

ISSN ONLINE 2782-1919

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



**Том 3
выпуск**

**2
2022**

**VOL. 3
ISSUE 2**

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 2

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 (иностраннный акад. РААСН, д.т.н., проф., Республика Беларусь, Минск), В.Л. МОНДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург, Россия), С.П. РУДОБАШТА (д.т.н., проф., Москва), В.Е. РУМЯНЦЕВА (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Иваново), В.П. СЕЛЯЕВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Саранск), М.Ю. ТАРШИС (д.т.н., доц., Ярославль), В.И. ТРАВУШ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.А. ТРЕЩЕВ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Тула), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (д.т.н., проф., Иваново), Г.А. ФОМЕНКО (акад. РАЕН, д.г.н., проф., Ярославль), RADIVOJE MITROVIĆ (д.т.н., проф., Республика Сербия, Белград)

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

Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

Редактор:	М.А. Канакотина, Л.С. Кокина, В.Б. Доронина
Англ. перевод:	К.А. Мельникова
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 2

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. SELYAIEV (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

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

Содержание

Строительные конструкции, здания и сооружения

Лазарев А.А., Федосов С.В., Маличенко В.Г.

Об эффективности применения сборного подвесного потолка для мониторинга пожарной безопасности внутри здания

7

Lazarev A.A., Fedosov S.V., Malichenko V.G.

On the effectiveness of the use of a prefabricated suspended ceiling for monitoring fire safety inside a building

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А.

Состояние тепло- и холодопроизводительности воздушного теплового насоса в условиях влияния влажного воздуха на испаритель

19

Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Voronov V.A.

The state of the heat and cooling capacity of the air heat pump under the influence of humid air on the evaporator

Строительные материалы и изделия

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

Исследование расхода инъекционных составов в ремонтпригодных системах гидроизоляции фундаментов

29

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

Investigation of the consumption of injection formulations in maintainable waterproofing systems of foundations

Loginova S.A.

Study of Biostability of Concretes

45

Логина С.А.

Исследование биостойкости бетонов

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Буданова Е.С., Ярмолинский В.А.

Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования
на территории РФ

54

Budanova E.S., Yarmolinsky V.A.

Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation

Provatorova G.V., Ryabinina, K.M.

Application of gabbro-diabase in the preparation of asphalt mixtures

68

Проваторова Г.В., Рябинина К.М.

Применение габбро-диабазов при приготовлении асфальтобетонных смесей

Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности

Сапрыкина Н.С.

Архитектура периода постконструктивизма в Ярославле: уникальное здание
автомобильного гаража

80

Saprykina N.S.

Post-constructivist architecture in Yaroslavl: a unique automobile garage building



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691-4:614.841

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_7

Об эффективности применения сборного подвесного потолка для мониторинга пожарной безопасности внутри здания

А.А. Лазарев¹, С.В. Федосов², В.Г. Маличенко³

Александр Александрович Лазарев

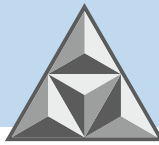
¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Российская Федерация
kgn@edufire37.ru

Сергей Викторович Федосов

²Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация
fedosov-academic53@mail.ru

Вячеслав Геннадьевич Маличенко

³Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
mvg84@bk.ru



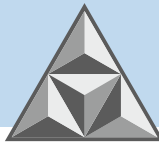
Известно множество решений по обеспечению пожарной безопасности жилых домов при использовании подвесных потолков. Это связано с ограничением распространения пожара, организацией автоматического тушения, прокладкой электропроводки. При этом практически отсутствуют комплексные подходы к проблеме, предполагающие учет различных требований в области безопасности. Основная цель исследования - создание подвесного потолка с целью обнаружения пожара в жилом помещении, учитывая необходимую дистанцию до других систем и обеспечение автономности. Необходима интеграция разрабатываемого подвесного потолка в систему «умный дом». В рамках исследования на основании статистических данных, накопленных в Ивановской области, расчетным путем определяются математическое ожидание экономических потерь от пожара в жилых помещениях, эффективность затрат на обеспечение пожарной безопасности жилых помещений при помощи разрабатываемого подвесного потолка.

