture state of epoxy polymers on the change in their elastic-strength parameters during natural climatic aging in a temperate continental climate. The object of the study was a polymer material based on Etal-247 modified epoxy resin and Etal-45M hardener. Based on the results of the studies, we determined the similarity of the curves of the change in the tensile strength of the samples under tension in the limiting equilibrium-moisture states (dried and moisture-saturated). Depending on the duration of natural climatic aging, the range of variation in the tensile strength of samples in extreme moisture conditions is from 14 to 33% of the tensile strength in the dried state. The synergistic effect between irreversible structural changes in the polymer matrix under the effect of environmental factors and adsorbed moisture has been identified and quantified, which is expressed both in the expansion and contraction of the reversible moisture range effect. It has been established that for the late stages of natural climatic aging of epoxy polymer samples based on Etal-247 epoxy resin and Etal-45M hardener, a point of maximum elongation under tension does not coincide with the point corresponding to the dried state.

Key words: polymer materials, epoxy polymers, deformation curves, damage accumulation, fractal analysis, minimal coverage method

For citation:

Nizin, D.R., Nizina, T.A., Selyaev, V.P. & Kanaeva N.S. (2022) Reversible and irreversible changes in the properties of polymer materials during full-scale climatic aging, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 18-29 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_18



ВВЕДЕНИЕ

Полимерные материалы нашли практически повсеместное применение во всех существующих областях промышленности. По аналогии с другими материалами, основное требование, предъявляемое к изделиям и конструкциям на полимерной основе, заключается в обеспечении эксплуатационной надежности на протяжении всего срока эксплуатации. Однако решение поставленной задачи крайне осложнено в условиях действия природных климатических факторов, влиянию которых подвержены практически все изделия и конструкции вне зависимости от своего функционального назначения и природы. Это обусловлено высокой сложностью климатического воздействия как для анализа, так и для воспроизведения в лабораторных условиях с достаточной точностью и полнотой. Результаты исследования климатической стойкости полимерных материалов, полученные в лабораторных условиях, характеризуются крайне слабой корреляцией с изменениями, протекающими в структуре полимеров при натурном климатическом старении [1-3]. Это не позволяет рассматривать современные лабораторные методы оценки климатической стойкости полимерных материалов в качестве источника получения достоверной информации о реальных процессах климатического старения, что неоднократно отмечалось в научных источниках [4-12].

Поскольку полное воспроизведение действия окружающей среды в искусственных условиях на данный момент не представляется возможным вследствие недостаточного уровня инструментально-технического развития, то исследование и понимание феноменов, возникающих в структуре полимеров в процессе эксплуатации, позволит существенно расширить возможности прогнозирования изменения их свойств. Один из таких феноменов заключается в обратимости изменения физико-механических свойств эпоксидных полимеров в зависимости от содержания сорбированной влаги. Согласно авторским исследованиям и данным, представленным в научной литературе [13-17], разброс прочностных показателей в предельных равновесно-влажностных состояниях (влажноссыщенном и высушенном) достигает 30% для авиационных композитов и 50% для ненаполненных эпоксидных полимеров. Как следствие, в процессе эксплуатации полимерных композитов необходимо учитывать не только необратимые изменения свойств, вызванные деградацией поверхностных слоёв изделия, разупорядочиванием волокон наполнителя, фотодеструкции и химических превращений полимерной матрицы, но и обратимые изменения, обусловленные процессами сорбции и десорбции атмосферной влаги.

Цель работы заключается в оценке обратимого и необратимого изменения упруго-прочностных характеристик образцов эпоксидных полимеров в процессе натурального климатического старения в зависимости от их влагосодержания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования были выбраны образцы полимерного материала на основе эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Этал-247 представляет собой модифицированную эпоксидную смолу с массовой долей эпоксидных групп не менее 21,4–22,8 % и вязкостью по Брукфильду при 25 оС в диапазоне 650–750 СПз. Отвердитель Этал-45М – смесь ароматических и алифатических ди- или полиаминов, модифицированная салициловой кислотой.

Механические испытания образцов (тип 2 согласно ГОСТ 11262-2017) на растяжение



проводились с помощью разрывной машины серии AGS-X с программным обеспечением TRAPEZIUM X при температуре (23 ± 2) оС и относительной влажности воздуха $(50\pm 5)\%$. Скорость перемещения зажимов испытательной разрывной машины составляла 2 мм/мин.

Экспонирование образцов проводилось на испытательных стендах научно-исследовательской лаборатории эколого-метеорологического мониторинга, строительных технологий и экспертиз Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва (г. Саранск, умеренно-континентальный климат). Определение физико-механических показателей осуществлялось для контрольных образцов и через 2, 5, 10 и 18 месяцев натурального экспонирования.

Для установления влияния влажностного состояния на изменение физико-механических показателей эпоксидных полимеров под действием природных климатических факторов, серия из 36 параллельно экспонированных образцов делилась на три равные партии, которые испытывались:

- сразу после снятия с испытательной площадки (серия «без кондиционирования»);
- после сушки при 60 оС до постоянной массы в соответствии с ГОСТ Р 56762-2015. Композиты полимерные. Метод определения влагопоглощения и равновесного состояния» (серия «высушенные»);
- после увлажнения при относительной влажности $(98\pm 2)\%$ до постоянной массы в соответствии с ГОСТ Р 56762-2015 (серия «влажносодержащие»).

Кондиционирование образцов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 12423-2013. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов. Изменение массы образцов осуществлялось с помощью электронных весов марки GR-200 с точностью измерения 0,0001 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

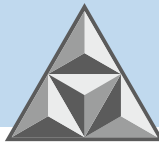
Изменение массы образцов после сушки и увлажнения по вышеуказанным режимам представлено в таблице 1. В зависимости от влажностного состояния образцов после снятия с испытательных стендов в процессе сушки и увлажнения до постоянной массы наблюдается снижение и прирост массы образцов на $0,67\div 1,09\%$ и $1,09\div 1,94\%$ соответственно. В зависимости от длительности натурального климатического старения размах изменения массы образцов составил от 2,09 до 2,72%, причем наибольшее значение было зафиксировано для образцов в контрольном состоянии.

Таблица 1. Изменение массы образцов полимера Этал-247/Этал-45М в процессе их сушки и увлажнения до постоянной массы

Table 1. Change in the mass of polymer samples Etal-247/Etal-45M during their drying and humidification to a constant mass

Влажностное состояние образцов	Длительность натурального экспонирования, мес.				
	0	2	5	10	18
Влажнонасыщенное	1,94	1,42	1,75	1,09	1,39
Высушенное	-0,79	-0,67	-0,69	-1,09	-0,79

Снижение прочностных показателей исследуемых полимеров при повышении влажности образцов в контрольном состоянии до их равновесного влажнонасыщения (по сравнению с высушенными) достигает 28,6% (рис. 1). Пределы прочности при растяжении



серий образцов состава Этал-45М/Этал-247 в равновесно-влажностном и высушенном состоянии близки и составляют около 37 МПа.

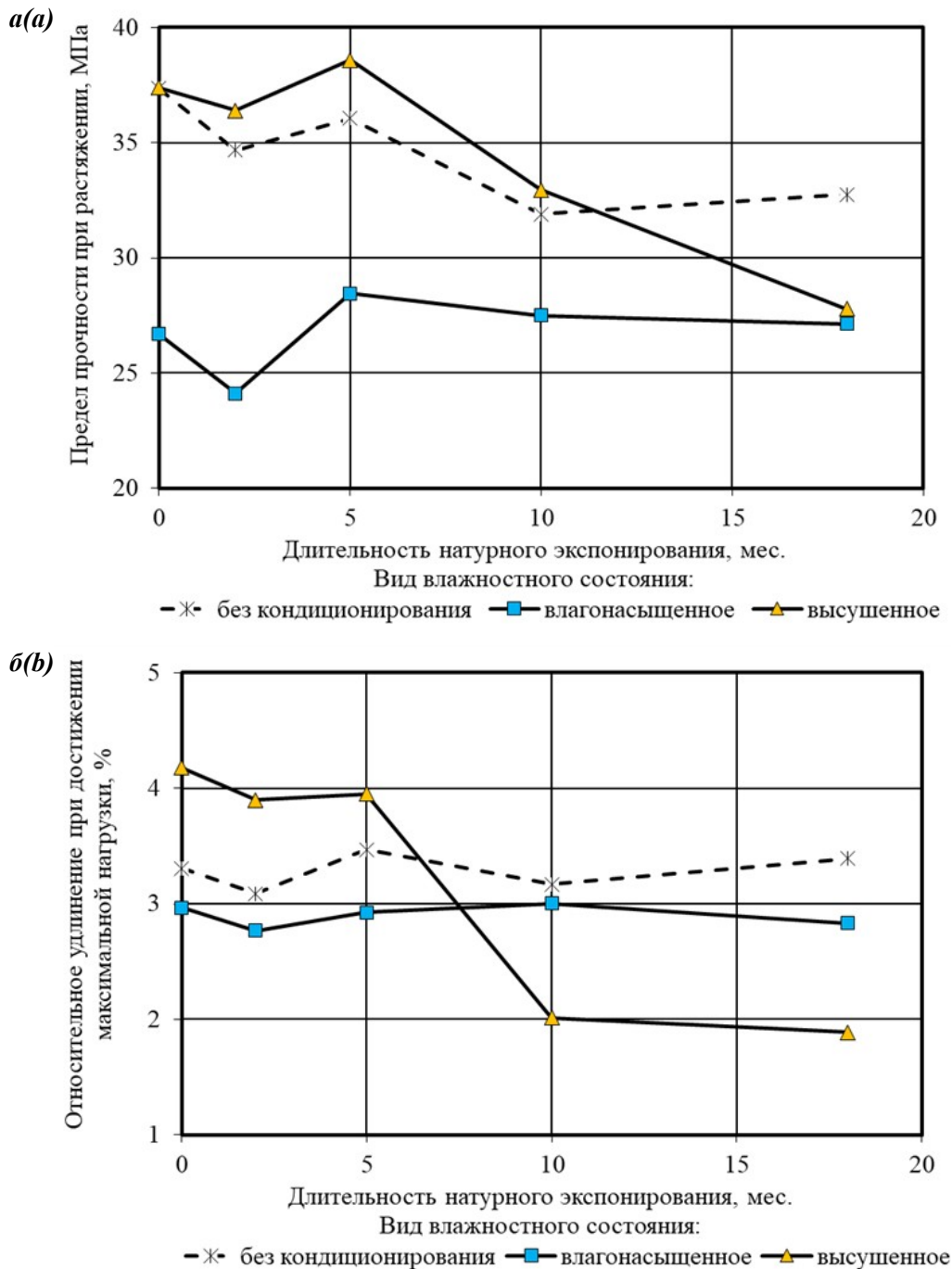


Рис. 1. Изменение предела прочности при растяжении (а) и относительного удлинения (б) при достижении образцами эпоксидного полимера Этал-247/Этал-45М максимальной нагрузки от длительности натурального экспонирования в условиях умеренно-континентального климата с учетом их влажностного состояния

Fig. 1. The change in the tensile strength (a) and elongation (b) when the samples of the epoxy polymer Etal-247/Etal-45M reach the maximum load from the duration of full-scale exposure in a temperate continental climate, taking into account their humidity state

Изменение средних значений предела прочности при растяжении и относительного удлинения образцов эпоксидного полимера при достижении максимальной нагрузки в

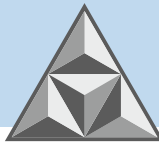


различном влажностном состоянии в зависимости от длительности климатического воздействия представлено на рис. 1. Установлено, что натурное экспонирование полимерных образцов исследуемого состава без дополнительной сушки и увлажнения сопровождается снижением прочностных показателей за весь период натурального времени экспонирования (1,5 года) не более чем на 15% (рис. 1, а). При этом влагонасыщение образцов способствует дополнительному уменьшению предела прочности при растяжении, достигающему 24–35% от исходного значения (до начала натурального экспонирования).

Прочностные показатели высушенных образцов, длительность натурального климатического воздействия которых не превышает 10 месяцев, выше аналогичных показателей для образцов, не подвергнутых дополнительному высушиванию (см. рис. 1, а). Подобное восстановление свойств относят к обратимому изменению прочностных показателей вследствие удаления свободной влаги. Помимо этого, с увеличением длительности натурального экспонирования наблюдается постепенное сужение диапазона варьирования прочностных показателей полимерных образцов во влагонасыщенном и высушенном состояниях. Через 18 месяцев натурального климатического воздействия различие прочностных показателей составляет всего 0,7 МПа. При этом предел прочности при растяжении для образцов, не подвергнутых дополнительному кондиционированию, выше аналогичного показателя в предельных влажностных состояниях на 15–18%. Очевидно для данной длительности натурального климатического воздействия наличие в структуре полимерной матрицы сорбированной влаги выступает в качестве механизма, компенсирующего необратимые изменения. При этом для состояния образцов в возрасте более 18 месяцев очевидно наличие некоторой точки оптимума влагосодержания, которой соответствует наибольшее значение предела прочности при растяжении. По аналогии с пластифицирующим действием влаги, можно предположить постепенное снижение вклада синергетического эффекта, проанализированного в работе [15], от максимального значения в точке, соответствующей влагонасыщенному состоянию, до нуля в точке, соответствующей высушенному состоянию.

Анализ изменения деформативных показателей полимера Этал-247/Этал-45М показал (см. рис. 1, б), что до 5 месяцев натурального экспонирования снижение влагосодержания приводит к уменьшению относительного удлинения при достижении образцами максимальных растягивающих нагрузок. Однако при дальнейшем повышении длительности климатического воздействия до 10 и 18 месяцев характер взаимного расположения средних значений относительного удлинения при растяжении в различных влажностных состояниях существенно меняется. В частности, сериям образцов в высушенном состоянии соответствуют наименьшие значения данного показателя, влагонасыщенным – промежуточные, а сериям «до кондиционирования» – наибольшие. Резкое снижение относительного удлинения при растяжении свидетельствует об изменении характера разрушения полимера при удалении из его структуры физически связанной воды на хрупкое разрушение, что также подтверждается и отсутствием на соответствующих кривых деформирования участка высокоэластических деформаций.

Проведем анализ различий в изменении предела прочности при растяжении в высушенном и влагонасыщенном состоянии для различного времени экспонирования (таблица 2). Он позволяет установить существование синергетического эффекта $\Delta R_{\text{синерг.}}$ между необратимыми структурными изменениями полимерной матрицы $\Delta R_{\text{необр.}}$, протекающими под действием факторов окружающей среды, и сорбированной влаги, а также количественно оценить его вклад в результирующее значение прочности. При этом, предполагая существование различия в изменении структуры полимерной матрицы после 2,



5, 10 и 18 месяцев натурального экспонирования, возникающий синергетический эффект может проявляться как в расширении (рис. 2, а), так и сужении (рис. 2, б) диапазона обратимого изменения механической прочности образцов $\Delta R_{обр}$.

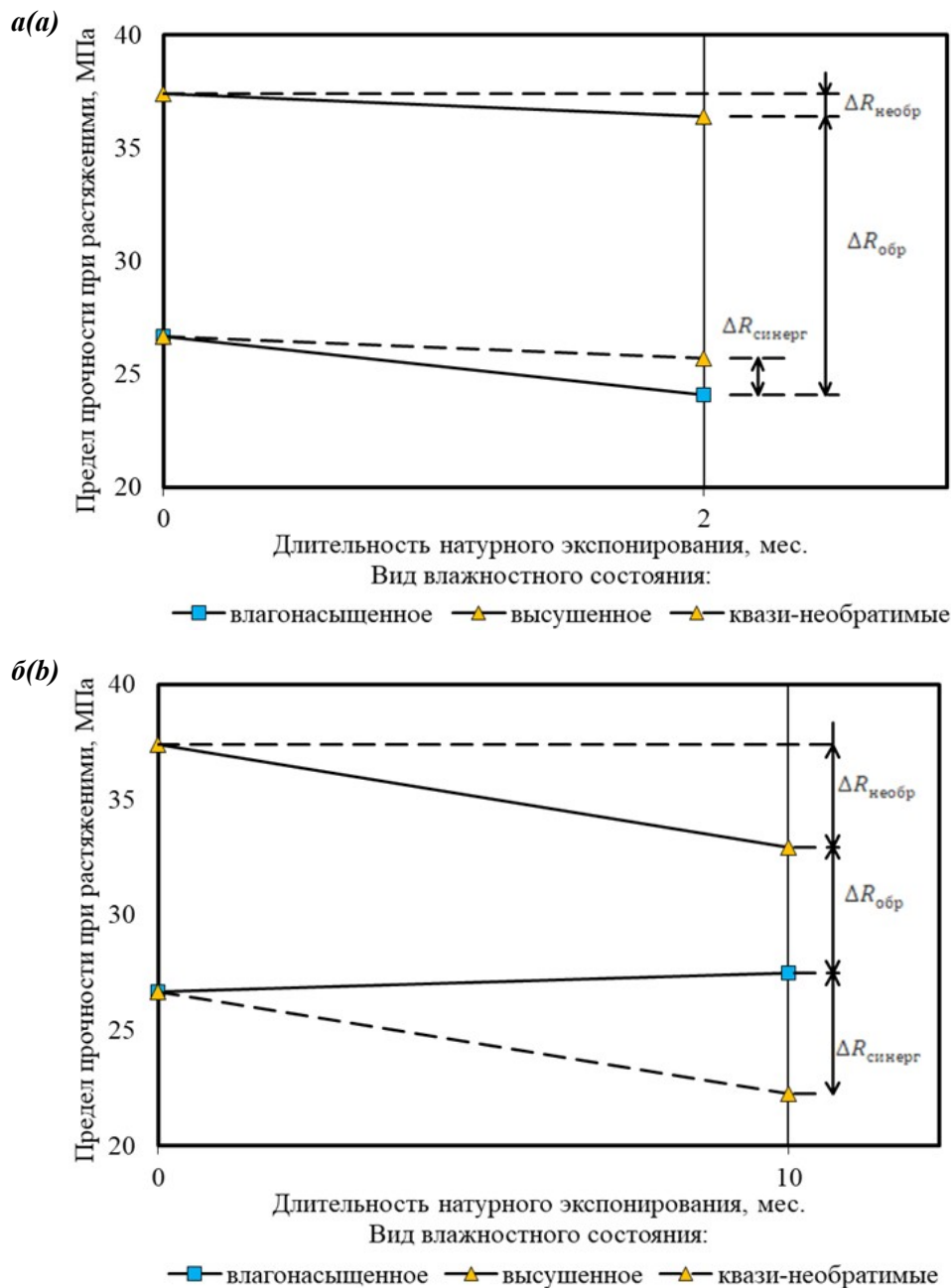
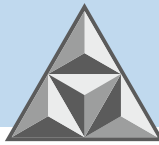


Рис. 2. Соотношение обратимых, необратимых и синергетических изменений механической прочности образцов эпоксидных полимеров после 2 (а) и 10 (б) месяцев натурального экспонирования в условиях умеренно-континентального климата

Fig. 2. The ratio of reversible, irreversible and synergetic changes in the mechanical strength of epoxy polymer samples after 2 (a) and 10 (b) months of full-scale exposure in a temperate continental climate

Числовые значения обратимых, необратимых и синергетических изменений прочностных показателей эпоксидного полимера состава Этал-247/Этал-45М относительно исходного состояния образцов в высушенном состоянии после натурального воздействия различной длительности представлены в таблице 2. Выявлено существенное снижение обратимых изменений прочностных показателей исследуемого полимера с увеличением



длительности натурального воздействия, составляющее к 18 месяцам климатического воздействия всего 0,6 МПа. Необратимое изменение свойств к этому же временному интервалу по сравнению с прочностью полимера в высушенном состоянии составляет 25,7%, синергетические изменения достигают 10,1 МПа.

Таблица 2. Абсолютные значения необратимых, обратимых и синергетических изменений механической прочности образцов после натурального экспонирования в условиях умеренно-континентального климата

Table 2. Absolute values of irreversible, reversible and synergetic changes in the mechanical strength of samples after full-scale exposure in a temperate continental climate

$\Delta R_{\text{необр}}$ $\Delta R_{\text{обр}}$ $\Delta R_{\text{синерг}}$ Длительность натурного экспонирования, мес.	Необратимые изменения, МПа	Обратимые изменения, МПа	Синергетические изменения, МПа
0	-	10,7	-
2	-1	12,3	-1,6
5	1,2	10,1	0,6
10	-4,4	5,5	5,2
18	-9,6	0,6	10,1

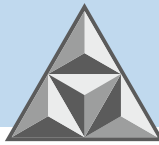
ВЫВОДЫ

Анализ результатов проведенных исследований показал, что содержание сорбированной влаги представляет собой значимый источник обратимых изменений упруго-прочностных показателей полимеров на основе эпоксидной смолы Этал-247 и отвердителя Этал-45М. Выявлен и количественно оценен синергетический эффект между необратимыми структурными изменениями полимерной матрицы, возникающими в процессе натурального климатического старения, и сорбированной влагой. В зависимости от длительности натурального климатического старения, диапазон варьирования предела прочности образцов при растяжении в различных влажностных состояниях составляет от 14 до 33% от значения предела прочности в высушенном состоянии.

Наличие в структуре полимерной матрицы сорбированной влаги на поздних этапах климатического старения может выступать в качестве механизма, компенсирующего необратимые изменения, произошедшие в структуре полимерной матрицы в процессе натурального климатического старения. По аналогии с пластифицирующим действием влаги, можно предположить постепенное снижение вклада рассматриваемого синергетического эффекта от максимального значения в точке, соответствующей влагонасыщенному состоянию, до нуля в точке, соответствующей высушенному состоянию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Abdelkader Dehbi, Abdel-Hamid I. Mourad, Amar Bouaza** Degradation assessment of LDPE multilayer films used as a greenhouse cover: Natural and artificial aging impacts // *Journal of Applied Polymer Science*. 2011. Vol. 124, no. 4. P. 2702-2716.
2. **Ефимов В.А., Кириллов В.Н., Добрянская О.А., Николаев Е.В., Шведкова А.К.** Методические вопросы проведения натуральных климатических испытаний полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. № 4(17). С. 25-31.
3. **Lettieri M., Frigione M.** Natural and artificial weathering effects on cold-cured epoxy resins // *Journal*



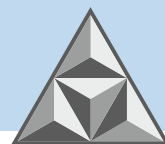
of Applied Polymer Science. 2011. Vol. 119, no. 3. P. 1635-1645.