Ключевые слова: «умный дом», подвесной потолок, сенсоры, сеть, пожарная безопасность

Для цитирования:

Лазарев А.А., Федосов С.В., Маличенко В.Г. Об эффективности применения сборного подвесного потолка для мониторинга пожарной безопасности внутри здания // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 7-18 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_7



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_7

On the effectiveness of the use of a prefabricated suspended ceiling for monitoring fire safety inside a building

A.A. Lazarev¹, S.V. Fedosov², V.G. Malichenko³

Alexander A. Lazarev

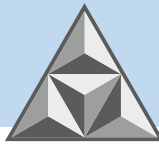
¹Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russia
kgn@edufire37.ru

Sergey V. Fedosov

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
fedosov-academic53@mail.ru

Vyacheslav G. Malichenko

³Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russia
mvg84@bk.ru



There are many solutions to ensure the fire safety of residential buildings when using suspended ceilings. These solutions are related to limiting the spread of fire, organizing automatic extinguishing, laying electrical wiring. At the same time, there are practically no comprehensive solutions to this problem. Very often, various safety requirements are not taken into account during installation. The main purpose of the study is to create a suspended ceiling for detecting a fire in a residential building, taking into account the need for distance to other systems, ensuring the autonomy of the system being developed. At the same time, it is necessary to integrate the suspended ceiling being developed into the smart home system. Also, within the framework of the study, based on statistical data of the Ivanovo region, it is necessary to determine the mathematical expectation of economic losses from a fire in residential premises, calculate economic losses from a fire in residential premises, calculate the cost effectiveness of ensuring fire safety of residential premises with the help of a suspended ceiling being developed.

Key words: smart home, suspended ceiling, sensors, network, fire safety

For citation:

Lazarev, A.A., Fedosov, S.V. & Malichenko, V.G. (2022) On the effectiveness of the use of a prefabricated suspended ceiling for monitoring fire safety inside a building, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 7-18 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_7



ВВЕДЕНИЕ

Известны решения [1-6], принятые при создании подвесных потолков и направленные на обеспечение пожарной безопасности помещений. Однако они не содержат в себе необходимых мер интеграции со средствами обнаружения пожара и средствами для обеспечения автономности создаваемой системы. Это создает трудности при проведении монтажных работ. Работы по прокладке электрических кабелей, электрооборудования и монтажа систем противопожарной защиты осуществляют, как правило, различные организации. Данное обстоятельство приводит к игнорированию требований к выполнению работ. Например, при монтаже осветительной сети очень часто не соблюдается расстояние до пожарных извещателей.

Такое положение дел требует решений по разработке сборного подвесного потолка для мониторинга пожарной безопасности помещения (далее – СПП МПБ) с конструктивными особенностями, в которые заложено соблюдение определенных стандартов по размещению оборудования в верхней части жилого помещения. Актуальность создания СПП МПБ продиктована необходимостью обеспечения пожарной безопасности населения по месту проживания, создания условий для автономной эксплуатации средств обнаружения пожара, агрегации данных средств с солнечными батареями. Предлагаемый СПП МПБ может быть включен в систему «умный дом» и предназначен не только для обеспечения безопасности проживающих в помещении людей, но и минимизации ущерба от пожара посредством его обнаружения на ранней стадии при отсутствии людей в помещении или при их нахождении в состоянии сна.

Динамика распространения опасных факторов пожара в зависимости от исполнения подвесного потолка рассматривалась Е.С. Калининым [1]. Разработкой самосрабатывающей огнетушащей панели занимались О.В. Денисов, В.Л. Адамян и др. исследователи [2]. Пределы огнестойкости подвесных потолков изучались М.В. Гравит, Д.М. Григорьевым, И.О. Ивановым [3]. Проблему снижения возникающих во время пожара напряжений в подвесном потолке во время пожара исследовали У.Д. Платт, Ю. Линь [4]. Изучение вопросов прокладки электропроводки за подвесным потолком осуществляли В.Д. Толмачев и А.А. Шалыгин [5]. Созданием устройства, предназначенного для обнаружения пожара в помещениях с межпотолочным пространством, занимались М.А. Васильев, С.А. Левчук [6]. Вместе с тем проблема разработки сборного подвесного потолка с учетом требований к монтажу технических средств обнаружения пожара и прокладки электрических кабелей на сегодняшний день не изучена.

Объектом исследования является СППМПБ, предметом исследования – технико-экономические предпосылки создания СПП МПБ.