4. **Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н.** Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // *Деформация и разрушение материалов*. 2010. № 11. С. 19–27.
5. **Startsev O.V., Krotov A.S., Golub P.D.** Effect of climatic and radiation ageing on properties of glass fiber reinforced plastic VPS-7 // *International journal of polymeric materials*. 1998. Vol. 41, no. 3–4. P. 26-273.
6. **Kablov E.N., Startsev V.O.** Climatic aging of aviation polymer composite materials: I. influence of significant factors // *Russian metallurgy (Metally)*. 2020. No. 4. P. 364-372.
7. **Старцев В.О.** Методы исследования старения полимерных связующих // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2020. №9. С. 16-26.
8. **Бабенко Ф.И., Герасимов А.А.** Механизмы разрушения и прочность конструкционных пластмасс в холодном климате с учетом старения // *Наука и образование*. 2006. № 1. С. 84–87.
9. **Реутов А.И.** Прогнозирование климатической стойкости полимерных материалов, применяемых в строительстве // *Вестник ТГАСУ*. 2009. № 2. С. 127–141.
10. **Nizin D.R., Nizina T.A., Selyaev V.P., Chernov A.N., Gorenkova A.I.** Natural Climatic Aging of Epoxy Polymers Tasking into Account the Seasonality Impact // *Key engineering materials*. 2019. Vol. 799. P. 159-165.
11. Климатические испытания строительных материалов / под общ. ред. О.В. Старцева, В.Т. Ерофеева, В.П. Селяева. М.: Изд-во АСВ, 2017. 558 с.
12. **Павлов Н.Н.** Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия, 1982. 224 с.
13. **Старцев В.О., Низина Т.А.** Обратимое воздействие влаги на механические свойства эпоксидных полимеров при климатическом старении // *Фундаментальные исследования и последние достижения в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и сложных технических систем в различных климатических условиях: материалы конф.* / ФГУП ВИАМ. 14-15 июля 1916 г., г. Геленджик. URL: <https://conf.viam.ru/conf/194/proceedings>.
14. **Startsev V.O., Lebedev M.P., Khrulev K.A., Molokov M.V., Frolov A.S., Nizina T.A.** Effect of outdoor exposure on the moisture diffusion and mechanical properties of epoxy polymers // *Polymer testing*. 2018. T. 65. P. 281-296.
15. **Старцев В.О., Плотников В.И., Антипов Ю.В.** Обратимые эффекты влияния влаги при определении механических свойств ПКМ при климатических воздействиях // *Труды ВИАМ*. 2018. № 5. С. 110-118.
16. **Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р.** Климатическая стойкость эпоксидных полимеров в умеренно континентальном климате: монография. Саранск: Изд-во Мордов. гос. Ун-та, 2020. 188 с.
17. **Низина Т.А., Низин Д.Р., Канаева Н.С., Климентьева Д.А., Порватова А.А.** Влияние влажностного состояния на кинетику накопления повреждений в структуре образцов эпоксидных полимеров под действием растягивающих напряжений // *Эксперт: теория и практика*. 2022. № 1. С. 37-45.

Поступила в редакцию 09.03.2022

Одобрена после рецензирования 16.03.2022

Принята к опубликованию 22.03.22



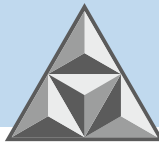
REFERENCES

1. **Dehbi Abdelkader, Abdel-Hamid I. Mourad & Amar Bouaza** (2011) Degradation assessment of LDPE multilayer films used as a greenhouse cover: Natural and artificial aging impacts, *Journal of Applied Polymer Science*, 124(4), pp. 2702-2716.
2. **Efimov, V.A., Kirillov, V.N., Dobryanskaya, O.A., Nikolaev, E.V. & Shvedkova A.K.** (2010) Methodological issues of conducting full-scale climatic tests of polymer composite materials, *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, (4), pp. 25–31 (in Russian).
3. **Lettieri, M. & Frigione, M.** (2011) Natural and artificial weathering effects on cold-cured epoxy resins, *Journal of Applied Polymer Science*, 119(3), pp. 1635-1645.
4. **Kablov, E.N., Startsev, O.V., Krotov, A.S. & Kirillov, V.N.** (2010) Climatic aging of composite materials for aviation purposes. I. Mechanisms of aging, *Deformaciya i razrushenie materialov*, (11), pp.19–27(in Russian).
5. **Startsev, O.V., Krotov, A.S. & Golub, P.D.** (1998) Effect of climatic and radiation ageing on properties of glass fiber reinforced plastic VPS-7, *International journal of polymeric materials*, 41(3–4), pp. 263–273.
6. **Kablov, E.N. & Startsev, V.O.** (2020) Climatic aging of aviation polymer composite materials: I influence of significant factors. *Russian metallurgy (Metally)*, (4), pp. 364-372.
7. **Startsev, V.O.** (2020) Methods of studying the aging of polymer binders, *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, (9), pp.16-26 (in Russian).
8. **Babenko, F.I.** (2006) Fracture mechanisms and strength of engineering plastics in cold climates with aging taken into account, *Nauka i obrazovanie*, (1), pp. 84–87 (in Russian).
9. **Reutov, A.I.** (2009) Prediction of the climatic resistance of polymer materials used in construction, *Vestnik TGASU*, (2), pp. 127–141 (in Russian).
10. **Nizin, D.R., Nizina, T.A., Selyaev, V.P., Chernov, A.N. & Gorenkova, A.I.** (2019) Natural Climatic Aging of Epoxy Polymers Taking into Account the Seasonality Impact, *Key engineering materials*, 799, pp. 159-165.
11. **Startseva, O.V., Erofeeva, V.T. & Selyaeva, V.P.** (eds.). (2017) *Climatic tests of building materials*. M.: ASV Publishing House (in Russian).
12. **Pavlov, N.N.** (1982) *Aging of plastics in natural and artificial conditions*. M.: Chemistry (in Russian).
13. **Startsev, V.O. & Nizina, T.A.** (2016) Reversible effect of moisture on the mechanical properties of epoxy polymers during climatic aging, *Fundamental'nye issledovaniya i poslednie dostizheniya v oblasti zashchity ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenij materialov i slozhnykh tekhnicheskikh sistem v razlichnykh klimaticheskikh usloviyah: materialy konf. / FGUP VIAM. 14-15 iyulya 1916 g., g. Gelendzhik* [online]. Available at: <https://conf.viam.ru/conf/194/proceedings> (in Russian).
14. **Startsev, V.O., Lebedev, M.P., Khrulev, K.A., Molokov, M.V., Frolov, A.S. & Nizina, T.A.** (2018) Effect of outdoor exposure on the moisture diffusion and mechanical properties of epoxy polymers, *Polymer testing*, 65, pp. 281-296.
15. **Startsev, V.O., Plotnikov, V.I. & Antipov, Yu.V.** (2018) Reversible effects of moisture in determining the mechanical properties of PCM under climatic influences, *Trudy VIAM*, (5), pp. 110–118 (in Russian).
16. **Nizina, T.A., Selyaev, V.P. & Nizin, D.R.** (2020) *Climatic resistance of epoxy polymers in a temperate continental climate*. Saransk: Publishing House MRSU (in Russian).
17. **Nizina, T.A., Nizin, D.R., Kanaeva, N.S., Klimenteva, D.A. & Porvatova, A.A.** (2022) Influence of moisture state on the kinetics of damage accumulation in the structure of epoxy polymer samples under the action of tensile stresses, *Ekspert: teoriya i praktika*, (1), pp. 37-45 (in Russian).

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_30

Оптимизация составов композиционных материалов на основе технологии полиструктурной интеграции гетерогенных материалов

А.А. Овчинников¹, Д.В. Обручев², И.Н. Данилов²

Александр Александрович Овчинников

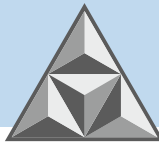
¹ООО «СтройКом», Иваново, Российская Федерация,
nisigasa@mail.ru

Дмитрий Витальевич Обручев

²ООО «Экспресс-Партнер», Иваново, Российская Федерация
nisigasa@mail.ru

Игорь Николаевич Данилов

²ООО «Экспресс-Партнер», Иваново, Российская Федерация
nisigasa@mail.ru



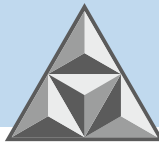
Статья направлена на решение вопроса оптимизации состава композита, разработанного на основе обобщений теоретических представлений о зависимости эксплуатационных характеристик композиционных материалов от их состава и структуры. Исходя из полиструктурной теории бетона, в статье формулируются положения о влиянии компонентов на различные структурные уровни композита, экспериментально доказываемая возможность качественного управления свойствами материалов и характеристиками конечных объектов городской инфраструктуры на их основе. В статье рассмотрены существующие и перспективные методы создания вариатронных полиструктурных композиционных материалов. Приведены результаты экспериментов по подбору составов композита на основе представления о его структуре как сложной системе. Представлены результаты экспериментов по оптимизации состава композита, позволяющие обеспечить эффективную совместную работу элементов гетерогенного материала и рациональное управление свойствами конечного объекта городской инфраструктуры с учетом требований к условиям эксплуатации. Предложены технологические решения по производству объектов городской среды из разработанного композиционного материала.

Ключевые слова: строительные материалы, композиты, композиционные материалы, полиструктурная интеграция, полиструктурная теория бетона, бетон, вариатронная структура

Для цитирования:

Овчинников А.А., Обручев Д.В., Данилов И.Н. Оптимизация составов композиционных материалов на основе технологии полиструктурной интеграции гетерогенных материалов // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 1. С. 30-46. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_30



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_30

Optimisation of composite material structure based on the technology of polystructural integration of heterogeneous materials

A.A. Ovchinnikov¹, D.V. Obruchev², I.N. Danilov²

Aleksandr A. Ovchinnikov

¹JSC "StroyCom", Ivanovo, Russian Federation

nisigasa@mail.ru

Dmitry V. Obruchev

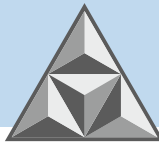
²JSC "Express-Partner", Ivanovo, Russian Federation

nisigasa@mail.ru

Igor N. Danilov

²JSC "Express-Partner", Ivanovo, Russian Federation

nisigasa@mail.ru



The article considers the problem of the composite structure optimization developed on the basis of general theoretical concepts about the dependence of the performance characteristics of composite materials on their composition and structure. Based on the poly-structural theory of concrete, the article formulates provisions on the influence of components on different structural levels of the composite and experimentally proves the possibility of qualitative control of material properties and characteristics of final urban infrastructure objects based on them. This article discusses existing and promising methods for creating variotropic polystructured composite materials. The paper presents the results of experiments on the selection of composite structure considering this particular structure as a complex system. Also the paper provides the experimental results on optimisation of composite structure. These results allow efficient cooperation of the heterogeneous material elements and rational management of the properties of the final object of the urban infrastructure, taking into account the requirements for operating conditions. The authors also propose the technological solutions for the production of environment objects made of the developed composite material.

Key words: construction materials, composites, composite materials, polystructural integration, polystructural theory of concrete, concrete, variotropic structure

For citation:

Ovchinnikov, A.A., Obruchev. D.V., Danilov, I.N. (2022) Optimisation of composite material structure based on the technology of polystructural integration of heterogeneous materials, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 30-46 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_30



ВВЕДЕНИЕ

Современная городская среда формируется рядом объектов, включающих в себя арт-объекты – малые архитектурные формы, объекты сети уличного спорта – спортивные площадки, тренажеры, искусственные препятствия для паркура, детские площадки и иные элементы различной сложности и назначения. Такого рода объекты эксплуатируются в агрессивной городской среде, подвергаясь воздействиям не только солнца, влаги, температуры и ветра, но и пыли, автомобильных и промышленных выбросов, механическому воздействию и актам вандализма. Кроме того, само назначение объектов городской среды – быть эксплуатируемыми человеком – требует от них высокой эксплуатационной стойкости и минимальных затрат на поддержание в работоспособном состоянии [1-3].

Недостатками традиционных материалов, таких как металл, бетон, дерево или пластик, являются ограниченность возможностей применения и относительно низкая стойкость значительной части материалов к внешним агрессивным воздействиям. Также классические материалы плохо интегрируются между собой, что приводит к быстрой потере рабочих характеристик, в том числе декоративной выразительности и общей эстетичности изделия. Поэтому для обеспечения таких характеристик объекты городской среды предпочтительнее изготавливать из системы различных материалов или композиционных материалов [4, 5].

Высокие эксплуатационные качества объектов городской среды могут быть обеспечены применением высокотехнологичных композиционных материалов, объединяющих в себе свойства полимерных композитов и композитов на минеральной основе, отличающихся высокой прочностью и трещиностойкостью, низкой теплоемкостью и теплопроводностью, стойкостью к агрессивным воздействиям окружающей среды и, как следствие, значительной долговечностью. К таким материалам относятся композиты, полученные на основе рационального управления структурой на микро-, мезо- и макроуровне, состоящие из разнородных исходных компонентов, работающих совместно с синергетическим эффектом и формирующих комплекс новых свойств конечного объекта. Поэтому разработка композиционных материалов и технологии их полиструктурной интеграции для создания и организации производства объектов городской среды, малых архитектурных форм и арт-объектов является актуальной [6-8].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Первоначальные этапы исследования, отраженные в ранее опубликованной статье [9], определили основные принципы управления структурой композита на разных уровнях. Исходя из полиструктурной теории бетона [10-12] были определены основные уровни композиционного материала, влияние их на общие и эксплуатационные свойства материала и свойства объектов – малых архитектурных форм (МАФ) из этого материала.

Проведенные исследования позволили получить композиционный материал, обладающий рядом необходимых для МАФ свойств: высокой прочностью при сжатии 46–49 Н/мм², истираемостью не более 0,55 г/см², коэффициентом линейного расширения 0,52 мм/м, теплоемкостью 1,14 кДж/(кг·°С) и теплопроводностью 0,65 Вт/(м·°С). Достигнутые характеристики композиционного материала достаточны для изготовления изделий, подвергающихся воздействию попеременного увлажнения–высыхания, замораживания–оттаивания, абразивному истиранию, механическим нагрузкам. Полученные характеристики соответствуют требованиям к конструкционному бетону для изделий капитальностью более



100 лет.

В целях совершенствования состава композита были проведены комплексные испытания разработанного материала, была разработана программа испытаний и согласно ей изготовлены и испытаны образцы – кубы с гранью 100 мм, балки с размерами 40x40x160 мм для стандартных испытаний.

Изготовление образцов для стандартных лабораторных испытаний осуществлялось согласно требованиям ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 13087-2018, ГОСТ 12730.1-78, ГОСТ 12730.4-78, ГОСТ 12730.3-78, ГОСТ 23250-78, ГОСТ 7076-99, ГОСТ 29167-91, ГОСТ 30459-2008.

Опытные образцы изготавливались из смеси с составом, включающим в себя портландцемент белый, ЦЕМ I 42,5Б, песок фракции 0,63, микрокальцит 30–60 мкм, редиспергируемый порошок ОРР Hydroflex 64, гиперпластификатор ПК-40, замедлитель схватывания НТФ, ускоритель твердения – нитрат кальция.

Опытные образцы изготавливались согласно требованиям п. 4.1 ГОСТ 10180-2012. В условиях закрытой лаборатории, при температуре воздуха 20–22 °С и относительной влажности 60–65% производился ряд опытных замесов компонентов в объеме по 15 литров за замес для изготовления партии по 6 образцов-кубов с гранью 100 мм или 15 балочек с размерами 40x40x160 мм.

Изготовленные таким образом лабораторные образцы-кубы и балки направлялись для испытания их характеристик – прочности при сжатии, истираемости, плотности, водопоглощения, линейных деформаций и теплотехнических характеристик, согласно разработанной программе испытаний. Результаты стандартных испытаний образцов композита представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики композиционного материала

Table 1. The main characteristics of the composite material

Свойство материала	Значение показателя образца	Среднее значение показателя
Плотность образца, кг/м ³	2199	2136,7
	2134	
	2129	
	2115	
	2126	
	2117	
Прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	46,3	46,6
	44.4	
	47.5	
	47	
	47,5	
	47,4	
Линейное расширение, %	0,0002	0,00052
	0,0005	
	0,0004	
	0,0008	
	0,0006	
	0,0006	
Истираемость, г/см ²	0,57	0,55
	0,55	
	0,52	
	0,56	



Свойство материала	Значение показателя образца	Среднее значение показателя
	0,54	
	0,53	
Теплоемкость, кДж/кг·°С	1.2	1,14
	1.15	
	1.18	
	1.05	
	1.12	
	1.15	
Теплопроводность, Вт/м·°С	0,67	0,65
	0,65	
	0,62	
	0,66	
	0,64	
	0,63	

Так как разрабатываемый композиционный материал предполагается к использованию для создания МАФ, то кроме основных физико-механических свойств изделия из этого материала должны обладать поверхностью такого качества, которое долговременно обеспечивает высокие эксплуатационные свойства изделия, в том числе органолептические и эстетические. Качество поверхности, включая ее способность сохранять цвет и фактуру, отталкивать воду, растворы солей, красящие растворы и т.п., зависит от ряда факторов, в том числе от водопоглощения материала. Регуляция водопоглощения осуществлялась путем управления средней плотностью бетона, его структурой и гидрофобными свойствами поверхности.

Таблица 2. Зависимость плотности материала от расхода добавки пеногасителя

Table 2. Dependence of the material density on the defoamer additive consumption

Расход	Плотность, г/см ³			
	Peramin DEFOAM 50PE	Axilat DF770 DD	ADEKA NATE B-213F	Д600
0	1,95	1,95	1,95	1,95
0,25	2,05	2,1	2,1	2,07
0,5	2,1	2,15	2,11	2,08
0,75	2,12	2,18	2,15	2,1
1	2,12	2,19	2,15	2,1

Для снижения открытой пористости, которая определяет водопоглощение, а также общей пористости, от которой зависит морозостойкость, применялись добавки, обеспечивающие резкое повышение плотности бетона путем вытеснения воздуха. Были применены пеногасители различного происхождения и найдены их оптимальные концентрации. Результаты представлены в таблицах 2 и 3, на рисунках 1 и 2.

В результате исследований установлено, что максимальная плотность композита при минимальном водопоглощении достигается при значении для наиболее эффективной добавки Axilat DF770 DD 0,75% по массе вяжущего.

Однако такой состав остается с относительно высоким водопоглощением – до 2,5%, что не может считаться гидрофобным составом. Поэтому была проведена корректировка состава путем введения гидрофобизирующей добавки – стеарата цинка (рис. 3).

В результате получены материалы и изделия на их основе с характеристиками: класс



композита по прочности при сжатии варьируется в диапазоне $B25 \pm 5\%$; плотность – $2,1-2,2 \text{ т/м}^3$; водопоглощение – менее $0,7-0,5\%$; истираемость – $0,5-0,7 \text{ г/см}^2$. Цвет бетона – максимально приближенный к RAL 1013, поверхность – полуматовая, гидрофобная, гладкая, однородная, без разводов и высолов, без зернистости.

Таблица 3. Водопоглощение материала в зависимости от расхода добавки пеногасителя

Table 3. Water absorption of the material depending on the defoamer additive consumption

Расход	Водопоглощение, % по массе			
	Peramin DEFOAM 50PE	Axilat DF770 DD	ADEKA NATE B-213F	Д600
0	4	4	4	4
0,25	3,5	3,2	3,5	3,8
0,5	3,2	2,8	3,2	3,6
0,75	3	2,5	2,8	3,4
1	2,8	2,5	2,7	3,5

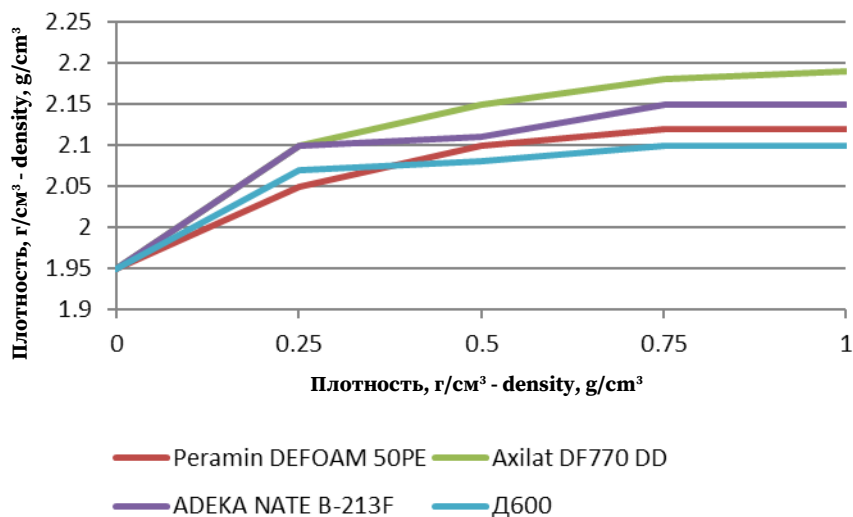


Рис. 1. Зависимость плотности материала от расхода добавки пеногасителя

Fig. 1. Dependence of the material density on the defoamer additive consumption

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИСТРУКТУРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Основными методами разработки, оптимизации и исследования композиционного материала для технологии полиструктурной интеграции гетерогенных систем является проведение экспериментов согласно действующим нормативам. Однако подбор состава сырьевой смеси композита должен включать в себя и отдельную разработку методов модификации смеси, исследование ее свойств, а также оптимизацию структуры материала, что значительно увеличивает число экспериментов.

Для повышения эффективности проведения исследовательских и оптимизационных экспериментов применялись методы математического планирования и статистического анализа данных [13, 14]. Математической моделью выступал полином первого или второго порядка. Анализ полинома позволяет оптимизировать состав композита путем установления экстремумов функции [15-17].