Задачи исследования:

- 1) Разработать конструкцию СПП МПБ.
- 2) Определить математическое ожидание экономических потерь от пожара в жилых помещениях.
- 3) Рассчитать экономические потери от пожара в жилых помещениях.
- 4) Определить эффективность затрат на обеспечение пожарной безопасности жилых помещений при помощи СПП МПБ.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве прототипа для СПП МПБ представляется целесообразным рассмотреть полезную модель сборно-разборного подвесного потолка [7]. Подвесной потолок, как правило, включает в себя каркас подвесной системы, который образован взаимно пересекающимися опорными рейками и средствами их крепления на несущей конструкции [7, 8]. В ячейках, которые образованы взаимно пересекающимися опорными рейками, устанавливаются панели. Кроме того, имеются элементы разъемного соединения опорных реек между собой и с данными панелями. Недостатками известных решений является невозможность требуемого крепления технических средств для обнаружения пожара, достаточного дистанцирования этих средств от другого электрооборудования, а также сложности, возникающие при монтаже подвесного потолка и размещения на нем или за ним оборудования. При создании СПП МПБ решается техническая задача быстрой сборки подвесного потолка с заданной дистанцией размещения оборудования, обеспечения удобства обслуживания и ремонта (рис. 1).

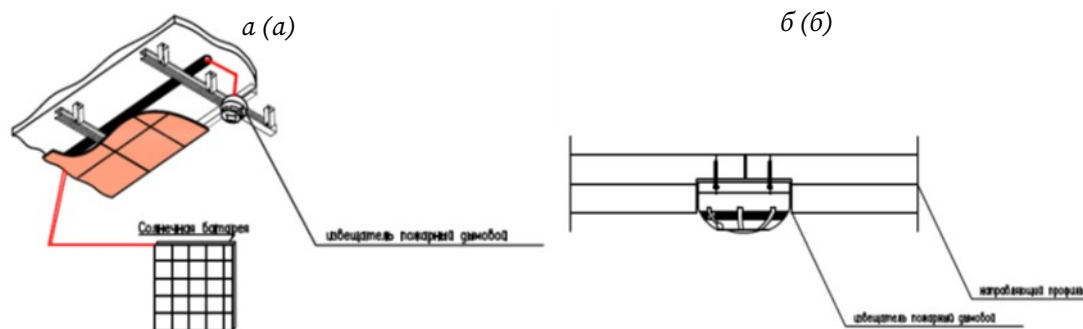


Рис. 1. Конструкция СПП МПБ: *а* – основные элементы; *б* – узел крепления пожарного извещателя
Fig. 1. The design of the SPP MPB: *a* – the main elements; *b* – the mounting unit of the fire detector

Предлагаемая конструкция СПП МПБ позволяет решить поставленную техническую задачу за счет агрегации продольных и поперечных направляющих с профилированными торцами, потолочных ячеек и крепежных элементов с техническими средствами обнаружения пожара, электрическими кабелями различного назначения. В панелях из гипсоволокна, продольных и поперечных направляющих, монтажных брусках с монтажными элементами имеются каналы для вариативной прокладки электрических кабелей. Данные каналы предназначены также для экранирования и предотвращения наводок на средства пожарной автоматики. Для создания СПП МПБ также используются карнизы, бордюры, розетки и доборы, а в качестве крепежных элементов – резьбовые шпильки. Имеется возможность регулирования крепления по высоте [1, 3, 7]. Расположение продольных направляющих предполагается на равных расстояниях по отношению друг к другу, отвечающих шагу ячейки. Исполнение монтажных брусков предполагает возможность их закрепления на стене с учетом выбранной высоты [7, 8]. В свою очередь, исполнение монтажных элементов предусматривает возможность закрепления на выбираемом расстоянии друг от друга. Снизу по центру перекрестий направляющих установлены розетки. На направляющих устанавливаются бордюры в декоративном исполнении. Размер бордюров подобран с учетом расстояния между розетками. Установка доборов осуществляется по периметру потолка. Их прикрепление осуществляется к монтажному брусу с внешней стороны [4, 7]. К завершающей направляющей они крепятся с внутренней стороны. Длина сторон потолочных ячеек меньше расстояния между



направляющими. Потолочный плинтус и потолочный карниз образуют карниз, прикрепляемый к направляющим и монтажным брускам [3, 7]. В продольных, поперечных и завершающих направляющих имеются по два продольных выступа, симметрично расположенных, высота и ширина которых равна не менее половины толщины направляющих [4, 7]. Имеющиеся внутри направляющих пустоты предназначены для размещения каналов раздельной прокладки электрических сетей – осветительной и системы пожарной автоматики. Профилированные торцы продольных, поперечных, завершающих направляющих выполняются в виде выступов, высота и ширина которых равна не менее половины толщины этих направляющих [7, 8]. Конструкция СПП МПБ предполагает наличие выносного элемента – солнечной батареи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках исследования по стандартной методике [9] производился расчет эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности жилых помещений при помощи СПП МПБ.

На первоначальном этапе были определены площади пожара при свободном горении твердых горючих и трудногорючих материалов в жилых помещениях на основе статистических данных, касающихся частоты пожаров в Ивановской области в 2021 г. [10]. Это позволило определить параметры развития пожара в жилых зданиях, а также на основании данных об эффективности элементов и систем обеспечения пожарной безопасности подготовить прогноз экономических потерь от возможного пожара.

Математическое ожидания экономических потерь от пожара $M(\Pi)$ рассчитывают [9]:

$$M(\Pi) = M(\Pi_{н.б.}) + M(\Pi_{о.р.}) + M(\Pi_{п.о.}), \quad (1)$$

где $M(\Pi_{н.б.})$ – математическое ожидание потерь от пожара части национального богатства, руб./год;

$M(\Pi_{о.р.})$ – математическое ожидание потерь в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий пожара, руб./год;

$M(\Pi_{п.о.})$ – математическое ожидание потерь от простоя объекта, обусловленного пожаром, руб./год; расчет этой величины (рис. 2) актуален для самозанятого населения, осуществляющего свою деятельность в жилых домах.

Проведенный анализ рассчитанных значений математического ожидания экономических потерь позволил установить тенденцию к увеличению данного показателя с повышением степени огнестойкости жилого здания.

Второй этап исследования включал в себя определение экономических потерь от пожара в жилом здании за год расчетным путем.

Значение предотвращенных потерь ($\Pi_{пр}$), руб. определяется [9]:

$$\Pi_{пр} = \Pi_1 + \Pi_2, \quad (2)$$

где Π_1 , Π_2 – экономические потери от одного пожара на охраняемом объекте соответственно до и после реализации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, руб.

Результат проведенных расчетов экономических и предотвращенных потерь от пожара в жилых зданиях представлены на рис. 3. Данные приведены по статистическим данным Ивановской области в зависимости от степени огнестойкости.

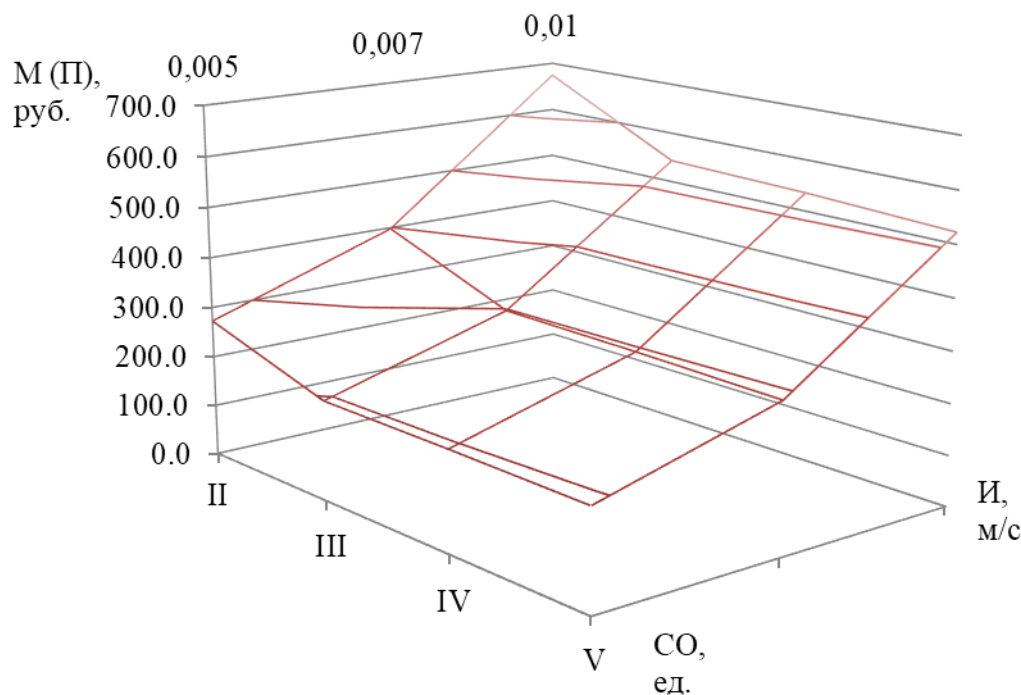


Рис. 2. Математическое ожидание экономических потерь от пожара при различных линейных скоростях на 13-й минуте пожара