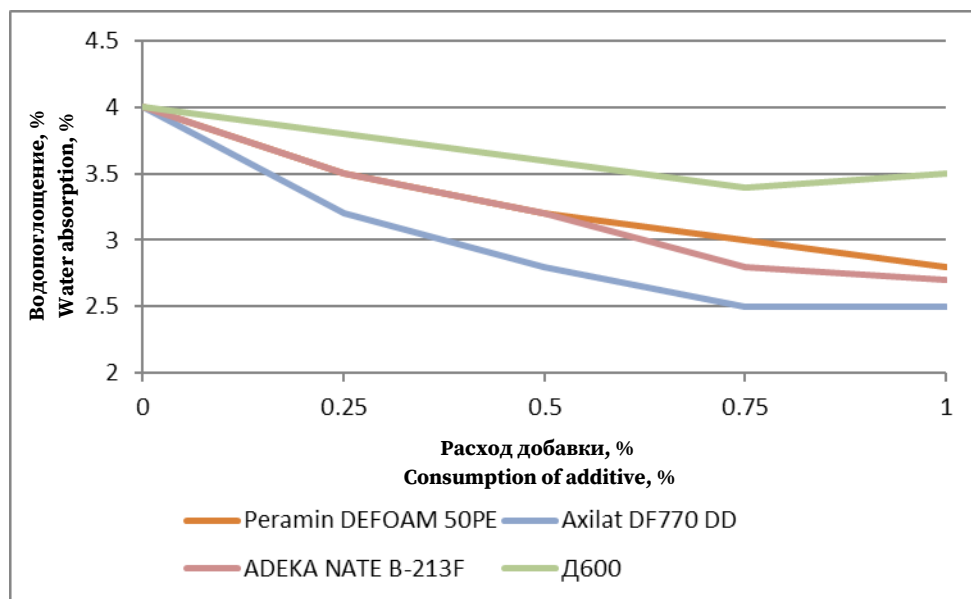
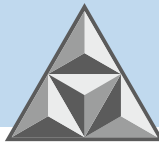


Рис. 2. Водопоглощение материала в зависимости от расхода добавки пеногасителя

Fig. 2. Water absorption of the material depending on the defoamer additive consumption

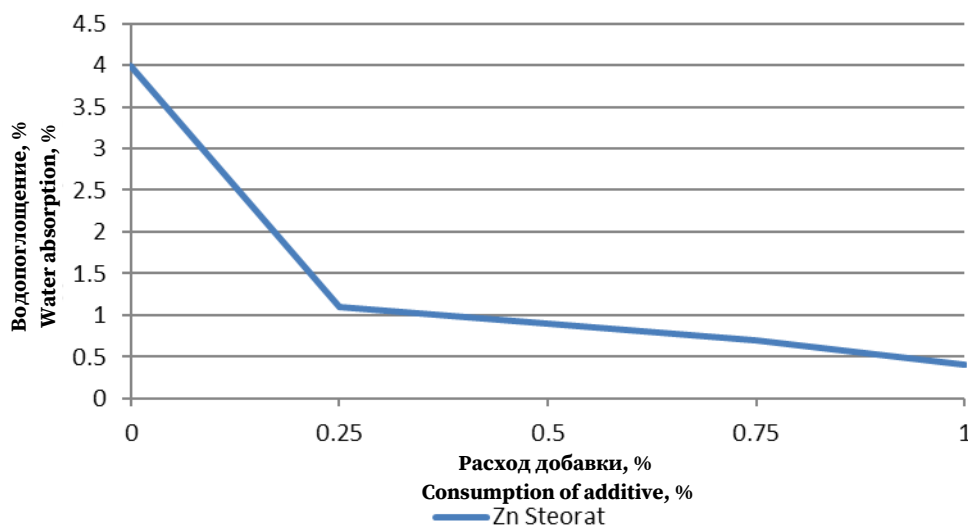


Рис. 3. Зависимость водопоглощения от расхода добавки гидрофобизатора

Fig. 3. Dependence of water absorption on the hydrophobizer additive consumption

Исследования для оптимизации состава композиционного материала проводились с применением D-оптимальных планов типа 2^n+2n+1 . Значимость коэффициентов уравнения устанавливали по критерию Стьюдента. Адекватность полученных математических моделей проверяли по критерию Фишера.

Для композиционного материала, применяемого для создания МАФ, эксплуатируемых в условиях городской среды, кроме архитектурно-художественной выразительности, которая обеспечивается качеством поверхности и цветом, важнейшим критерием оптимизации является прочность. От прочности материала зависят эксплуатационные параметры конструкции, в том числе долговечность. В свою очередь, прочность формируется в результате оптимизации не только состава смеси, но и ее технологических параметров на стадии формования и твердения. Поэтому получение высокоподвижной, самоуплотняющейся бетонной смеси является важным фактором в получении плотной и



прочной структуры композита.

Поликарбоксилатный гиперпластификатор, применяемый для исследований, имеет максимальную разжижающую способность, таким образом обеспечивая значительное снижение водоцементного отношения в бетонной смеси, что приводит к возможности повышения прочностных показателей композита без увеличения расхода цемента. Кроме того, гиперпластификатор влияет на скорость и направленность протекания реакций гидратации и, как следствие, на результат этих реакций – синтез низкоосновных гидросиликатов кальция – тоберморита и ксонотлита, формирующих максимальную прочность.

Однако простое введение карбоксилатного гиперпластификатора сопровождается значительным воздухововлечением и даже пенообразованием. Это может приводить к сегрегации смеси, разуплотнению структуры и появлению дефектов на поверхности. Для компенсации негативного воздействия и дополнительного уплотнения бетонной смеси в состав композита был введен пеногаситель. Пеногаситель благодаря изменению поверхностного натяжения водного раствора смеси обеспечивает коалесценцию пузырьков воздуха, вовлеченного в смесь.

Таким образом, в качестве критериев оптимизации состава были приняты подвижность бетонной смеси и ее прочность. Оптимальные с этой точки зрения составы также испытывались на истираемость, определялся коэффициент линейного расширения, а также устанавливались значения теплоемкости и теплопроводности.

На первом этапе для обеспечения максимальной прочности оптимизировалось соотношение минерального вяжущего вещества и наполнителя при стабильном расходе песка относительно смеси вяжущего и муки. Результат моделирования представлен на рис. 4.

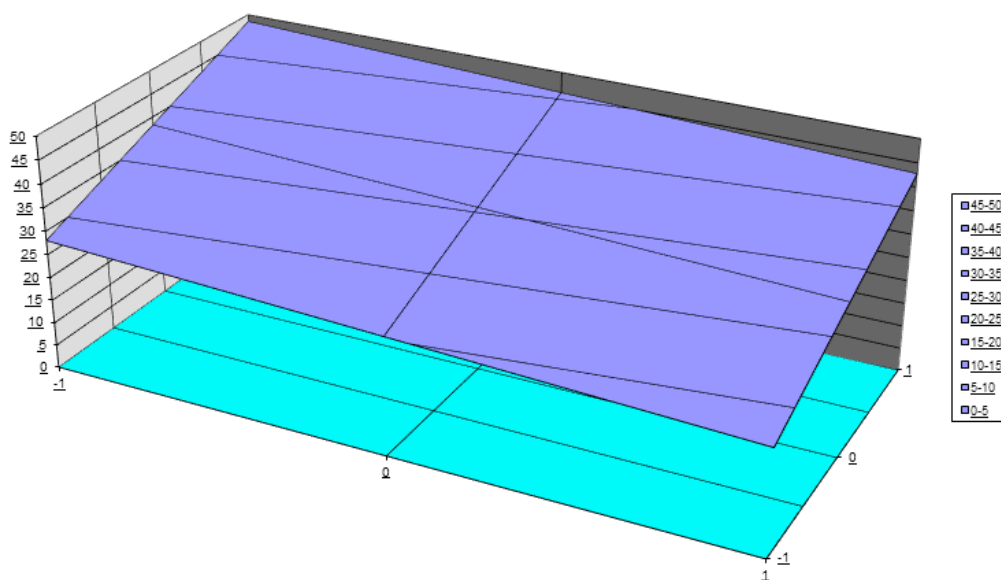


Рис. 4. Зависимость прочности от соотношения вяжущего и наполнителя

Fig. 4. Dependence of strength on the binder/filler ratio

Уравнение регрессии, адекватно описывающее закономерности влияния соотношения компонентов на прочностные характеристики композита, имеет линейный вид:

$$Y = 35.4 + 10.2x_1 - 2.85x_2.$$



Результат моделирования показывает, что наиболее значимое влияние оказывает расход цемента x_1 , при этом изменение переменной на значение шага интервала варьирования вверх прибавляет композиту 10 МПа прочности. Обратным эффектом обладает расход наполнителя, x_2 , но с меньшим параметром – 2,85 МПа.

Следующим этапом оптимизации было определение наилучшего соотношения пластификатора и пеногасителя в системе, так как увеличение расхода пеногасящей добавки приводит к резкому снижению подвижности смеси и, как следствие, ее формуемости, а значит, к ухудшению качества поверхности материала. Пластификатор должен компенсировать эти недостатки, однако его влияние носит нелинейный характер, в связи с чем необходимо перейти к плану второго порядка. Результат моделирования представлен на рис. 5.

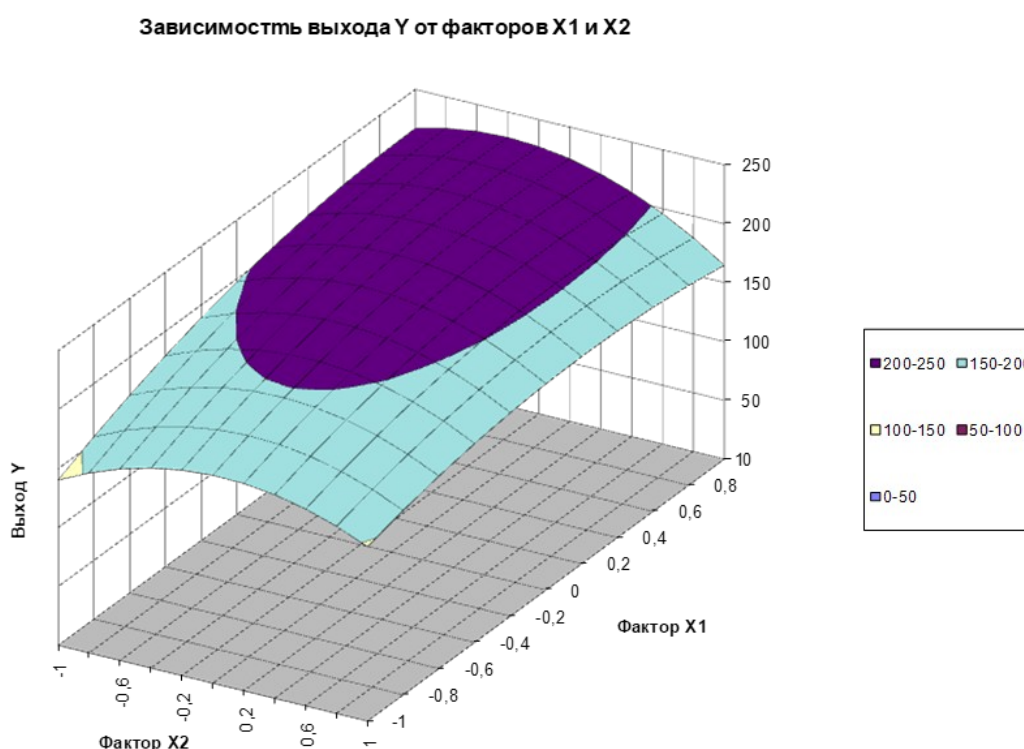


Рис. 5. Зависимость подвижности смеси от расходов гиперпластификатора и пеногасителя
Fig. 5. Dependence of the mixture mobility on the hyperplasticizer and defoamer consumption

В результате моделирования получено адекватное уравнение, описывающее зависимость подвижности смеси от расходов гиперпластификатора и пеногасителя:

$$Y = 218.6 + 23.3x_1 - 11.2x_2 - 18.8x_1^2 - 32.3x_2^2 - 15x_1x_2.$$

Уравнение носит нелинейный характер, все его коэффициенты значимы. Это означает, что при оптимизации необходимо учитывать взаимодействие компонентов между собой. Дифференцируя уравнение в частных производных, находим, что экстремум лежит на границе факторного пространства по оси расхода гиперпластификатора x_1 , соответствующего концентрации ПК-40 0,8%, и при расходе пеногасителя x_2 , равном 0,6%. Такое соотношение компонентов обеспечивает максимальную подвижность смеси при сохранении качественной поверхности и максимальной плотности композита.

Характеристики оптимизированного материала представлены в таблице 4.

**Таблица 4.** Значения технологических показателей оптимизированного композита**Table 4.** Values of technological indicators of the optimized composite

Уровень структуры композита	Свойства композита, формирующиеся на уровне	Значение
Микроуровень	Прочность, Н/мм ²	37,3-46,6
	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,65
	Гидрофобность (водопоглощение), %	менее 2%
Мезоуровень	Истираемость, г/см ²	0,55
	Линейные деформации, мм/м	0,052
Макроуровень	Плотность, г/см ³	0,7-2,1
	Теплоемкость, кДж/(кг·°С)	1,0-1,14
	Долговечность, лет	30-35

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИСТРУКТУРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

Исходя из требований к изделию, его массогабаритных и физико-механических характеристик, а также специфики разработанного композиционного материала, были проанализированы существующие способы изготовления малых архитектурных форм и иных объектов городской среды.

В значительной мере способ изготовления объектов определяется основными используемыми при этом конструкционными материалами. Так, для металлических конструкций с различного вида отделкой используют стандартный металлический прокат, объединенный после гнутья или правки в единую систему при помощи сварных или болтовых соединений. Технология его производства по большей мере сводится к резке проката на элементы изделия, их сборке и покраске с последующим монтажом деталей из деревянных, пластиковых или иных материалов. Монтаж изделия может производиться как в условиях предприятия, так и непосредственно на уличной площадке в городе. Деревянные конструкции и МАФ из них – наиболее простые по технологии изготовления – требуют лишь распиловки, нагельного соединения и окраски. Бетонные МАФ отличаются более сложной технологией изготовления, т.к. не являются объединением в конструкцию стандартных элементов, промышленно изготовленных на существующих предприятиях. Они уже требуют специальной опалубки, специфических условий изготовления отдельных элементов и последующего их объединения в конструкцию.

Более сложные малые архитектурные формы объединяют в себе вышеперечисленные материалы и конструкции из них, еще более усложняя технологию производства.

Разработанный композит является материалом с интегрированными в него иными видами элементов, обеспечивающих такие свойства изделий, которые, несмотря на воздействие агрессивных сред, значительно увеличивают срок нормативной эксплуатации изделий при снижении эксплуатационных затрат. Технология производства многокомпонентных композиционных систем представляет собой интеграцию компонентов посредством минерально-органического связующего, имеющего характеристики, компенсирующие разность линейных и объемных температурных деформаций элементов конструкции.

Технология решает актуальные проблемы совместной работы разнородных компонентов



в единой конструкции в отличие от традиционных изделий не за счет болтовых, нагельных и т.п. соединений механического типа, а за счет формирования единого полиструктурного композита. Такая система обеспечивает работу изделия как единого целого, превращаясь из системы отдельных элементов, объединенных дискретными связями, в единый материал.

Разработанный композиционный материал относится к искусственным камнеподобным материалам, полученным в результате твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси химически активных и инертных материалов. Такие системы способны в результате физико-химических превращений – за счет гидратации клинкерных минералов вяжущего и полимеризации органического компонента, в обычных физических условиях (при комнатной температуре и влажности) переходить из вязко-подвижного состояния в твердое с образованием искусственного камня.

Поэтому первым этапом разработки технологии производства является создание такой конструкционной формы изделия и ее массогабаритных параметров, которые бы позволяли изготовить изделие путем его отливки из вязко-пластичной массы. Ее особенностью является наличие не только силового арматурного каркаса, но и интегрированных непосредственно при производстве элементов, создающих вариатропную структуру изделия или являющихся элементами отделки.

Опалубка для отливки таких изделий не должна иметь «закрытых» мест, т.е. пространств, не имеющих доступа к верхнему открытому пространству опалубки. Иначе в таких местах произойдет защемление воздуха и не отформируется изделие надлежащего качества. Также форма должна иметь минимум поверхностей с отрицательным углом откоса – там также защемляется воздух и не происходит должного уплотнения смеси. Сама форма должна иметь достаточную конструктивную прочность для удержания формы смеси, арматурного каркаса и закладных изделий. Кроме того, материал формы должен иметь минимальную адгезию к композиционному материалу.

Следующим этапом разработки технологии являлось определение технологических параметров производства смеси, формования изделий и режимов его твердения. В этом отношении производство разработанного композиционного материала мало чем отличается от традиционного бетонного производства, за исключением большей номенклатуры компонентов и более жестких требований к культуре производства. Сущность технологии сводится к следующему: на склады предприятия поставляются компоненты смеси. Поставки осуществляются в виде фасованных в различную тару компонентов, которые хранятся в соответствии с требованиями к ним. Песок поставляется просушенным и фракционированным. Дозирование компонентов происходит объемным методом для жидких компонентов и весовым для сухих с точностью до 0,1%. Смешение происходит непосредственно перед формованием в смесителе принудительного типа. Режим перемешивания зависит от типа смесителя, в наиболее общем случае перемешивание длится до 20 минут. Формование изделий производится путем вибрационного воздействия на смесь, залитую в один прием в заранее подготовленную – очищенную, смазанную и оснащенную арматурным каркасом с закладными деталями форму, до появления явления водоотделения на открытой поверхности изделия. Могут применяться глубинные вибраторы промышленного типа, либо виброплощадки с частотой колебаний от 60 Гц и амплитудой 0,1-0,3 мм. Опробованные режимы обеспечивают достаточную степень уплотнения смеси.

Режим твердения подбирался исходя из соображений минимизации затрат на его интенсификацию. Так как композит содержит добавки – ускорители твердения, то исследовалась интенсивность набора прочности по времени выдержки изделий в нормальных физических условиях. Скорость набора прочности приведена на рис. 6.

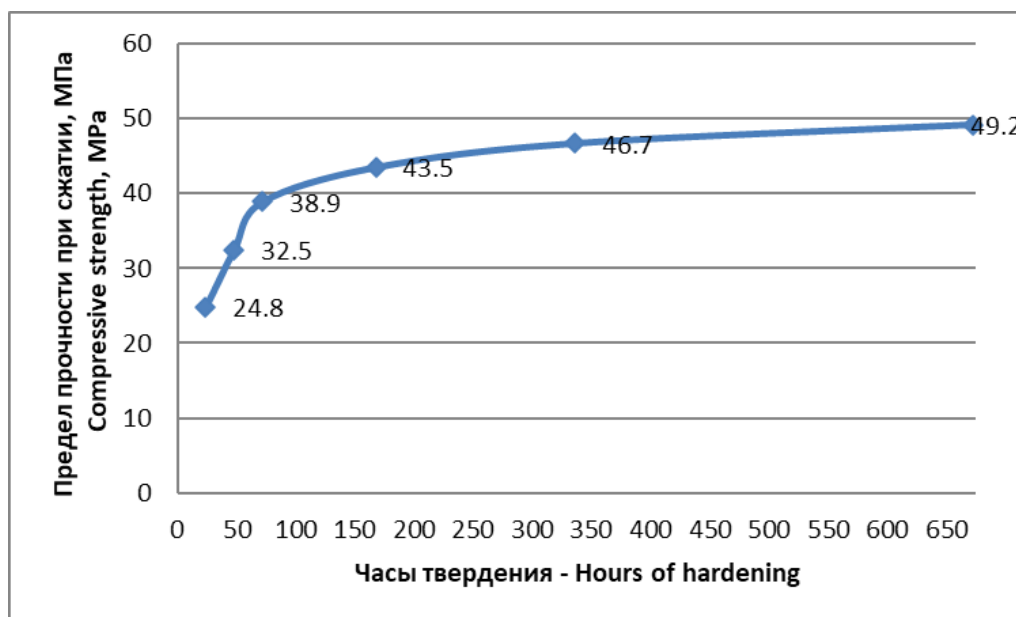


Рис. 5. Зависимость подвижности смеси от расходов гиперпластификатора и пеногасителя

Fig. 5. Dependence of the mixture mobility on the hyperplasticizer and defoamer consumption

Из анализа интенсивности набора прочности можно утверждать, что распалубку можно производить на третьи сутки, когда изделие набирает более 70% прочности. После распалубки изделие требует доводки путем шлифовки верхнего слоя, удаления наплывов, ремонта сколов, а также очистки закладных изделий. После установки дополнительных элементов изделия (если таковые требует дизайн) изделие может отправляться на склад готовой продукции или потребителю.

Таким образом, разработана технология, объединяющая на микроуровне процессы синтеза минералов из щелочных насыщенных ионами растворов и полимеризацию органических сополимеров, с созданием органо-минеральной матрицы композита. На мезоуровне технология обеспечивает возможность направленной многомерной ориентации элементов каркаса композита для обеспечения вариативности свойств по заданным направлениям. На макроуровне разработанная технология позволяет интегрировать в основной состав материала изделий композиты иной природы, обеспечивающие общую эстетическую выразительность и экологичность изделий для формирования городской среды, при этом внедренный элемент становится неотъемлемой частью материала, обеспечивающей их совместную работу как единого целого. Объединение в одной технологической цепочке процессов формирования свойств композита на трех структурных уровнях обеспечит уникальную возможность получения материалов и изделий из них с самым широким спектром свойств – от плотных тяжелых до сверхлегких конструктивных, обладающих при этом высокой эстетической выразительностью, разнообразием цвета, возможностью светопропускания, а также низкой теплопроводностью и теплоемкостью. Высокая стойкость к агрессивным воздействиям городской среды обеспечит низкие эксплуатационные затраты на поддержание рабочего состояния изделий, что позволит снизить в 1,5-2 раза затраты на обновление инфраструктуры городской среды.



ВЫВОДЫ

Таким образом, научно обоснована возможность изготовления высокопрочных цементно-органических декоративных композитов из мелкого заполнителя, с тонкими фракциями песка разного генезиса, с активными минеральными добавками, придающими высокую художественную выразительность композиту. Установлены основные закономерности формирования свойств композиционного материала в виде численных уравнений. Установлены физико-химические процессы минералогического и структурного преобразования композита в процессе синтеза новообразований и формирования структуры.

В ходе реализации поставленных задач было осуществлено следующее:

- определены основные факторы, влияющие на физико-механические характеристики композиционных материалов в заданных условиях эксплуатации, а также технологические факторы их производства;
- разработаны принципы повышения эффективности гетерогенного композита путем целенаправленного регулирования его структуры и применения инновационных методов сопряжения элементов структуры на микро-, мезо- и макро- уровне;
- установлены закономерности формирования основных эксплуатационных характеристик материала для изделий, эксплуатирующихся в условиях агрессивного воздействия факторов городской среды;
- определены методы и технологические параметры модификации составов, структуры и технологии производства для решения проблемы надежности и безопасности изделий из гетерогенного композита;
- разработаны экспериментальные составы и подобраны наиболее эффективные компоненты для производства композита;
- оптимизированы составы композиционных материалов для технологии полиструктурной интеграции по результатам испытаний образцов композиционных материалов;
- разработана технология полиструктурной интеграции гетерогенных композиционных материалов для спроектированных малых архитектурных форм.

Цель и задачи, поставленные в работе, достигнуты и полностью решены в ходе исследования: в результате получен вариатропный по структуре композиционный материал, объединяющий в себе свойства полимерных композитов и композитов на минеральной основе, отличающийся высокой прочностью – 45–60 МПа, низкой теплоемкостью – 1 кДж/(кг·°С) и теплопроводностью – 0,5 Вт/(м·°С), плотностью 0,8–2,2 г/см³, истираемостью 0,5–0,7 г/см²; с коэффициентом линейного расширения 0,2–0,4 мм/м; светостойкостью по DIN EN438 Часть 2-16 – 6-7 и средним сроком службы при эксплуатации в городской среде 35–50 лет.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. МГСН 1.02-02 / ТСН 30-307-2002 Нормы и правила проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы (с изм. от 19 августа 2003 г., 11 июля 2006 г.).
2. **Силкина М.А.** Визуальные ориентиры в архитектурной среде // *Наука, образование и экспериментальное проектирование: тезисы докладов Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, 6-10 апреля 2015 г.* М.: МАРХИ, 2015. С. 417-418.



3. **Скураатовский Г.М.** Искусство архитектурного пропорционирования. Новосибирск: Наука: Сибирское предприятие РАН, 1997. 184 с.
4. **Помазкин А.И., Кравченко В.А., Кучина К.А., Литвинцев М.К., Путых А.В., Успенских А.В.** Технологические и финансовые преимущества композиционных материалов из натурального сырья // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2019. Т. 9, № 5А. С. 335-343.
5. **Хозин В.Г.** Полимеры в строительстве – реальные границы и перспективы эффективного применения // *Полимеры в строительстве: научный Интернет-журнал*. 2014. № 1(1). С. 9-26. URL: <https://polymer.kgasu.ru/files/N1-1-2014-vypusk-17.03.pdf>
6. **Боженков П.И.** О формировании технических характеристик полидисперсных искусственных материалов // *Строительные материалы*. 1992. № 4. С. 20-24.
7. **Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М.** Цементные бетоны с минеральными наполнителями. Киев: Будівельник, 1991. 136 с.
8. **Дворкин Л.И.** Эффект активных наполнителей в пластифицированных цементных бетонах // *Изв. вузов. Строительство и архитектура*. 1988. № 9. С. 53-57.
9. **Ovchinnikov A.A., Obruchev D.V., Danilov I.N.** Composite materials based on polysturctural integration of heterogeneous materials. *Smart composite in construction*. 2021. V. 2, no 3. P. 21-31.
10. **Соломатов В.И.** Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // *Изв. вузов. Строительство*. 1985. № 8. С. 58-64.
11. **Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др.** Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. Ташкент: ФАН, 1991. 344 с.
12. **Королев Е.В., Баженов Ю.М., Смирнов В.А.** Строительные материалы вариатропно-каркасной структуры. М.: МГСУ, 2011. 304 с.
13. **Налимов В.В.** Теория эксперимента // *Новые идеи в планировании эксперимента*. М.: Наука, 1969. С. 24-36.
14. **Налимов В.В., Чернова Н.А.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
15. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 282 с.
16. **Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.** Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). М.: Наука, 1969. 511 с.
17. **Финни Д.** Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука, 1970. 288 с.

Поступила в редакцию 10.03.2022

Одобрена после рецензирования 17.03.2022

Принята к опубликованию 23.03.22

REFERENCES

1. MGSN 1.02-02 / TCH 30-307-2002 Norms and rules for the design of complex landscaping on the territory of the city of Moscow (as amended on August 19, 2003, July 11, 2006) (in Russian).
2. **Silkina, M.A.** (2015) Visual landmarks in the architectural environment, *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie: tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy*



- konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodyh uchenykh i studentov, April 6-10, 2015. M.: MARHI, pp. 417-418 (in Russian).*
3. **Skuratovskij, G.M.** (1997) *The Art of Architectural Proportionation*. Novosibirsk: Nauka: Sibirskoe predpriyatie RAN (in Russian).
 4. **Pomazkin, A.I., Kravchenko, V.A., Kuchina, K.A., Litvintsev, M.K., Putykh, A.V. & Uspenskikh, A.V.** (2019) Technological and financial advantages of composite materials from natural raw materials, *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 9(5A), pp. 335-343 (in Russian).
 5. **Hozin, V.G.** (2014) Polymers in construction – real boundaries and prospects for effective use, *Polimery v stroitel'stve: nauchnyj Internet-zhurnal*, 1(1), pp. 9-26 [online]. Available at: <https://polymer.kgasu.ru/files/N1-1-2014-vypusk-17.03.pdf> (in Russian).
 6. **Bozhenov, P.I.** (1992) On the formation of technical characteristics of polydisperse artificial materials, *Stroitel'nye Materialy*, 4, pp. 20-24 (in Russian).
 7. **Dvorkin, L.I., Solomatov, V.I., Vyrovoy, V.N. & Chudnovskij, S.M.** *Cement concretes with mineral fillers*. Kiev: Budivel'nik, 1991 (in Russian).
 8. **Dvorkin, L.I.** (1988) Effect of active fillers in plasticized cement concretes, *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Stroitel'stvo i arhitektura*, (9), pp. 53-57 (in Russian).
 9. **Ovchinnikov, A.A., Obruchev, D.V. & Danilov, I.N.** (2021) Composite materials based on polysturctural integration of heterogeneous materials, *Smart composite in construction*, 2(3), pp. 21-31.
 10. **Solomatov, V.I.** (1985) Development of the polystructural theory of composite building materials, *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Stroitel'stvo*, (8), pp. 58-64 (in Russian).
 11. **Solomatov, V.I., Vyrovoy, V.N., Bobryshev, A.N. et al.** (1991) *Polystructural theory of composite building materials*. Tashkent: FAN (in Russian).
 12. **Korolev, E.V., Bazhenov, Yu.M. & Smirnov, V.A.** (2011) *Building materials of variatropic-frame structure*. M.: MGSU (in Russian).
 13. **Nalimov, V.V.** (1969) 'Theory of experiment' in Nalimov, V.V. (Ed.) *New ideas in experiment planning*. M.: Nauka, pp. 24-36 (in Russian).
 14. **Nalimov, V.V. & Chernova, N.A.** (1965) *Statistical methods for planning extreme experiments*. M.: Nauka (in Russian).
 15. **Adler, Yu.P., Markova, E.V. & Granovskij, Yu.V.** (1971) *Experiment planning while searching for optimal conditions*. M.: Nauka (in Russian).
 16. **Smirnov, N.V. & Dunin-Barkovskij, I.V.** (1969) *Probability Theory and Mathematical Statistics course (for technical applications)*. M.: Nauka (in Russian).
 17. **Finni, D.** (1970) *Introduction to the theory of experiment planning*. M.: Nauka (in Russian).

Received 10.03.2022

Approved after reviewing 17.03.2022

Accepted 23.03.22



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 620.1.691

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_47

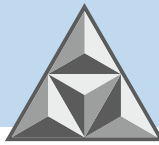
Принципы математического моделирования коррозионных процессов в биоагрессивных средах

С.А. Логинова

Светлана Андреевна Логинова

Ярославский государственный технический университет Ярославль, Российская Федерация

sl79066171227@yandex.ru



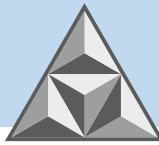
Статья посвящена вопросу математического моделирования как методу теоретического исследования процессов биологической коррозии бетона в жидких средах. Изложены результаты экспериментальных исследований по влиянию микроорганизмов на общий коррозионный процесс, протекающий в бетоне в водных средах. Представлено моделирование диффузионных процессов, характерных при биокоррозии бетонных конструкций. Впервые рассчитана модель массообменных процессов в неограниченной двухслойной пластине, представляющая собой систему дифференциальных уравнений параболического типа в частных производных с граничными условиями второго и четвертого рода. Предложенная математическая модель учитывает кинетику процессов увеличения и уменьшения биомассы на поверхности бетона. Отражена перспектива применения разработанной математической модели биокоррозии бетона в жидких средах. Проведен ряд численных экспериментов, подтверждающий адекватность и универсальность предложенной математической модели.

Ключевые слова: бетон, микроорганизмы, диффузия, массоперенос, граничные условия

Для цитирования:

Логинова С.А. Принципы математического моделирования коррозионных процессов в биоагрессивных средах // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 1. С. 47-57. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_47



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_47

Principles of mathematical modeling of corrosion processes in aggressive environments

S.A. Loginova

Svetlana A. Loginova

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

sl79066171227@yandex.ru



The article is devoted to the issue of mathematical modeling as a method of theoretical investigation of the processes of biological corrosion of concrete in liquid media. The results of experimental studies on the effect of microorganisms on the general corrosion process occurring in concrete in aqueous media are presented. Modeling of diffusion processes characteristic of biocorrosion of concrete structures is presented. For the first time, a model of mass transfer processes in an unlimited two-layer plate is calculated, which is a system of partial differential equations of parabolic type with boundary conditions of the second and fourth kind. The proposed mathematical model takes into account the kinetics of the processes of increasing and decreasing biomass on the concrete surface. The perspective of application of the developed mathematical model of concrete biocorrosion in liquid media is reflected. A number of numerical experiments have been carried out confirming the adequacy and universality of the proposed mathematical model.

Key words: concrete, microorganisms, diffusion, mass transfer, boundary conditions

For citation:

Loginova S.A. (2022) Principles of mathematical modeling of corrosion processes in aggressive environments, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp.47-57 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_47



ВВЕДЕНИЕ

Впервые о проблеме биоразрушения бетона заговорили в начале XX века в США. Тогда в Лос-Анджелесе при обследовании водного канала в поврежденном поверхностном слое бетона ученые обнаружили нитрифицирующие бактерии [1]. Первые исследования биокоррозии бетона в СССР были проведены академиком Б.Л. Исаченко тридцать лет спустя [2].

Одним из наиболее распространенных видов биокоррозии является микробиологическая коррозия, возникающая в результате контакта бетона с морскими и пресными водами. Ученые в соответствии с таксономическим составом биодеструкторов в отдельные подвиды выделяют водорослевую, бактериальную и грибковую коррозию [3, 4]. На практике отдельные подвиды биокоррозии встречаются редко, так как обычно биообрастание представлено биоценозом различных групп микроорганизмов. Наибольшую опасность для бетона представляют грибковые микроорганизмы, способные образовывать фунгальные биопленки на его поверхности.

Биоразрушение бетонных конструкций представляет серьезную опасность для мостовых и иных гидросооружений, эксплуатирующихся в биоагрессивных средах. Очень часто биообрастанию подвергаются опоры нефтедобывающих платформ, опоры мостов, пирсов и т.д. [5]. Всё это неизбежно приводит к возникновению дополнительной нагрузки на опоры от постепенно возрастающей массы биообрастания, к катализации коррозионных процессов, протекающих в бетонных сооружениях, в результате жизнедеятельности биодеструкторов.

Ежегодно на ликвидацию последствий от биоразрушения строительных конструкций государства тратят миллионы долларов [6, 7]. Объективная оценка ущерба от биоразрушения строительных материалов складывается из потерь от непосредственно самих биоповреждений и затрат на защиту от них. Под непосредственными потерями от биокоррозии принято понимать затраты на замену поврежденных строительных материалов и конструкций. Затраты на защиту от биоповреждений включают в себя расходы на капитальный и текущий ремонты, а также затраты на проведение плановых работ по восстановлению противобиокоррозионной защиты строительных конструкций.

В настоящее время применяется несколько подходов в борьбе с биокоррозией бетона: разработка эпоксидных и полимерных покрытий; корректировка состава бетона; применение биоцидов для обработки поверхности строительных конструкций [8-11]. Несмотря на множество существующих способов защиты от биообрастания, вопрос биодegradации бетона остается нерешенным.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Любое коррозионное разрушение бетона в жидкой среде объясняется массообменными процессами бетона и жидкости [12, 13]. При биообрастании отмечается ускорение коррозионных процессов в бетоне. Заселение поверхности бетона микроорганизмами, секреция метаболитов и образование биоценозов на его поверхности меняют условия в месте контакта «бетон-жидкость». Микроорганизмы выделяют широкий спектр органических кислот, которые вступают в различные химические реакции, разрушая бетон.

Моделирование биокоррозии бетона вызывает ряд трудностей в силу многофакторности этого процесса. На рис. 1 представлена схема образования биоценоза микроорганизмов на бетонной поверхности. Изначально микроорганизмы находятся в подвижном состоянии (I



стадия). Формирование любой биопленки начинается с адгезии микроорганизмов к субстрату (II стадия), после чего начинают образовываться микроколонии (III стадия), которые в результате образуют зрелую биопленку (IV стадия) [13]. Важным моментом является процесс дисперсии, т.е. способность микроорганизмов покидать биопленку в результате действия каких-либо факторов, например, в результате снижения содержания питательных веществ. Этот процесс невозможно спрогнозировать и контролировать. Изменение условий среды может вызвать как ускоренный рост биопленки путем появления и развития более развитых форм микроорганизмов, так и отмирание микроорганизмов. Отмершие и разрушившиеся клетки микроорганизмов также входят в состав биопленки, увеличивая ее биомассу.

Также известно, что соотношение микроорганизмов и матрикса (полимерных веществ, выделяемых клетками) в биопленке может сильно варьироваться. Установлено, что содержание микроорганизмов в биопленке может опускаться до 10% от общего объема [14]. Сложные, непрерывные во времени фазы роста и отмирания микроорганизмов, изменение толщины биопленки удается учесть при математическом моделировании путем введения специальных коэффициентов.

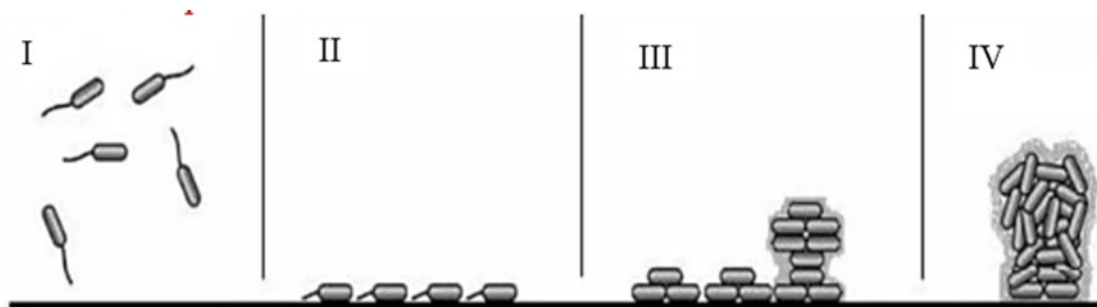


Рис. 1. Схема формирования биопленки на поверхности бетона: I стадия - начальная; II - первичная адгезия; III - образование микроколоний; IV - зрелая биопленка

Fig. 1. Scheme of biofilm formation on the concrete surface: Stage I - initial; II - primary adhesion; III - formation of microcolonies; IV - mature biofilm

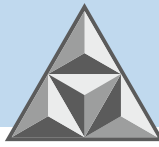
Специфичностью математического моделирования биокоррозии бетона является необходимость решения краевых задач. Важно учитывать квазистационарность процесса коррозии. В этом случае процесс считается равновесным в пределах определенных интервалов по времени и по координате.

Одним из основных требований, предъявляемых к математическим моделям, является универсальность. Математическая модель должна включать в себя обобщенные уравнения, описывающие процессы биоразрушения бетона в наиболее общем случае.

Моделирование биообрастания бетонной конструкции в водной среде сводится к решению задачи массопроводности через неограниченную двухслойную пластину (рис. 2) [15].

Толщина первой пластины (цементный бетон) задана как δ_1 , толщина второй пластины (биообрастания) - δ_2 (см. рис. 2). Задача сводится к определению изменения концентрации целевого компонента (C) по толщине конструкции (x) с течением времени (τ). Для математического описания использовались дифференциальные уравнения с заданными граничными условиями [15, 16].

$$\frac{\partial C_1(x, \tau)}{\partial \tau} = k_1 \cdot \frac{\partial^2 C_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, -\delta_1 \leq x \leq 0, \quad (1)$$



$$\frac{\partial C_2(x, \tau)}{\partial \tau} = k_2 \cdot \frac{\partial^2 C_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, 0 \leq x \leq \delta_2. \quad (2)$$

Начальные условия:

$$C_1(x, \tau)|_{\tau=0} = C_1(x, 0) = C_{1,0}. \quad (3)$$

$$C_2(x, \tau)|_{\tau=0} = C_2(x, 0) = C_{2,0}. \quad (4)$$

Процессы, протекающие на границе I (см. рис. 1), представлены граничным условием второго рода, означающим отсутствие потока вещества:

$$\left. \frac{\partial C_1(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=-\delta_1} = 0. \quad (5)$$

На границе раздела фаз II (см. рис. 2) концентрации целевого компонента равны, следовательно, равны диффузионные потоки масс, поэтому в данном случае применяется граничное условие четвертого рода:

$$C_1(x, \tau)|_{x=0} = m \cdot C_2(x, \tau)|_{x=0}, \quad (6)$$

$$-\rho_{бет} \cdot k_1 \cdot \left. \frac{\partial C_1(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = -\rho_{биом} \cdot k_2 \cdot \left. \frac{\partial C_2(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (7)$$

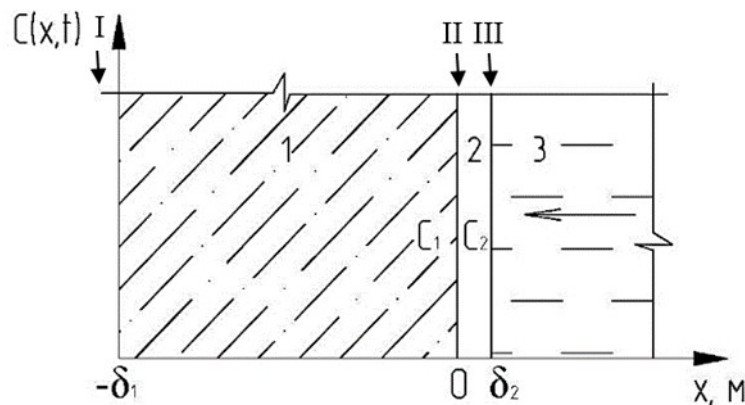


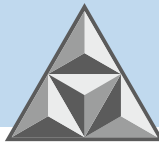
Рис. 2. Модель биообрастания бетонной конструкции: 1 – цементный бетон; 2 – биообрастание; 3 – жидкость

Fig. 2. Biofouling model of concrete structure: 1 - cement concrete; 2 - biofouling; 3 - liquid

На границе III (см. рис. 2) граничное условие выглядит следующим образом:

$$-k_2 \cdot \left. \frac{\partial C_2(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\delta_2} = q_n(\tau). \quad (8)$$

Условные обозначения: $C_1(x, \tau)/C_2(x, \tau)$ - концентрации целевого компонента в бетоне/био пленке в момент времени « τ » в произвольной точке с координатой « x », ($\kappa_{CaO}/\kappa_{бет}$); $k_{1,2}$ -коэффициенты массопроводности (m^2/c); δ_1 - толщина бетонной конструкции (м); δ_2 - толщина био пленки (м); $C_{1,0}$ - начальная концентрация целевого компонента ($\kappa_{CaO}/\kappa_{бет}$); $C_{2,0}$ - начальная концентрация свободного компонента ($\kappa_{CaO}/\kappa_{биом}$); m - константа



равновесия Генри (кг биопленки/кг бетона); $\rho_{бет}, \rho_{биом}$ - плотности бетона и биомассы соответственно (кг/м³); $q_n(\tau)$ - плотность диффузионного потока от биопленки в поток жидкости.

Для решения системы дифференциальных уравнений применялся метод интегрального преобразования Лапласа. Было получено общее решение задачи массопроводности. На основе математической модели была написана расчетная программа, которая позволяет определять значения концентраций переносимого компонента по толщине бетонной конструкции и биопленки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Адекватность предложенной математической модели подтверждается рядом численных экспериментов. На рис. 3 приведены расчетные кривые зависимости безразмерных концентраций от критерия Кирпичева (1 - 0,5; 2 - 1; 3 - 1,5; 4 - 2; 5 - 2,5; 6 - 3) при критерии Фурье равном единице. Увеличение массообменного критерия Кирпичева сопровождается большими градиентами концентраций. На рис. 4 представлены кривые концентраций целевого компонента при разных значениях массообменного критерия Фурье (1 - 0,5; 2 - 1; 3 - 1,5; 4 - 2; 5 - 2,5; 6 - 3) и критерии Кирпичева, равном 0,5 [15].

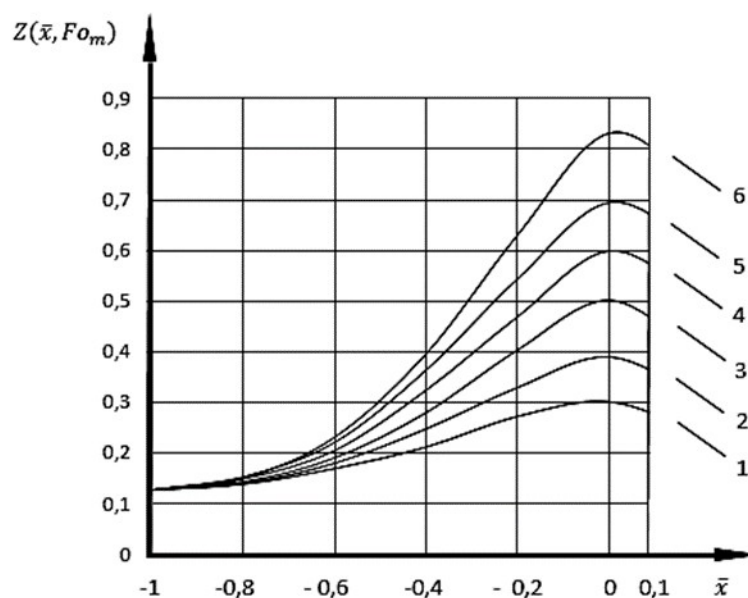


Рис. 3. Кривые концентраций переносимого компонента по толщине бетона и биопленки при разных значениях критерия Кирпичева

Fig. 3. Curves of the concentrations of the transferred component by the thickness of concrete and biofilm at different values of the Kipichev criterion

Предложенная расчетная программа позволяет определить предварительный срок службы бетонных конструкций в агрессивных водных средах, характеристики которых изначально известны. Для проведения численного эксперимента были приняты следующие допущения: бетонная конструкция эксплуатируется в речной воде, средняя скорость течения реки не превышает 2 км/ч, согласно экспериментальным данным прирост толщины биообрастания для рассматриваемого климатического района составляет 20–25 мм в год. Для численного эксперимента были рассчитаны значения критерия Фурье (рис. 5): 1 - 0,16; 2 - 0,33; 3 - 0,41; 4 - 0,81; 5 - 1,19, что соответствует 2, 4, 5, 10 и 15 годам эксплуатации [15, 16].