Fig. 2. Mathematical expectation of economic losses from fire at various linear velocities at the 13th minute of the fire

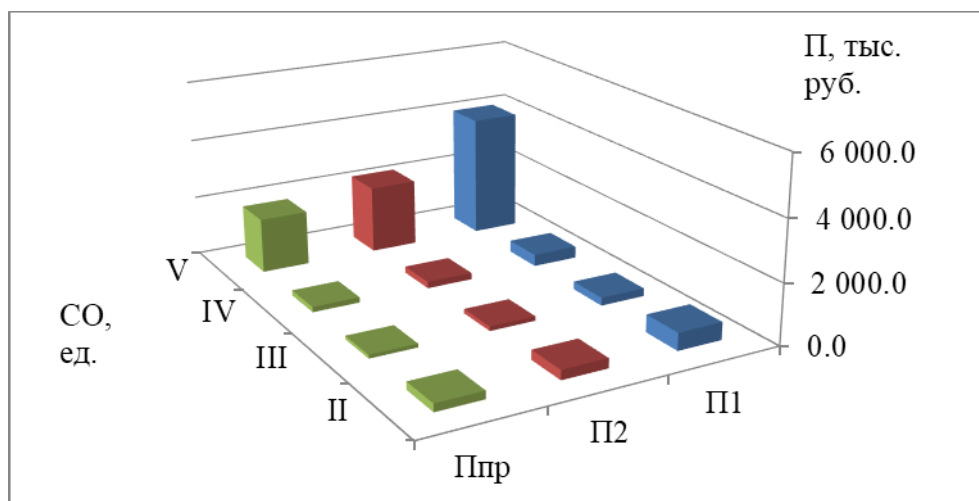


Рис. 3. Экономические и предотвращенные потери от пожара в жилых зданиях с учетом степени огнестойкости

Fig. 3. Economic and prevented losses from fire in residential buildings, taking into account the degree of fire resistance

В зависимости от степени огнестойкости жилых зданий, на рис. 3 представлены: предотвращенные потери ($\Pi_{пр}$), экономические потери от одного пожара в жилом здании соответственно до (Π_2) и после установки СПП МПБ (Π_1).

На третьем этапе, по результатам предшествующих двух этапов, а также с учетом данных об эксплуатации жилого здания за расчетный период, определяется экономический эффект затрат на СПП МПБ.



По результатам эксплуатации объекта за расчетный период определяется экономический эффект затрат на обеспечение пожарной безопасности. Экономический эффект за расчетный период, независимо от направленности мероприятия по обеспечению пожарной безопасности (разработка, производство и использование новых, совершенствование существующих элементов систем и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности) (\mathcal{E}_T), руб., рассчитывается [9]:

$$\mathcal{E}_T = \Pi_{\text{пр}T} + \mathcal{Z}_T, \quad (3)$$

или

$$\mathcal{E}_T = \sum_{t=t_n}^{t_k} \Pi_{\text{пр}t} \cdot \alpha_{\text{тпр}} - \sum_{t=t_n}^{t_k} \Pi_{\text{пр}t} \cdot \alpha_t, \quad (4)$$

где \mathcal{E}_m – экономический эффект реализации мероприятия по обеспечению пожарной безопасности за расчетный период (T);

$\Pi_{\text{пр}T}$, $\Pi_{\text{пр}t}$ – стоимостная оценка предотвращенных потерь соответственно за расчетный период (T) и в году (t) расчетного периода;

\mathcal{Z}_T , \mathcal{Z}_t – стоимостная оценка затрат на реализацию мероприятия по обеспечению пожарной безопасности соответственно за расчетный период (T) и в году (t) расчетного периода;

α_t , $\alpha_{\text{тпр}}$ – коэффициенты приведения разновременных соответственно затрат и предотвращенных потерь к расчетному году;

t_n – начальный год расчетного периода;

t_k – конечный год расчетного периода;

t – текущий год расчетного периода.