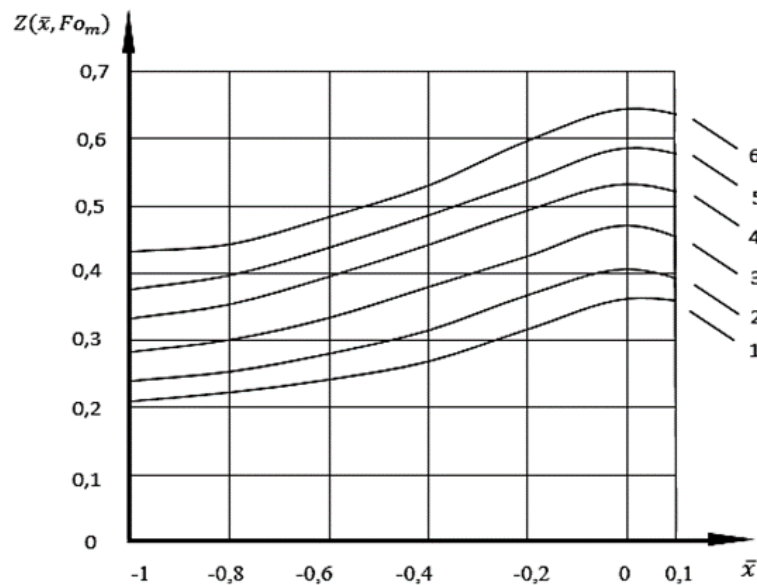
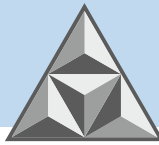


Рис. 4. Кривые концентраций переносимого компонента по толщине бетона и био пленки при разных значениях критерия Фурье

Fig. 4. Curves of the concentration of the transferred component over the thickness of concrete and biofilm at different values of the Fourier criterion

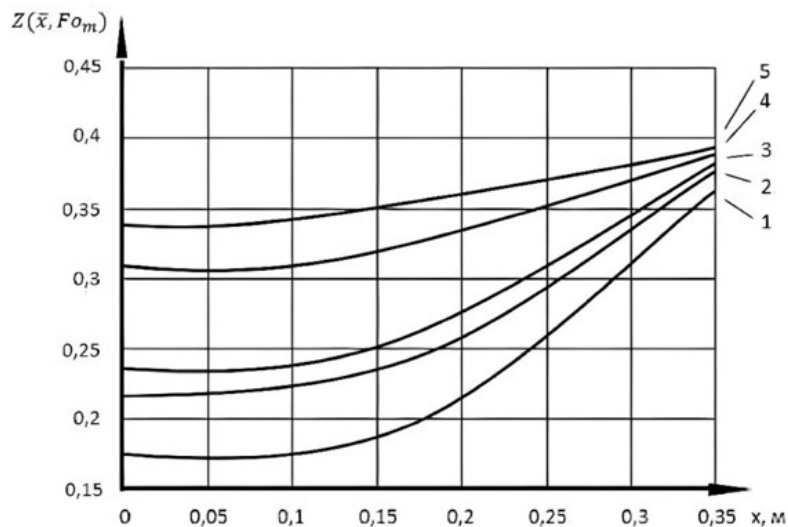


Рис. 5. Поля концентраций в бетонной конструкции, соответствующие различным временным параметрам: 1 – 2 года; 2 – 4 года; 3 – 5 лет; 4 – 10 лет; 5 – 15 лет

Fig. 5. Concentration fields in a concrete structure corresponding to various time parameters: 1 – 2 years; 2 – 4 years; 3 – 5 years; 4 – 10 years; 5 – 15 years

Разработанная и апробированная математическая модель и созданная на ее основе расчетная программа дают возможность своевременного прогнозирования долговечности бетонных конструкций, эксплуатирующихся в водных биологически агрессивных средах. Предварительный расчет позволяет грамотно назначить антикоррозионные мероприятия, способствующие увеличению срока службы бетонных конструкций.



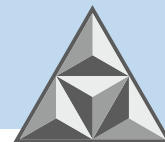
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Jamaguchi S., Aayama V.** Zumbakteriologischen korrosions produktvom Betoneisen in Untermeertunnel // *Werkst. und Korros.* 1973. No. 24. P. 209-210.
2. К 150-летию со дня рождения академика Бориса Лаврентьевича Исаченко (годы жизни 15.06.1871–17.11.1948) // *Микробиология.* 2021. № 90(4). С. 506-508. DOI: 10.31857/s002636562104008x
3. **Федосов С.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А.** Особенности биодеградации гидротехнических бетонов // *Умные композиты в строительстве.* 2020. № 1 (1). С. 45-55. URL: <http://comincon.ru/index.php/tor/article/view/12/5>
4. **Светлов Д.А., Качалов А.Н.** Микробиологическая коррозия строительных материалов // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения».* 2019. №4 (6). DOI: 10.15862/19SATS419
5. **Лебедева К.К., Няникова Г.Г., Царовцева И.М.** Микробиологический анализ образцов материалов, размещенных в прибрежной зоне Баренцева моря // *Изв. Санкт-Петербургского гос. технол. ин-та (техн. ун-та).* 2021. № 57. С. 53-58. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-57-83-53-58
6. **Лаптев А.Б., Луценко А.Н., Перов Н.С., Бухарев Г.М.** Опыт ФГУП "ВИАМ" по исследованию биокоррозии в морской воде // *Трубопроводный транспорт. Теория и практика.* 2016. № 4. С. 28-32.
7. **Inaba Y., Xu S., Vardner J.T., West A.C., Banta S.** Microbially influenced corrosion of stainless steel by *Acidithiobacillus ferrooxidans* supplemented with pyrite: importance of thiosulfate // *Applied and environmental microbiology.* 2019. Vol. 85(21). e01381-19. DOI: 10.1128/AEM.01381-19
8. **Сторожева М.Е., Денисова Я.В.** Биокоррозия подземных сооружений: основные причины и защита конструкций // *Ученые записки Сахалинского гос. ун-та.* 2020. № 15-16. С. 109-113.
9. **Гурбанов А.Н.** Основные направления защиты оборудования и трубопроводов от биокоррозии // *Вестник Азербайджанской инженерной академии.* 2021. Т. 13, № 3. С. 74-82. DOI: 10.52171/2076-0515202113037482
10. **Кочина Т.А., Кондратенко Ю.А., Шилова О.А., Власов Д.Ю.** Биокоррозия, биообрастание и современные методы борьбы с ними // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* 2022. Т. 58, № 1. С. 86-112. DOI: 10.31857/S0044185622010120
11. **Makita H.** Iron-oxidizing bacteria in marine environments: recent progresses and future directions // *World J Microbiol Biotechnol.* 2018. Vol. 34(8). P. 110.
12. **Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Зоткина М.М., Светлов Д.Д., Бажанова М.Е., Вильдяева М.В., Захарова Е.А.** Экологические аспекты биокоррозии и повышение биостойкости строительных материалов // *Вестник Поволжского гос. технол. ун-та. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии.* 2021. № 4. С. 14-26. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14
13. **Ерофеев В.Т., Аль Д.С., Мишуняева О.А.** Способы повышения долговечности и надёжности железобетонных конструкций // *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения.* 2016. № 1. С. 13-19.
14. **Телегди Ю., Шабан А., Триф Л.** Обзор. Микробиологическая коррозия и характеристика биопленок // *Коррозия: материалы, защита.* 2020. № 6. С. 1-19. DOI: 10.31044/1813-7016-2020-0-6-1-19
15. **Fedosov S.V., Loginova S.A.** Mathematical model of concrete biological corrosion // *Magazine of Civil Engineering.* 2020. No. 7(99). С. 9906.
16. **Румянцева В.Е., Логинова С.А., Карцева Н.Е.** Математическое моделирование коррозии бетонных конструкций в биологически агрессивных средах // *Вестник Череповецкого гос. ун-та.* 2021. № 3(102). С. 56-67. DOI: 10.23859/1994-0637-2021-3-102-4

Поступила в редакцию 10.03.2022

Одобрена после рецензирования 17.03.2022

Принята к опубликованию 22.03.2022



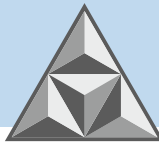
REFERENCES

1. **Jamaguchi S., Aayama V. (1973)** Zumbakteriologischen korrosions produktvom Betoneisen in Untermeertunnel, *Werkst. und Korros*, (24), pp. 209-210.
2. To the 150th anniversary of the birth of Academician Boris Lavrentievich Isachenko (years of life 15.06.1871-17.11.1948) (2021) *Microbiology*, 90(4), pp. 506-508. DOI: 10.31857/s002636562104008x
3. **Fedosov S.V., Rumyantseva V.E. & Loginova S.A. (2020)** Biodegradation of hydrotechnical concrete, *Smart composites in construction*, 1(1), pp. 45-55. URL: <http://comincon.ru/index.php/tor/article/view/12/5>
4. **Svetlov D.A., Kachalov A.N. (2019)** Microbiological corrosion of building materials, *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/19SATS419
5. **Lebedeva K.K., Nyanikova G.G. & Tsarovtseva I.M. (2021)** Microbiological analysis of samples of materials placed in the coastal zone of the Barents Sea, *Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*,(57), pp. 53-58. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-57-83-53-58
6. **Laptev A.B., Lutsenko A.N., Perov N.S. & Bukharev G.M. (2016)** The experience of FSUE "VIAM" on the study of biocorrosion in seawater, *Pipeline transport. Theory and practice*, (4), pp. 28-32.
7. **Inaba Y., Xu S., Vardner J.T., West A.C. & Banta S. (2019)** Microbially influenced corrosion of stainless steel by *Acidithiobacillus ferrooxidans* supplemented with pyrite: importance of thiosulfate, *Applied and environmental microbiology*, 85(21). DOI: 10.1128/AEM.01381-19
8. **Storozheva M.E., Denisova Ya.V. (2020)** Biocorrosion of underground structures: the main causes and protection of structures, *Scientific notes of the Sakhalin State University*, (15-16), pp. 109-113.
9. **Gurbanov A.N. (2021)** The main directions of protection of equipment and pipelines from biocorrosion, *Bulletin of the Azerbaijan Engineering Academy*,13(3), pp. 74-82. DOI: 10.52171/2076-0515202113037482
10. **Kochina T.A., Kondratenko Yu.A., Shilova O.A., Vlasov D.Yu. (2022)** Biocorrosion, biofouling and modern methods of combating them, *Physicochemistry of the surface and protection of materials*, 58(1), pp. 86-112. DOI: 10.31857/S0044185622010120
11. **Makita H. (2018)** Iron-oxidizing bacteria in marine environments: recent progresses and future directions, *World J Microbiol Biotechnol*, 34(8), p. 110.
12. **Smirnov V.F., Svetlov D.A., Zotkina M.M., Svetlov D.D., Bazhanova M.E., Vildyaeva M.V. & Zakharova E.A. (2021)** Ecological aspects of biocorrosion and increasing the biostability of building materials, *Bulletin of the Volga State Technol. un-ta. Series: Materials. Constructions. Technologies*, (4), pp. 14-26. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14
13. **Erofeev V.T., Al D.S., Mishunyaeva O.A. (2016)** Ways to increase the durability and reliability of reinforced concrete structures, *Safety of the Construction Fund of Russia. Problems and solutions*, (1). pp. 13-19.
14. **Telegdi Yu., Shaban A., Trif L. (2020)** Review. Microbiological corrosion and characteristics of biofilms, *Corrosion: materials, protection*, (6), pp. 1-19. DOI: 10.31044/1813-7016-2020-0-6-1-19
15. **Fedosov S.V., Loginova S.A. (2020)** Mathematical model of concrete biological corrosion, *Magazine of Civil Engineering*, 7(99). p. 9906.
16. **Rumyantseva V.E., Loginova S.A., Kartseva N.E. (2021)** Mathematical modeling of corrosion of concrete structures in biologically aggressive environments, *Bulletin of Cherepovets State University*, 3(102). pp. 56-67. DOI: 10.23859/1994-0637-2021-3-102-4

Received 10.03.2022

Approved after reviewing 17.03.2022

Accepted 22.03.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 693.78:54-4

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_58

Повышение безопасности дорожного движения в зимних условиях

В.М. Дудин¹, А.А. Курныгина²

Владимир Михайлович Дудин

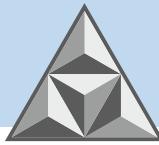
¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

dudinvm@ystu.ru

Анастасия Александровна Курныгина

²ООО «СТ Центр», Москва, Российская Федерация

a.kurnygina@yandex.ru



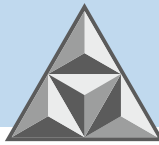
Для повышения безопасности дорожного движения в зимний период широко применяется обработка поверхности покрытия химическими реагентами. Однако такой способ повышения безопасности дорожного движения требует правильного подбора реагентов для конкретных температурных условий, иначе возможен обратный эффект от их применения, т.е. резкое снижение коэффициента сцепления шин транспортных средств с поверхностью покрытия. В предложенной работе рассматривается влияние различных реагентов и фрикционных противогололёдных материалов, используемых для зимнего содержания автомобильных дорог в Ярославской области, на коэффициент сцепления.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, зимнее содержание, противогололёдные реагенты, коэффициент сцепления, безопасность движения

Для цитирования:

Дудин В.М., Курныгина А.А. Повышение безопасности дорожного движения в зимних условиях // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 1. С. 58-72. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_58



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_58

Improving road safety in winter conditions

V.M. Dudin¹, A.A. Kurnygina²

Vladimir M. Dudin

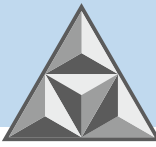
¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

dudinvm@ystu.ru

Anastasiya A. Kurnygina

²ST Center LLC, Moscow, Russian Federation

a.kurnygina@yandex.ru



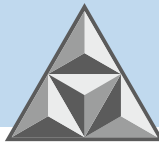
To improve road safety in winter, chemical reagents are widely used to treat the surface of the coating. However, this method of improving road safety requires the correct selection of reagents for specific temperature conditions, otherwise the opposite effect of their use is possible, i.e. a sharp decrease in the coefficient of adhesion of vehicle tires to the surface of the coating. The proposed work examines the influence of various reagents and friction deicing materials used for winter.

Key words: asphalt concrete pavement, winter maintenance, deicing reagents, coefficient of adhesion, traffic safety

For citation:

Dudin, V.M., Kurnygina, A.A. (2022) Improving road safety in winter conditions, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 58-72 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_58



ВВЕДЕНИЕ

Для организации работ по борьбе и предотвращению образования зимней скользкости необходимо учитывать её вид, погодные условия, предшествующие и сопутствующие образованию скользкости, и тенденцию их изменения.

Отложения рыхлого снега на дорожном покрытии образуются при выпадении твердых осадков в безветренную погоду. Сохранение снега в рыхлом состоянии наиболее вероятно при температуре воздуха ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При низких температурах воздуха процесс уплотнения снега автотранспортом замедляется, а при температуре воздуха от -6 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ снег не будет уплотняться при относительной влажности воздуха менее 90%. Образование снежного наката происходит при наличии влажного снега на дорожном покрытии под действием автомобильного транспорта и определенных метеорологических условиях. Наибольшая вероятность образования снежного наката происходит при таких погодных условиях, как выпадение снега при температуре воздуха от 0 до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$; при температуре воздуха от -6 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ образование снежного наката происходит при влажности воздуха выше 90%; при положительных температурах снежный накат образуется при высокой интенсивности снегопада (более 0,6 мм/ч), снег не успевает растаять на покрытии и легко уплотняется транспортными средствами [2].

Образование стекловидного льда может иметь различные причины и возможно при различных погодных условиях замерзания влаги, имеющейся на дорожном покрытии, например, при резком понижении температуры воздуха. Такой вид обледенения называют гололедецей. Источниками увлажнения покрытия могут быть дождь, тающий снег, снег с дождем, выпадающие при положительных, но близких к нулю температурах воздуха, а также влага, оставшаяся после обработки дорожного покрытия противогололедными реагентами.

Процессу образования скользкости предшествует устойчивое повышение атмосферного давления при выпадении или после прекращения осадков, повышенная относительная влажность воздуха, понижение температуры воздуха от положительных значений до отрицательных. Наиболее вероятно её образование при температуре воздуха от -2 до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха от 65 до 85% [2].

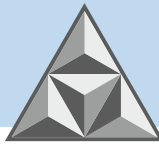
В результате охлаждения дорожного покрытия ниже точки росы влага из воздуха конденсируется на нем и превращается в очень тонкий и прозрачный слой льда, который трудно обнаружить визуально («черный лед»). Образование этого вида скользкости возможно также при перемещении в утренние часы более теплой и влажной воздушной массы с моря на сушу, имеющей более низкую температуру воздуха и отрицательную температуру дорожного покрытия.

В зимний и переходный периоды такое сочетание погодных условий наиболее вероятно в прибрежных морских районах и в горной местности, где из-за высокой прозрачности воздуха температура покрытия сильно понижается в ночные часы при охлаждении воздуха.

Такой вид скользкости может более часто возникать на автодорожных мостах, которые обладают меньшей тепловой инерционностью, чем дорожная одежда, и имеют более низкую температуру покрытия в ночное время [2].

Образованию скользкости способствует и более высокая относительная влажность воздуха в поймах рек, около озер и других водоемов, особенно в переходный период до установления ледового покрова, а также около крупных ТЭЦ и других предприятий.

В практике зимнего содержания автомобильных дорог для борьбы с зимней скользкостью применяют фрикционный, химический, комбинированный, механический и



тепловой методы [1].

При фрикционном методе на поверхности покрытия распределяют минеральные противогололёдные материалы: песок, высевку, шлак или другие абразивные материалы не крупнее 5-6 мм и без примесей глины, создавая дополнительную шероховатость покрытия и увеличивая коэффициент сцепления с шинами автомобилей [3, 4].

При химическом методе применяют противогололёдные реагенты на основе хлоридов натрия, калия, кальция, магния, которые плавят лёд или снег и устраняют гололедицу [5].

При комбинированном методе используют смеси противогололёдных материалов и реагентов, что позволяет эффективно бороться с зимней скользкостью [5].

При механическом методе производится удаление различных видов скользкости специальным оборудованием для отделения льда или снега от поверхности покрытия [5].

При тепловом методе устранение скользкости достигается при использовании мощного потока нагретого воздуха для плавления и сдувания с поверхности покрытия образовавшейся воды, а также из-за нагрева покрытия при использовании «тёплого» покрытия, которое нагревается за счёт циркуляции по трубам, уложенным под покрытием, теплоносителя. Возможен нагрев покрытия электрическими кабелями, которые укладывают также под покрытием [5].

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Коэффициентом сцепления называют отношение реактивной силы, действующей на колесо автомобиля в плоскости его контакта с покрытием, к вертикальной нагрузке, передаваемой колесом на покрытие. Коэффициент сцепления складывается из двух составляющих – адгезионной и деформационной. Адгезионная составляющая является результатом взаимодействия контактирующих материалов.

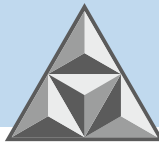
Деформационная составляющая формируется за счёт взаимной деформации контактирующих тел выступами неровностей, находящихся на их поверхности. На сухих поверхностях сила трения в контакте шины формируется в основном за счёт адгезионной составляющей. А на поверхностях, имеющих плёнку воды – за счёт деформационной составляющей.

Обзор различных методов борьбы с зимней скользкостью, путем повышения коэффициента сцепления, показал, что наиболее эффективным способом является фрикционный способ, главной проблемой которого остается неправильная дозировка противогололедного материала при разных погодных условиях и разных видах скользкости.

Поэтому перед началом проведения научных исследований были поставлены следующие задачи:

1. Выявить, для какого типа скользкости, погодных условий и для какой категории автомобильных дорог подходит фрикционный противогололедный материал и при каких показателях этот метод не работает.
2. Определить правильную дозировку противогололедного материала для разных видов скользкости.
3. Определить длительность действия различных фрикционных материалов.
4. Определить рациональную пропорцию и компоненты противогололёдного состава, протестировав несколько различных вариантов с разными составами при разных пропорциях составляющих.

В качестве испытуемого материала было выбрано несколько видов фрикционных



материалов – песок, отсев щебня и, в качестве эксперимента, зола уноса.

Один из распространённых способов борьбы с зимней скользкостью – это посыпка обрабатываемого покрытия песком.

Этот фрикционный материал должен обладать следующими свойствами:

- не должен содержать глинистых примесей во избежание появления слякоти при плюсовой температуре;
- не должен содержать в составе крупных частиц, так как они могут повредить распределяющее оборудование, целостность автотранспорта и увеличивают риск получить травмы;
- песок для составления смеси применяют природный и/или дробленый, получаемый путем дробления горных пород. Максимальная величина частиц не должна превышать 5 мм.

Наиболее целесообразно применять песок, содержащий до 50–60% зерен размером 2-3 мм. В песке не допускается содержание пылеватых, глинистых, илистых и других загрязняющих примесей более 3%. Не допускается содержание в песке камней и щебня, так как крупные частицы могут травмировать людей, повредить проезжающие автомобили, распределительное оборудование [8].

Чаще всего при обработке дорожного покрытия зимой применяется речной песок с минимальным количеством примесей глины. Песок эффективен при борьбе с гололедом, так как работает при любой температуре, не наносит отрицательного воздействия на окружающую среду [8].

Для измерения коэффициента сцепления шины автомобиля с покрытием использовался прибор ППК-МАДИ. Перед проведением опытов производили обработку покрытия насыщенным раствором поваренной соли. Испытания проводились как на обработанном фрикционными материалами и реагентами покрытия, так и необработанном. Вид скользкости – снежный накат.

После получения результатов были построены графики и сделаны выводы. В первую очередь был проверен коэффициент сцепления при распределении песка разных фракций: 0,25; 0,5; 1 мм.

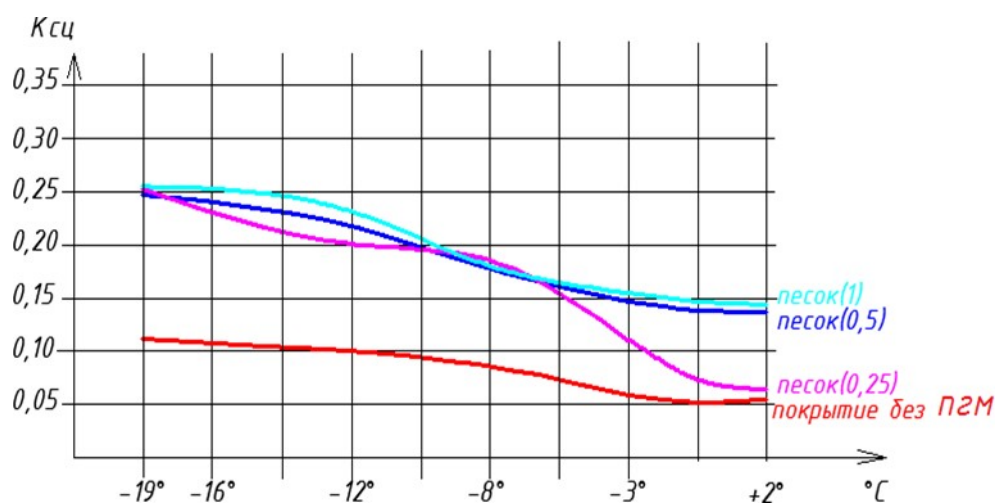
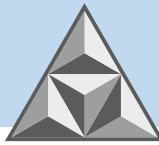


Рис. 1. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного песком разных фракций, при разных температурах воздуха

Fig. 1. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with sand of different fractions at different air temperatures

По полученным данным, представленным на рис. 1, можно сделать следующие выводы:



- при температуре от -10 до -20 °С коэффициент сцепления повышается более чем в два раза в сравнении с необработанным покрытием, что объясняется преобладанием адгезионной составляющей коэффициента сцепления;
- при температурах, близких к 0 °С, коэффициент сцепления повышается почти в три раза в сравнении с необработанным покрытием, это можно объяснить преобладанием деформационной составляющей;
- чем крупнее фракция песка, тем выше коэффициент сцепления. Особенно это проявляется при температурах около 0 °С;
- чем выше температура воздуха, тем ниже коэффициент сцепления, а это связано с тем, что при положительной температуре песок начинает перемешиваться с подтаявшим снежным покрытием и это уменьшает коэффициент сцепления и, соответственно, ухудшает безопасность движения автомобилей;
- чем ниже температура воздуха, тем выше коэффициент сцепления с покрытием, обработанным песком. Это связано с тем, что фрикционные материалы вмерзают в покрытие и работают на повышение безопасности путем повышения коэффициента сцепления, а не путем растапливания гололеда, как это делают химические реагенты. В связи с этим у песка нет ограничений по его использованию при разных отрицательных температурах;
- эксперименты показали, что песок быстро разносится колёсами движущегося транспорта и остается на покрытии в течение 2-3 часов. Чем мельче фракция песка, тем быстрее пропадает материал с дорожного покрытия.

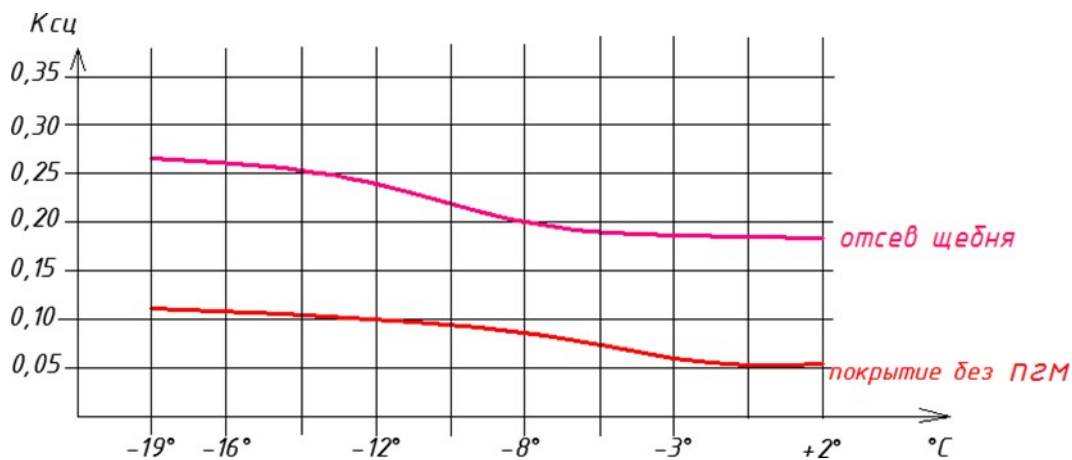


Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного отсевом щебня, от температуры воздуха

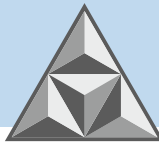
Fig. 2. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with screening of crushed stone on the air temperature

Следующий испытуемый фрикционный материал – отсев щебня. От песка он отличается более крупной фракцией. Отсев щебня, или высевка – это «отходы» камнедробления при производстве щебня.

По полученным данным, представленным на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

- отсев щебня повышает коэффициент сцепления автомобильного колеса с дорожным покрытием примерно в два раза как при очень низкой температуре, так и при температуре выше 0 °С;
- отсев щебня лучше работает при температуре около 0 °С, чем песок.

Опыты с отсевом щебня показали, что он дольше сохраняется на покрытии, чем песок.



Данный материал перед использованием необходимо просеять, во избежание попадания частиц крупных размеров, так как это может вызвать поломку распределяющей техники и повредить автомобили на дороге.

Одним из распространённых видов отходов ТЭЦ, сталелитейных предприятий, предприятий по производству сухих строительных смесей является зола уноса.

В дорожном строительстве она используется при укреплении грунтов в качестве малоактивного вяжущего, в цементобетонах для экономии цемента, в качестве минерального порошка для производства асфальтобетонных смесей. Утилизация золы уноса является актуальным направлением. При использовании золы уноса необходимо учитывать следующее:

- зола загрязняет дорогу, поэтому применять её в населенных пунктах не рекомендуется;
- зола должна содержать минимальное количество агрессивных компонентов.

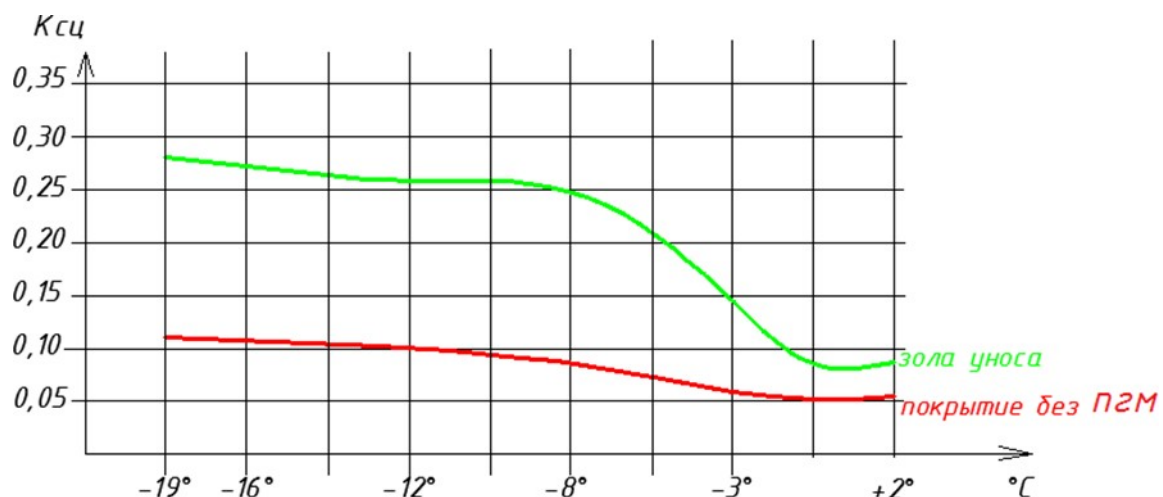


Рис. 3. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного золой уноса от температуры воздуха

Fig. 3. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with fly ash on the air temperature

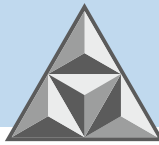
Проведённые испытания применения золы уноса в качестве противогололёдного материала (рис. 3) показали, что:

- зола уноса показывает самый высокий коэффициент сцепления при низких отрицательных температурах, но при температуре выше 0 °C практически не повышает этот показатель;
- зола уноса очень быстро разносится и очень сильно загрязняет автомобильную дорогу.

Для повышения эффективности фрикционных противогололёдных материалов возможна их комбинация с химическими реагентами.

При добавлении к фрикционному материалу соли на его частицах появляются тонкие пленки высохшего рассола. Когда они попадают на обледеневшую поверхность, лед начинает под ними таять и частицы погружаются в углубление.

По мере погружения частицы в лед и разбавления рассола растаявшей водой, концентрация рассола в пленке уменьшается, при этом температура замерзания рассола повышается. Когда точка замерзания рассола сравняется с температурой воздуха, частица смерзается со льдом и уже прочно держится на обледеневшей поверхности. Другое важное положительное следствие смешения фрикционных материалов с солью – предохранение их



от смерзания во время хранения.

Поэтому, кроме испытаний и исследования материалов в чистом виде, были проведены испытания различных противогололедных смесей, в состав которых входили песок фракции 1 мм и химические реагенты. В качестве химических реагентов использовались: минеральная соль, Экород, Галит, НКММ, Ультра. Состав данных реагентов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Состав химических ПГМ

Table 1. Composition of chemical DM

Название ПГМ	Химический состав
Минеральная соль	NaCl ₂
Экород	NaCl ₂ , CaCl ₂ , ингибиторы коррозии
Галит	NaCl –(Na)39,4%, (Cl)60,6%
НКММ	Нитрат кальция, нитрат магния, мочевины
Ультра	NaCl ₂ (75-80%) CaCl ₂ (15-25%)

Цель изготовления данного вида противогололедной смеси – уменьшение отрицательного воздействия химических реагентов на окружающую среду и продление действия фрикционного противогололедного материала (в данном случае песка) при повышении безопасности движения автомобилей. Результаты испытаний чистой минеральной соли и противогололедной смеси на основе песка и минеральной соли при разных соотношениях составляющих, представлены на рис. 4.

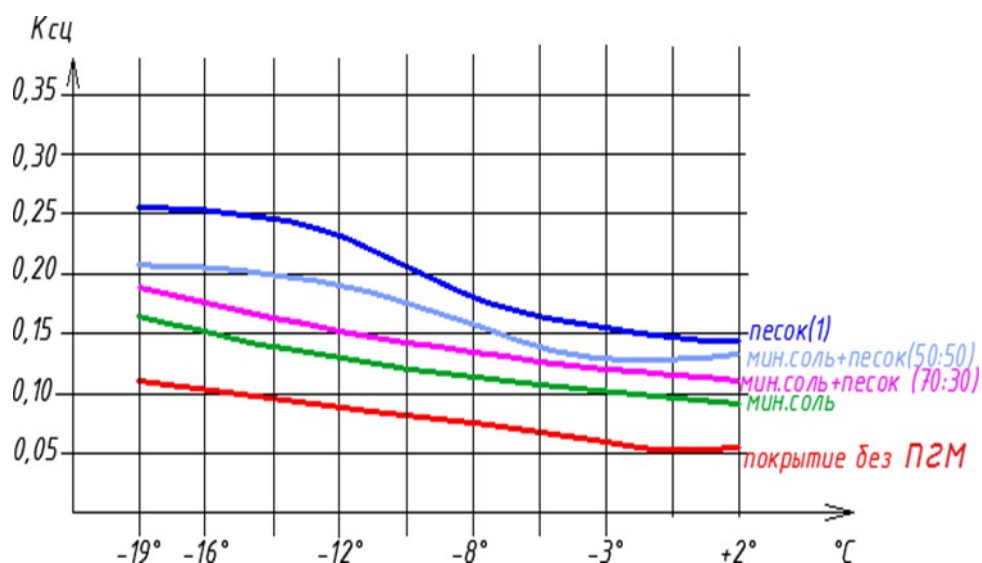
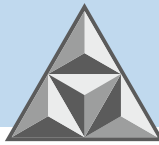


Рис. 4. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного противогололедной смесью песка и минеральной соли, от температуры воздуха

Fig. 4. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with an anti-icing mixture of sand and mineral salt on the air temperature

По результатам проведенных испытаний был сделан вывод, что противогололедная смесь в составе с минеральной солью меньше всех повышает коэффициент сцепления, это хорошо видно на графике, который представлен на рис. 4. Это связано с тем, что при обработке покрытия минеральной солью, коэффициент сцепления имеет самые низкие значения в сравнении с обработкой другими химическими реагентами, что объясняется хорошей плавящей способностью этого реагента и образованием жидкой фазы растаявшего снега или льда на покрытии.



Следующей испытуемой смесью был Экороуд и песок.

По данным, представленным на рис. 5, можно сделать вывод, что Экороуд в составе песка повышает коэффициент сцепления при всех температурах в сравнении с предыдущей смесью.

В диапазоне температур от 0 до -11 °С покрытие, обработанное только Экороудом, имеет коэффициент сцепления на уровне комбинированных составов.

Применение Экороуда при температурах выше 0 °С может привести к резкому снижению коэффициента сцепления из-за преобладания жидкой фазы растаявшего льда или снега.

Снижение коэффициента сцепления на покрытии при температурах ниже -10 °С, обработанном только Экороудом, можно объяснить кристаллизацией смеси растаявшего снега или льда, уменьшением сцепления кристаллов при движении транспорта и, как итог, снижением адгезионной составляющей коэффициента сцепления.

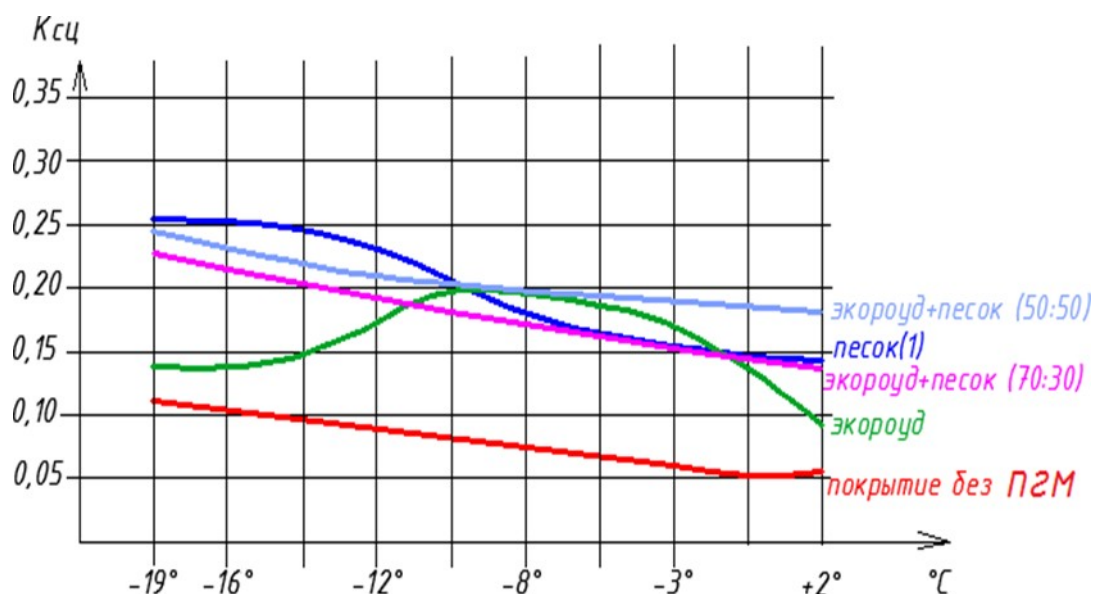


Рис. 5. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного противогололедной смесью песка и Экороуда, от температуры воздуха

Fig. 5. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with an anti-icing mixture of sand and EcoRoad on the air temperature

Испытания Галита и смесей Галита с песком показали, что при температурах ниже -10 °С покрытие, обработанное только Галитом, имеет коэффициент сцепления на уровне смесей с песком (рис. 6).

Смесь Галит : песок имеет стабильное значение коэффициента сцепления в пределах 0,22-0,25 для всех значений температур испытаний (от $+2$ до -19 °С). При температурах выше -10 °С коэффициент сцепления с покрытием резко снижается из-за преобладания жидкой фазы при таянии льда или снега.

На рис. 7 приведены результаты испытаний реагента НКММ.

При температурах от -6 до -13 °С химический реагент НКММ ведёт себя как комбинированная смесь. При температурах выше -6 °С и ниже -13 °С поведение реагента напоминает действие Экороуда. Так как НКММ обладает высокой плавящей способностью, это может привести к снижению коэффициентов сцепления в указанных диапазонах температур. При использовании комбинированных смесей такое явление не наблюдается.

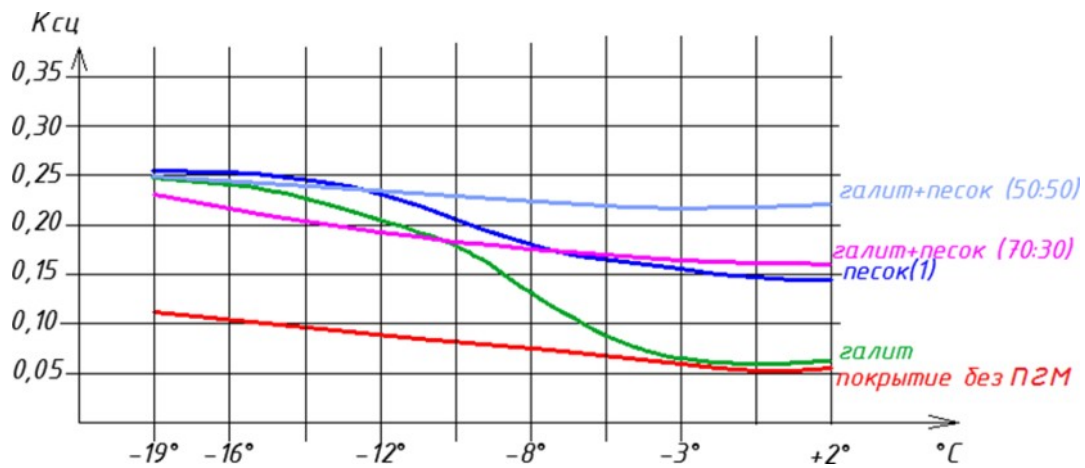
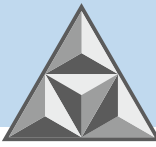


Рис. 6. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного противогололедной смесью песка и Галита, от температуры воздуха

Fig. 6. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with an anti-icing mixture of sand and Halite on the air temperature

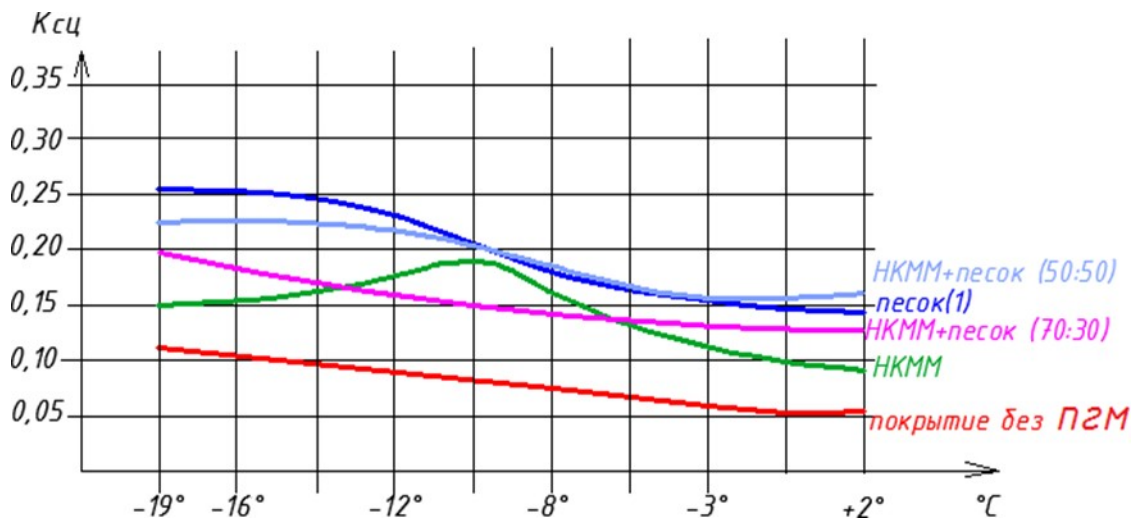


Рис. 7. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного противогололедной смесью песка и реагента НКММ, от температуры воздуха

Fig. 7. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with an anti-icing mixture of sand and the NKMM reagent on the air temperature

Противогололедная смесь, состоящая из химического реагента Ультра и песка, показала лучший результат с точки зрения увеличения коэффициента сцепления (рис. 8). Обработка поверхности покрытия химическим реагентом Ультра приводит не только к таянию снега или льда, но и к сохранению коэффициента сцепления на достаточно высоком для зимних условий значении от 0,24 при температуре -15°C до 0,15 при температуре около -11°C . При более высокой температуре происходит плавление льда или снега и коэффициент сцепления резко снижается. При обработке покрытия комбинированной смесью песчинки сохраняются либо вмёрзшими в снежное или ледяное покрытие, либо в углублениях на снежном или ледяном покрытии. При температурах, близких к 0°C , песчинки не разносятся из-за прилипания к покрытию.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что для эффективного и безопасного применения противогололёдных материалов существует наиболее эффективный диапазон температур их применения. Производители химических реагентов в основном указывают этот диапазон с точки зрения их плавящей способности. Однако применение только химических реагентов может иметь и обратный эффект за счёт снижения адгезионной и деформационной составляющих коэффициента сцепления из-за появления на поверхности рассола, который образуется при плавлении снега или льда, или замерзания этого рассола при несвоевременной уборке.

Применение только фрикционных противогололёдных материалов ограничивается участками автомобильных дорог вне населённых пунктов, из-за возможности их попадания в канализационную систему и увеличения затрат на её промывку, а также более коротким сроком их работы из-за разноса таких материалов колёсами автомобилей.

Для эффективной борьбы с зимней скользкостью при обеспечении безопасной эксплуатации обработанных реагентами покрытий возможно использовать комбинированные противогололёдные составы, которые обладают преимуществами фрикционных и химических противогололёдных материалов и реагентов.

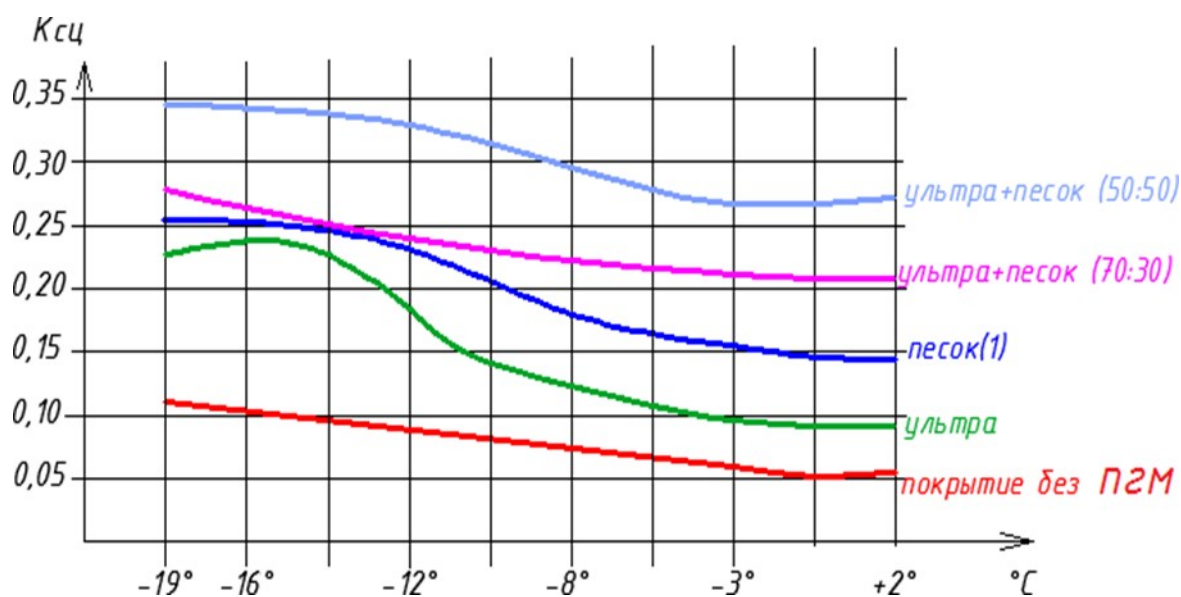


Рис. 8. Зависимость коэффициента сцепления покрытия, обработанного противогололедной смесью песка и химического реагента Ультра, от температуры воздуха

Fig. 8. Dependence of the coefficient of adhesion of the coating treated with an anti-icing mixture of sand and the chemical reagent Ultra on the air temperature

ВЫВОДЫ

Результаты проведённых исследований с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения можно обобщить следующими выводами:

- фрикционные материалы песок, высевку можно использовать при любых температурах с интервалом повторной обработки от 2 часов до 4 часов соответственно;
- фрикционные противогололёдные материалы в чистом виде возможно использовать на дорогах II и ниже категорий и на автомагистралях;



- фрикционные противогололёдные материалы в чистом виде не рекомендуется использовать в черте города;
- зола уноса эффективна при температурах ниже $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- противогололёдная смесь песок и минеральная соль работает хуже, чем чистый песок, но лучше, чем чистый реагент в диапазоне температур эксперимента от -19 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- реагент Экороуд повышает коэффициент сцепления в диапазоне температур от -10 до $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в смеси с песком повышает коэффициент сцепления в диапазоне температур эксперимента от -19 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, при температурах около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ его использование опасно;
- реагент Галит повышает коэффициент сцепления при температурах ниже $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в смеси с песком при температурах выше $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- реагент НКММ повышает коэффициент сцепления в диапазоне температур от -14 до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в смеси с песком в соотношении 50:50 в диапазоне температур эксперимента от -19 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- реагент Ультра повышает коэффициент сцепления при температурах ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в смеси с песком в любых соотношениях эффективен в диапазоне температур эксперимента от -19 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Дудин, В.М., Игнатъев, А.А.** Зимнее содержание автомобильных дорог: монография. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2019.
2. Борьба с зимней скользкостью. URL: <http://www.idt-invest.ru>
3. Фрикционный метод. URL: <https://helpiks.org/3-10624.html?>
4. Зимняя скользкость на дорогах, методы борьбы с зимней скользкостью. URL: [http://lektsii.org/1-60423.html /](http://lektsii.org/1-60423.html/)
5. Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог / под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. М.: Информавтодор, 2004.
6. Борьба с зимней скользкостью. URL: <http://www.transpobrand.ru/tabras-768-1.html>
7. Противогололедные реагенты. URL: <http://www.gololed.ru/reagents/>
8. Противогололедные средства фрикционного типа воздействия // Средства борьбы с гололедом. URL: <http://icemelt.su/friction.html>

Поступила в редакцию 09.03.2022

Одобрена после рецензирования 16.03.2022

Принята к опубликованию 22.03.22

REFERENCES

1. **Dudin V.M. & Ignatiev A.A.** (2019) *Winter maintenance of highways*. Yaroslavl: Izdat. dom YAGTU. (in Russian)
2. The fight against winter slipperiness (2020) [online]. Available at: <http://www.idt-invest.ru> (in Russian)
3. Friction method (2020) [online]. Available at: <https://helpiks.org/3-10624.html?> (in Russian)
4. Winter slipperiness on the roads, methods of combating winter slipperiness (2020) [online]. Available at: [http://lektsii.org/1-60423.html /](http://lektsii.org/1-60423.html/) (in Russian)
5. Vasiliev, A.P. (ed.) (2004) *Reference encyclopedia of the road worker. Volume II. Repair and maintenance of highways*. M.: Informavtodor (in Russian)



6. Fighting winter slipperiness (2020) [online]. Available at: <http://www.transpobrand.ru/tabras-768-1.html> (in Russian)
7. Deicing reagents (2020) [online]. Available at: <http://www.gololed.ru/reagents/> (in Russian)
8. Anti-icing means of frictional type of impact (2020) *Anti-icing means* [online]. Available at: <http://icemelt.su/friction.html> (in Russian)

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_73

The Concept of the "Garden City": The Utopia Realized in the Construction of Socialist Yaroslavl

D.A. Lichak¹, N.A. Lichak²

Lichak D. Alekseevich

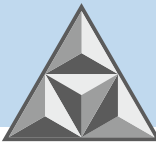
¹Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

d_lichak@mail.ru

Lichak Natalia Alekseevna

²Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

lichakna@ystu.ru



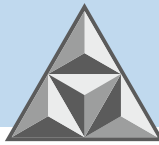
After the October Revolution, Yaroslavl's authorities transformed all areas of public life. The article reveals the relevance of the 'garden city' concept in the formation of residential development in the 1920s. During this period, architects successfully incorporated both large districts and individual buildings into the urban environment. The Yaroslavl city planners considered such innovative ideas as strict adherence to the utilitarian functions of buildings, simple layout of neighbourhoods, taking into account all the requirements for organizing the life of citizens. At the same time, foreign philosophers borrowed practices predetermined the emergence of such social space as a compositional-planning structure. In practice, they applied fast-track construction method. There were built seven apartment blocks in two years, integrated into a well-appointed village. We should note the significant contribution of Konstantin Ivanovich Butusov, the Head of the provincial communal department, whose 130th anniversary will be celebrated by Yaroslavl town planners and historians in 2022. The development of a modern city allows the local planners to rely on the experience of preserving the urban environment and green areas as resources for sustainable community development in the context of infill development and the observed epidemiological situation.

Key words: architecture, constructivism, garden city, Butusovskiy village, Yaroslavl, 1920s

For citation:

Lichak, D.A., Lichak, N.A. (2022) The concept of the "garden city": the utopia realized in the construction of socialist, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 73-81 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_73



ТИП СТАТЬИ

УДК 71

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_73

Концепция «города-сада»: утопия, воплощенная в строительстве социалистического Ярославля

Д.А. Личак¹, Н.А. Личак²

Личак Дмитрий Алексеевич

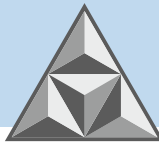
¹Ярославский государственный университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, Российская Федерация

d_lichak@mail.ru

Личак Наталия Алексеевна

²Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

lichakna@ystu.ru



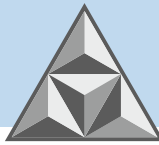
После Октябрьской революции руководство города Ярославля преобразовало все сферы общественной жизни – от быта до архитектуры. В статье раскрыта актуальность концепции «города-сада» в формировании жилой застройки в 1920-х гг. В рассматриваемый период архитекторы удачно вписывали в городскую среду как большие районы, так и отдельные постройки. Строгое следование утилитарным функциям зданий, простота построения планировки микрорайонов, учет всех требований к организации жизни горожан – данные идеи ярославских градостроителей обычно считают новаторством. Вместе с тем заимствованные практики зарубежных философов предопределили появление такого социального пространства, как композиционно-планировочная структура. На практике был применен поточно-скоростной метод строительства, когда за два года было построено семь жилых многоквартирных домов, объединенных в благоустроенный поселок. Следует отметить весомый вклад заведующего губернским коммунальным отделом Константина Ивановича Бутусова, 130-летие со дня рождения которого ярославские градостроители и историки отмечают в 2022 году. Развитие современного города позволяет местным планировщикам опираться на опыт сохранения городской среды и зеленых насаждений как ресурсов устойчивого общественного развития в условиях точечной застройки, наблюдаемой эпидемиологической ситуации.

Ключевые слова: архитектура, конструктивизм, город-сад, Бутусовский поселок, Ярославль, 1920-е гг.

Для цитирования:

Личак Д.А., Личак Н.А. Концепция «города-сада»: утопия, воплощенная в строительстве социалистического Ярославля // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3. № 1. С. 73-81 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_73



INTRODUCTION

The Yaroslavl city planners considered such innovative ideas as strict adherence to the utilitarian functions of buildings, simple layout of neighbourhoods, taking into account all the requirements for organizing the life of citizens. During the period under consideration, architects successfully incorporated both large districts and individual buildings into the urban environment.

130 years ago, on 26 February 1892, K.I. Butusov, a legendary figure of Yaroslavl, the Head of the provincial communal department, was born. After the suppression of the White Guard rebellion in Yaroslavl in 1918, he became the initiator of the city's new residential district building, implementing a unique architectural project in the shortest possible time.

Nowadays, the local planners need convincing arguments for preserving the urban environment and green areas as resources for sustainable urban development in the context of infill development and the current epidemiological situation. By this point of view, the historical experience of Yaroslavl construction a century ago seems quite representative.

THE METHODOLOGICAL BASIS OF THE UTOPIAN 'GARDEN CITY' CONCEPT

"In four years' time there will be a garden city here!" [1] praised the construction boom in Soviet Russia by the poet Vladimir Mayakovskiy. The borrowed concept of sparsely populated and low-rise settlement by the English utopian sociologist E. Howard had a great influence on the development of Soviet urban architecture. In his *Garden Cities of the Future* he held the idea of filling human life with the gifts of nature - clean air, sunshine, etc. By his opinion [2], Nature was "a source of uninterrupted joy and pleasure" after a hard day filled with continuous work.

His layout of the residential part of the city was a coherent system (Fig. 1). In the middle of the area there was a park, and in the circle there were various cultural and social institutions (shopping centres, library, hospital, theatres, museums). This was followed by another green area equipped with sports fields, shopping and exhibition areas. Such development could be expanded by the residents themselves, guided by their creative ideas; low-rise construction with private homestead plots were preferred [3].

Howard's idea was realised. More than thirty innovative cities were built around London. Gardens by his design appeared in Germany, Spain, Italy, Austria, the Czech Republic and Russia, combining the comfort of urban life with the purity of the countryside environment [4, 5].

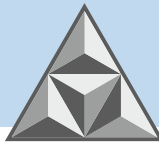
E. Howard's idea was to relieve already existing cities and build new ones outside metropolitan areas. In Soviet Russia, they were embedded in an already existing historical environment. An example of a place built according to the garden-city concept is the Butusovskiy village in Yaroslavl.

At present, urban development is also taking place in established areas [6]. The legacy of K.I. Butusov in Yaroslavl can stimulate interest not only to the study of social history, but also to a search of new urban solutions.

BUTUSOVSKY VILLAGE AS A NEW ARCHITECTURAL PHILOSOPHY OF YAROSLAVL OF THE 1920S

In the 1920s, there was an urgent need for comfortable residential areas in socialist Yaroslavl. Part of the city was destroyed by the 1918 White Guard rebellion, forcing architects to pay special attention to housing construction.

The architects surveyed the vacant areas in terms of construction and designed new buildings.



They took into account regional specifics. The urban environment was transformed in terms of the historical development in order not to lose its uniqueness and identity [7]. The residential blocks were to be combined into small neighbourhoods incorporating an urban settlement and a park area. The inconvenienced districts were transformed into recreational areas with a necessary set of facilities for the future builders of communism. The homestead plots in the city were replaced by 3-4-storey apartment blocks combined into a single complex.

The first housing orders in the residential complex, named Butusovskiy after the death of its creator, K.I. Butusov, Head of the Gubkommunotdepartment, were issued to the new settlers in 1929. This complex was built in the central district of Yaroslavl in a block bounded by Borisoglebskaya (now Sverdlova), Danilovskaya (Pushkin), Dukhovskaya (Respublikanskaya), Lyubimskaya (Tchaikovsky) streets [8] (Figure 2).

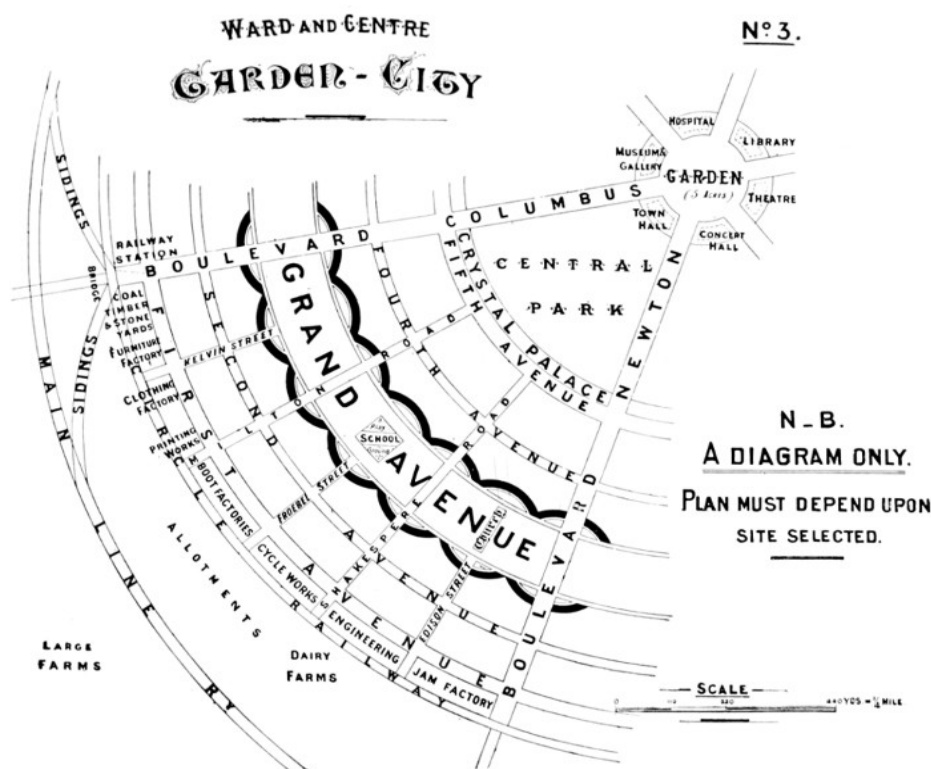
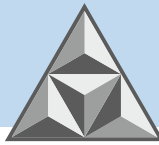


Fig.1. Hovard's Garden city plan [2]

But the workers, moved from the villages to the city, as well as Red Army soldiers, civil servants and city managers, did not have enough housing. The authorities had to find a way to resettle large numbers of people in the shortest possible time. The flats, designed for a single family, were inhabited room by room and became the shared ones [4]. The absence of some conveniences (e.g. bathrooms) was compensated for by the services of a public bathing and laundry facility located close to the accommodation. The needs of the household were met by factory kitchens, public canteens [9]. The Butusovskiy complex was surrounded by a beautiful park, which included a large sports area with a billiards hall. The synagogue building was adapted as a clubhouse for the villagers. However, cultural sites were also actively used by residents of other urban areas [10].

Constructivism became the one of the leading trends not only in Western Europe, but also in Russia among materialistically oriented architects and artists who welcomed scientific and technological progress [7]. There were built five new buildings by the project "Norma" of architect V.V. Kratyuk. The plan of their building in the constructivist style was modern and actual. V.V. Kratiuk originally implemented his ideas by combining English asceticism and German practicality



(fig. 3). Minimalism and the strict limitations of space demanded the new planning decisions provided the prospect of building a new life [11]. The modern architects still pay attention to the shape of the buildings, the cosy courtyards are important factors when assessing a project. However, this kind of construction is a complex and costly process. A shortage of financial resources and building materials [8] stimulated the search for new approaches to the implementation of the project. RUB 1.2 mn for the construction was allocated from the local budget. In addition, the city council took out a long-term loan of RUB 600,000 from the Central Communal Bank. [12, 13].

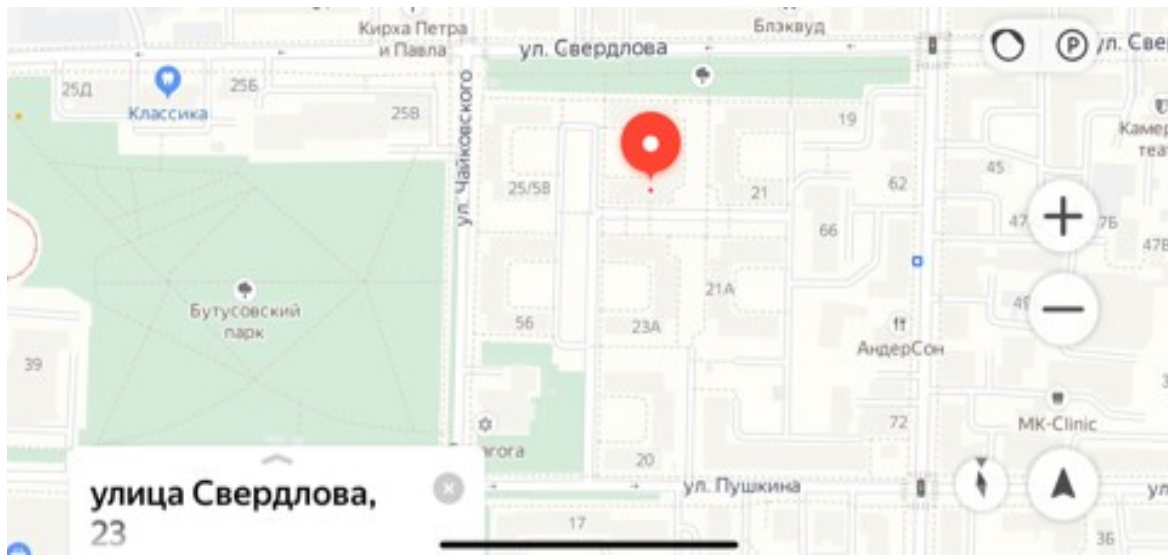


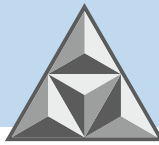
Fig. 2. Modern layout of the Butusovkiy village (Yandex Navigator)



Fig.3. The current state of the houses in Butusovkiy village (author's photo)

The organization of construction was also innovative for its time. It had a strong influence on the architecture of buildings. In practice, they applied fast-track construction method. There were built seven apartment blocks in two years. In a complex block development of Butusovkiy village, specialists distinguish a transitional type of sectional high-rise building from the first (1925) to the second residential section (1928), as evidenced by the space-planning of the flat and the absence of bathrooms. The Butusovkiy housing project was the second standard design, used as the basis for development in various parts of the town.

The experimental housing complex was done by the mid-1930s. The houses of the blocks had an equal four storeys height, according to that time regulations. Emphasis on the entrances was created



by the configuration of the flanking buildings - indentations, "bevelled" corners, creating a soft transition into the interior of the building [10, p. 50; 12, p. 63]. The necessary elements of the area (landscaped courtyards, green areas, the district administration, a school, the Volkov's Theatre, museums) began to define the semantic content of the new area of the old town. As a result, the settlement territorially occupying an urban block made it possible to economically solve the problem of incorporating the elements of public utilities into its structure. It allows to serve the entire housing complex rather than each individual house.

Special attention is paid to the specificity of the organization of the Soviet workers' settlement through the prism of the main principles and guidelines of the state urban policy of the second half of the 1920s. [14].

CONCLUSION

The 1920s was a very creative period in all spheres of Soviet society. The change of style in design is evident in the field of architectural construction. Experiment assumed the citizens of the new country would live in harmony with nature in cosy, comfortable urban areas, work on industrial plots close to home, and enjoy the necessary benefits of civilization without the stresses of a capitalist metropolis. The implementation of foreign borrowed solutions (in particular, the Garden City concept as a sparsely populated and low-rise settlement) combined the advantages of city and village without inheriting the major disadvantages of both.

A few typical houses of Butusovskiy village are such a product. This project reflects an integrated approach to the residential development of neighbourhoods in constructivist style and tests the options for organizing living space for the 'man of the future'. The appearance of the houses differs from each other, nevertheless a new urban space was created. The architectural projects were simple, rational and recognizable, embodying the image of a socialist city for the citizens of that time.

The current transformation of lifestyles and conditions (spending time at home, living in an online environment, etc.) may lead to an increased interest in the construction and implementation of the 'comfort neighbourhood-garden' concept. At the same time, the Butusovskiy housing estate is at risk of losing its integrity. The houses having the overall spatial composition are managed by the owners, which increases the risk of non-typical operating conditions. Different contractors renovate these buildings, which results in irregular colouring and finishes and largely destroys the perception of the integrity of the composition

REFERENCES

1. **Mayakovskiy, V.** Khrenov's story about Kuznetsk Construction and about the people of Kuznetsk [online]. Available at: <https://rustih.ru/vladimir-mayakovskij-rasskaz-xrenova-o-kuzneckstroe-i-olyudyax-kuznecka> (in Russian).
2. **Howard, E.** (1902) *Garden Cities of Tomorrow*. London: S. Sonnenschein & Co., Ltd.
3. **Ivanova, E.** Garden City // *Design Mate* [online]. Available at: <https://design-mate.ru/read/megapolis/garden-city> (in Russian).
4. **Parfenyuk, T.A., Strakhova, K.A. & Marcinevskaya, L.V.** (2021) The role of green spaces in improving the environmental conditions of cities and towns, *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, (5-2), pp. 36-38 [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-role-of-green-spaces-in-improving-the-environmental-conditions-of-cities-and-towns> (in Russian).
5. **Hugel, S.** (2017). From Garden City to Smart City, *Urban Planning*, 2(3), pp. 1-4 [online]. Available at: [file:///C:/Users/dimmy/AppData/Local/Temp/UP%202\(3\)%20-%20From%20the%20Garden%20City%20to%20the%20Smart%20City.pdf](file:///C:/Users/dimmy/AppData/Local/Temp/UP%202(3)%20-%20From%20the%20Garden%20City%20to%20the%20Smart%20City.pdf)



6. **Svensen, G. & Berg, S.K.** (2020) The «garden city» in the green infrastructure of the future: learning from the past, *Landscape Research*, 45(7), pp. 802-818.
7. **Saprykina, N.S.** (2013) *Architects of Yaroslavl. Fedorov Alexander Vasilyevich*. Yaroslavl: Academy of MUBINT (in Russian).
8. Butusovsky settlement in Yaroslavl. *Yarkipediya* [online]. Available at: <https://yarwiki.ru/article/2738/butusovskij-posyolok-v-yaroslavle> (in Russian).
9. **Lichak, N.A.** (2021) Implementation of constructivism concepts in Ivanovo-Voznesensk in the 1920s-1930s, *Smart composite in construction*, (3), pp. 88-96 [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-implementation-of-constructivism-concepts-in-ivanovo-voznnesensk-in-the-1920s-1930s/viewer> (in Russian).
10. **Saprykina, N.S.** (2006) *Soviet architecture of Yaroslavl: reality and virtuality*. Yaroslavl: Izd-vo YaGTU (in Russian).
11. **Saprykina, N.S.** (2006) «Yarrak Social city» in Yaroslavl, the stages of its formation, *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, (6), pp. 169-174 (in Russian).
12. **Vasilyeva, A.V.** (2020) Moscow and Leningrad influence on the compositional organization of Yaroslavl residential quarters in the 1920s-1930s, *Vestnik MGSU*, 15(11), pp. 1493-1504 (in Russian).
13. **Vasilyeva, A.V.** (2018) Residential area as an independent type of residential development of the first third of the twentieth century, *Kul'turnoe nasledie Rossii*, (2) [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiloy-massiv-kak-samostoyatelnyy-vid-zhiloy-zastroyki-pervoy-treti-hh-veka> (in Russian).
14. **Saprykina, N.S.** (2021) Settlement of Synthetic Rubber Plant in Yaroslavl –avant-garde type of Soviet urban development, *Smart Composite in Construction*, 2(3), pp. 77-86 [online]. Available at: http://comin-con.ru/index.php/tor/V2N3_2021. doi: 10.52957/27821919_2021_3_77.

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_82

Problems and features of designing social housing in Angola

N.A. Isaeva, M.Y. Pokrovskaya, F. Lumingo

Natal'ya A. Isaeva

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

nino2014nino@yandex.ru

Marina Y. Pokrovskaya

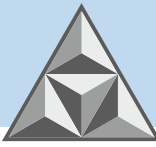
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

mapina59b@mail.ru

Florentino da Silva Lumingo

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

f.lumingo@yandex.ru



The problems and features of the design of social housing in Angola are considered, special attention is paid to the specifics of the architecture of social housing built over the past two decades. It is proposed to revise the existing residential development paradigm in the context of the active use of landscaping techniques and social comfort of urban areas in order to improve the quality of life of Angolan citizens.

Key words: social housing; environment, urbanization, design models, quality housing, comfortable housing

For citation:

Isaeva, N.A., Pokrovskaya, M.Y. & Lumingo, F. (2022) Problems and features of designing social housing in Angola, *Smart Composite in Construction*, 3(1), pp. 82-91 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_82



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.1.01: 365.22

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_82

Проблемы и особенности проектирования социального жилья в Анголе

Н.А. Исаева, М.Ю. Покровская, Ф. Люминго

Наталья Адольфовна Исаева

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

nino2014nino@yandex.ru

Марина Юрьевна Покровская

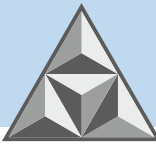
Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

marina59b@mail.ru

Флорентино Да Силва Луминго

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

f.lumingo@yandex.ru



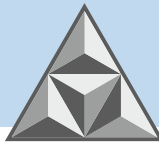
Рассмотрены проблемы и особенности проектирования социального жилья в Анголе. Особое внимание в ходе исследования уделено специфике архитектуры социального жилья, построенного в течение двух последних десятилетий. Предлагается пересмотр существующей парадигмы жилой застройки в контексте активного использования приемов озеленения и социальной комфортности территорий городского пространства с целью улучшения качества жизни граждан Анголы.

Ключевые слова: социальное жилье; окружающая среда, урбанизация, модели проектирования, качественное жилище, комфортное жилье

Для цитирования:

Исаева Н.А., Покровская М.Ю., Ф. Луминго. Проблемы и особенности проектирования социального жилья в Анголе // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3. № 1. С. 82-91
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N1_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_1_82



INTRODUCTION

The debate on the design of social housing in a number of African countries dates back to the twentieth century. For example, some project concepts implemented in solving the global housing problem in Angola.

Population of Angola is 32.8 mn people. The country is urbanized one. Despite the advances in housing construction, affordable housing remains a problem for the majority of the Angolan population. 60 % of the country's population lives at urban areas; the remaining 40% lives in peripheral urban areas and slums. This demonstrates the existence of clusters of people who do not have acceptable comfortable housing and do not even fit into their environment. This trend can be seen, for example, in Luanda, the largest city in Angola (Figure 1).



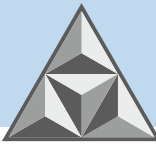
Fig.1. Architectural appearance of Luanda: *a* - urban environment, *b* - peripheral environment
[photo source: Google]

Slums in some Latin American countries tend to be located in urban areas, Angola is characterized by their dislocation in the suburbs, where the quality of the built housing is extremely poor.

RESULTS AND DISCUSSION

About 880 m people currently live in cities in worse conditions. An expected increase the world's population by 2030 more than 1.2 bn people, combined with the current housing deficit provide the deficit of comfortable homes for more than 2 bn people. There is a positive progress since the establishing of UN-Habitat. But the global housing deficit is still incredible one. There are 130 m more people living in urban slums today in compare with 1995. As the world continues to urbanize, countries around the world are demanding the implementation of various options for affordable, adequate and safe housing [1].

According to the INE (National Institute of Statistics of Angola), the current urbanization rate in Angola is 62.3%. Most of the urban population is concentrated in the coastal cities of Luanda, Benguela-Lobito and Cabinda, which are highly affected by climate change. Despite substantial investment by the GdA (Angola's government) in housing projects the urbanization process occurred through informal settlement. Luanda has 6.8 m inhabitants (41.9% of the total urban population),



Lubango has 600.8 thousand (3.7%) and Ouambo 595.3 thousand (3.7%). (3.7%), Ouambo - 595.3 thousand inhabitants (3.7%) and Cabinda - 516.7 inhabitants (3.2%). Thus, 37.1% of the total population is concentrated in just a few cities of the country [1].

According to the results of the General Population and Housing Census of Angola in 2014, 87.2% are self-built. 57.0% of households in urban areas have access to a proper water source, 81.8% have access to proper sanitation facilities and 50.9% have access to electricity. Only 37.5% of farms have a proper solid waste management system [2].

According to the UN (UN-Habitat), social housing is the housing of proper quality and location, having the low cost, allows residents to pay basic living costs and does not threaten basic human rights.

The origin of the term 'social housing' is also linked to urbanization and the growing demand for low-cost living conditions. "Social housing' is a way of providing housing for citizens who do not have enough money to buy or rent housing by market price" (Wikipedia).

Before Angola became an independent country the social housing projects had already been implemented; a typical example is the People's Quarter and the Cazenga Quarter in Luanda (Figure 2).

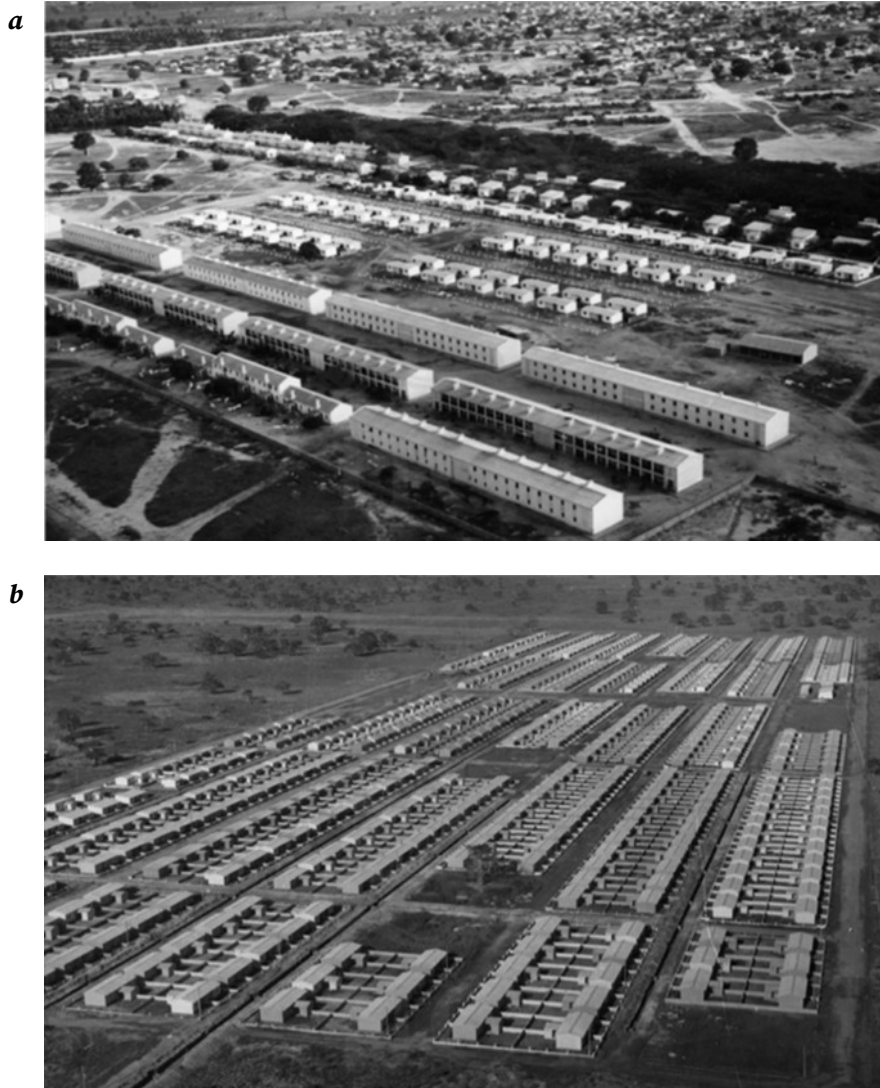
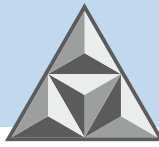


Fig. 2. Social housing in Luanda: *a* - People's Quarter; *b* - Kazenga Quarter

[Get image: <https://actd.iict.pt/view/actd:AHUD21958>; <https://actd.iict.pt/view/actd:AHUD21958>]



Social housing in Angola can be seen as the outcome of a government programme to construct buildings and facilities for middle- and low-income families displaced from areas where other types of projects and programmes will be implemented to ensure that people have the right to access decent housing.

The Government of Angola developed a National Housing Programme in 2003 and made its implementation a priority. This programme aims to address urban and housing policy challenges and involves active participation of private organizations with foreign investment.

The social housing development programme in Angola can be considered as successful one if consider only the housing construction.

However, it is important that social, communal and recreational services are not fully realized in these residential areas. It is relevant to reflect the current social housing paradigm in order to find new ways and mechanisms to improve it.

The high cost for the majority of the country's inhabitants is one of the reason of the social housing programmes slow progress. Today, rents for decent housing in Angola are comparable to the cost of real estate in major Russian cities.

The promise made by Angolan President José Eduardo dos Santos in 2008 to build one million homes in four years fulfilled by the construction of Kilamba - city. The city was built with the support of an international Chinese property investment corporation. The complex designed to accommodate more than a million people. It comprises 750 eight-storey buildings with more than 2,800 flats. There are also schools, kindergartens, shops, shopping centres and the infrastructure necessary for people in the city. However, the city is half empty. The problem is the high price for Angolans, spending on average less than \$2 a day. Few citizens can afford to pay for comfortable outside the capital accommodation.

The average salary in the country in 2021-2022 is quite low. As to the relatively well-paid category of citizens - medical specialists - their average salary is about \$1,000. The cost of a flat in Kilamba, however, varies between \$120,000 and \$200,000 [3]. The government tries to find new ways to encourage people to move to a new city, offering low mortgage rates and flats for free to those who moving out of dilapidated housing.

Increasing the number of residential flats will not solve the problem. This leads to reflection on the existing social housing system in Angola, the need to improve it and to reflect the concepts of designing a qualitatively new living environment in terms of the current paradigm.

In this case, there are several issues.

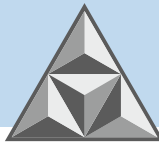
What are the architectural features of social housing design in Angola?

How ideal is the current social housing system in Angola?

To answer the first question we consider the architectural characteristics of social housing in Angola. They vary according to the social class of the residents as well as the quantity and type of building materials used.

The perspective of housing architecture projects is in its sustainability. It is important to consider the climatic characteristics, the life cycle of the building's infrastructure, its maintenance, the choice of quality materials for construction and dealing with their disposal after use. In addition, it is relevant to pay attention to the customs and lifestyles of the population in particular regions.

For example, an important feature of the Angolan way of life is the tendency to have many children. On average, every woman of reproductive age gives birth to 6 children. The annual increase in the Angolan population is 2%. The application of European methods of functional and layout organization of the dwelling flat and the architecture of the residential building is not possible in this case. Thus, recent decades' construction copied the architectural techniques of flats consisting of two or three living rooms. It prevented many families from moving into these flats. In our opinion, this



approach is wrong and required the new one.

The second problem arises when forming open areas are constructed by usual landscape design tools. The climatic characteristics of the areas suggest the use of water resources to create landscape features. There should be a comfortable microclimate using a system of fountains, pools and other water features. To maintain this infrastructure significant resources are needed. It makes social housing and their maintenance quite expensive. To solve the problem there is a need in governmental support for the development of engineering infrastructure systems.

Angola implemented two models of social housing design. The first model is characterized by single-storey social housing, usually isolated from the city; infrastructure (sewage network, water, electricity, transport), etc. is absent. Also there are no opportunities for self-development. The second model is social housing, represented by buildings of 1 to 13 storeys. It characterized by a certain distance from cities, where the most important administrative, commercial, financial, educational and other public activities are concentrated. The second model is characterized by instability in the location of social services and engineering systems.

An example of the first model is Aldea Solar, located in the municipality of Kabiri, 50 km from Luanda. The model is designed for 500 low-income families spread over an area of more than 95 hectares, ensuring relatively self-sufficient farming community (Figure 3).

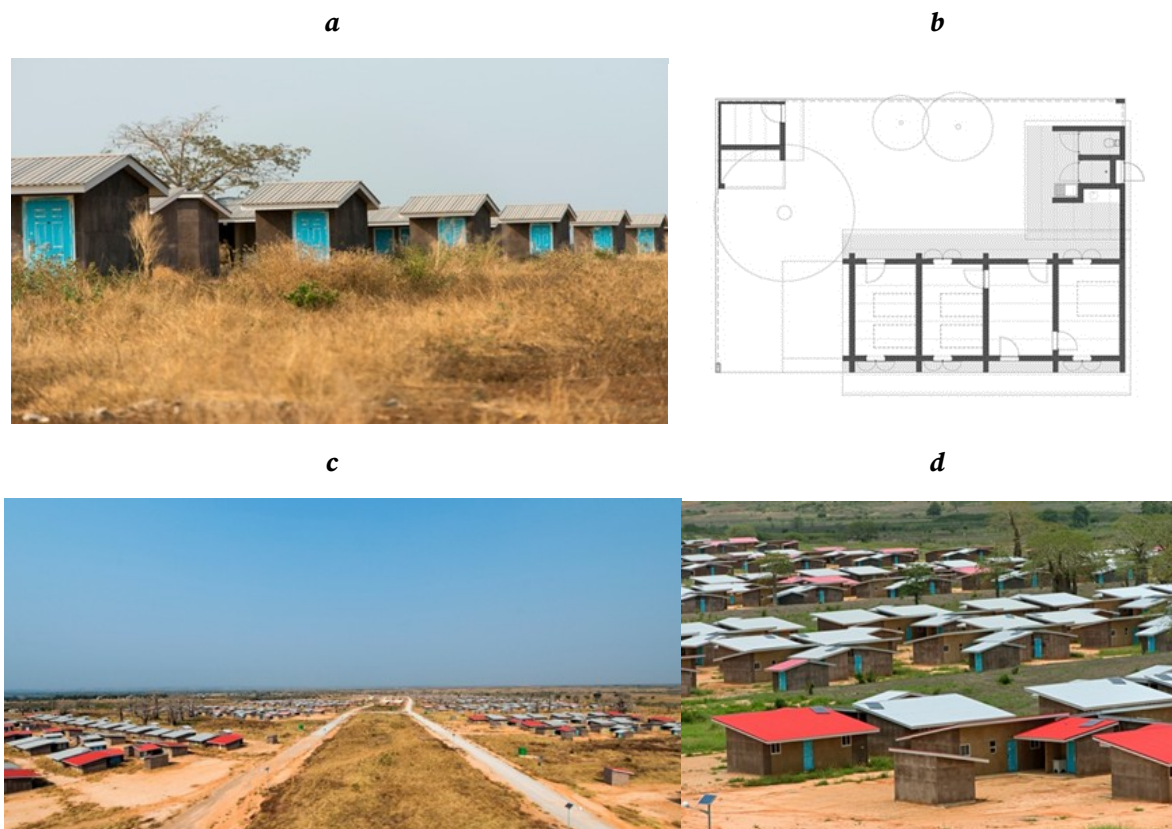
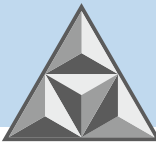


Fig. 3. View of Aldea Solar street (a) with a typical house plan on it (b); general view of the municipality (c) and the residential area (d)

[Photo source: <https://www.costalopes.com/portfolio/007/>]

The single-storey houses have a modern design with one or two pitched roofs made of corrugated zinc sheets. The layout is pavilion-type, with 3-5 living rooms on the plot. The kitchen and sanitary facilities are separate. All rooms are covered by individual roofs, which is not comfortable for residents during the rainy season. This layout does not allow for the economical formation of



utilities.

The second model: CL (Centralidade do Lossambo); located 10 km from the province of Ouambo (Figure 4).



Fig. 4. Model plan of a dwelling typical of the second model (a); general view of the building façade (b), the centre of Lossambo (c) and the residential street (d)

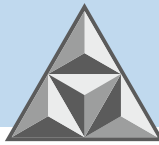
[Photo source: <https://www.jaimelerner.com/portfolio/comunidades-urbanas>]

The so-called 'block' structure of buildings is perfectly suited to the basic functions of social housing. Typical and simple geometric residential blocks allow to assemble a complex, multi-faceted building. This kind of design becomes more and more popular in Angola.

The second model uses autoclaved aerated concrete as the basic building material for residential buildings. It was first developed in Sweden in the 1920s. The Angolan government has contracted to supply lightweight prefabricated in the form of blocks concrete to the country. It allows to reduce construction time. However, for regions where local building material is available, its use is not advisable, as it often leads to an increase of the residential architecture cost.

CL flats have a minimalist design with three bedrooms and an open kitchen joined to the living room. The façades of the houses are covered with horizontal grilles. There are a total of 527 houses and 1,482 flats in the social housing complex. There are two children's centres, two primary schools, a health centre and other infrastructural objects. There is also a drinking water distribution system, electricity supply, etc. There is a motorway between CL (Centralidade do Lossambo) and Ouambo - city, allowing residents of the complex quick access to the city, where the majority of the population works.

Nevertheless, the current and applied social housing system in Angola is hardly ideal. The parameters of a more inclusive architecture combining diverse public areas that encourage public interaction and promote social cohesion should be considered. Environmental optimization, the



introduction of modern green architecture practices creating a pleasant living environment for most Angolans, should also taking into account.

When talking about social housing, we should not forget the intrusion of large numbers of people into the environment. The implemented systems should be comprehensive, equipped with public spaces for recreation, green areas and public buildings (church or mosque, medical centers, pharmacy, regional market, fire station and police, etc.).

It is also extremely important today to provide small and medium-sized communities with more attractive and ecological solutions optimizing the environment and implement innovations improving the quality of life of these communities. It should be remembered that systems do not have to be extremely expensive and large.

People spend 90% of their time in buildings. Therefore, such buildings should be socially comfortable in order to promote the manifestation of a state of full satisfaction of the needs of the body and spirit, a sense of security, tranquility and interest in creative activity.

CONCLUSION

The paradigm for contemporary social housing in Angola must be defined in terms of social housing has moved beyond the classic notion of an inexpensive place of human dislocation. Nowadays, social apartment buildings are no longer the usual boring types of buildings. New architectural trends should provide the most of modern construction methods.

Despite Angola's high unemployment rate, poor health services, electricity supply disruptions, drought, lack of sanitation and water supply, the paradigm shift towards inclusive architecture will make it clear that residents need more than just affordable housing. It is necessary not only to design the housing object but also provide the qualitative city lifestyle.

REFERENCES

1. Documento de Políticas da UN-Habitat III 10 - Políticas Habitacionais V. 01. 29.02.2016 P.2 [online]. Available at: <https://habitat3.org/documento-de-politicas-da-habitat-iii-10-politicas-habitacionais/>
2. HABITAT-MINOTH Country Program Document for Sustainable Urban Development of Angola 2018-2022. V. 01. 03.09.2018 P. 13 [online]. Available at: <https://yandex.ru/search/?clid=2186621&text=HABITAT-MINOTH+Country+Program+Document+for+Sustainable+Urban+Development+of+Angola+2018-2022.++V.+01.+03.09.2018+P.+13+&lr=16&redircnt=1647257279.1>
3. Standard of living in Angola [online]. Available at: <https://visasam.ru/emigration/australiafrica/zhizh-ceny-v-angole.html> (in Russian).

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22

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



ТОМ 3, ВЫПУСК 1, 2022 | VOL. 3, ISSUE 1