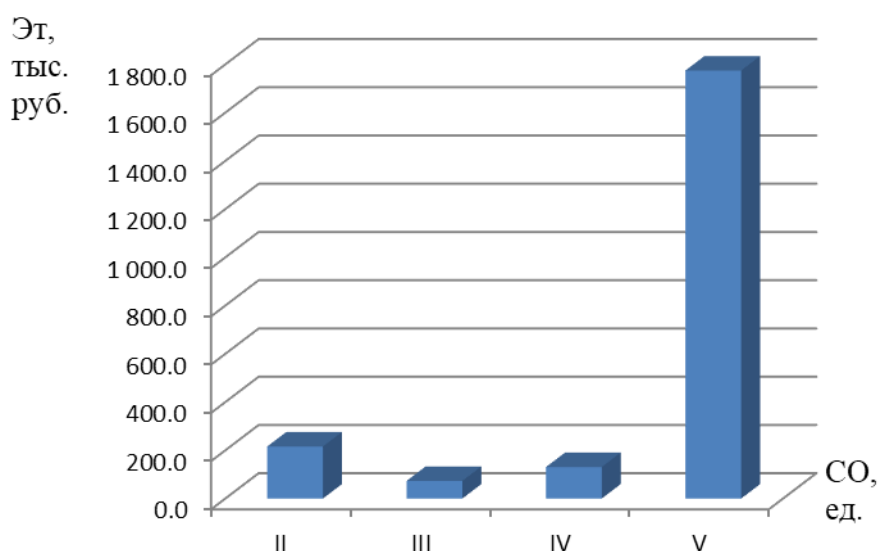
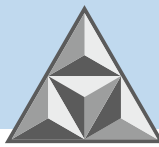


Рис. 4. Экономический эффект затрат на СПП МПБ

Fig. 4. Economic effect of SPP SPB costs

Рис. 4 иллюстрирует зависимость эффективности затрат на СПП МПБ от степени огнестойкости жилых зданий. Указанные значения рассчитаны исходя из предотвращенных потерь и затрат на установку СПП МПБ. Анализ полученных данных показывает, что затраты на установку СПП МПБ в жилых помещениях будут иметь наибольшую эффективность



в даниях V степени огнестойкости. Это обуславливается тем, что пожары в жилых зданиях данной степени огнестойкости приводят к значительному ущербу на больших площадях. Известно [10], что более 80% пожаров происходит в жилых зданиях [10], и это очень часто завершается полным их уничтожением.

Установка предлагаемого СПП МПБ является не только эффективным решением с экономической точки зрения, но также позволяет существенно развить систему «умный дом». Аналогичные решения для обеспечения пожарной безопасности кухни предложены W.-L. Hsu, J.-Y. Jhuang, C.-S. Huang, C.-K. Liang, Y.-C. Shiau [11]. R.M.N.-U. Rehman [12] изучены различные смарт-системы. Дистанционный мониторинг пожарной безопасности соседних зданий в рамках концепции создания системы «умный дом» предлагается в [13-15].

ВЫВОДЫ

Монтаж СПП МПБ позволяет учесть совокупность требований к различным системам, требующим размещения в верхней части жилого помещения.

Комплексное решение проблем обеспечения пожарной безопасности таких зданий и сооружений может быть достигнуто при помощи создания сборных строительных изделий, интегрируемых в систему «умный дом». Описанный СПП МПБ позволяет решать указанную проблему с высокой экономической эффективностью. Также совершенствуются подходы при включении в конструкцию СПП МПБ солнечной батареи. Это позволяет исключить «человеческий фактор», воздействующий на своевременность замены аккумуляторных батарей в автономных пожарных извещателях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Калинин Е.С.** Влияние исполнения подвесного потолка на динамику распространения опасных факторов пожара. // *Ройтмановские чтения: сб. материалов VIII научно-практической конференции*; под ред. Б.Б. Серкова. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2020. С. 35-38.
2. Патент RU 2684677 C1 Российская Федерация. Самосрабатывающая огнетушащая панель / **Денисов О.В., Адамян В.Л., Пономарев А.Е., Пономарева И.А., Павликов А.В.**
3. **Gravit M.V., Golub E.V., Grigoriev D.M., Ivanov I.O.** Fireproof suspended ceilings with high fire resistance limits // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 8 (84). P. 75-85. DOI: 10.18720/MCE.84.8
4. Патент RU 2387766 C2 Российская Федерация. Соединительный элемент с крюком и пластмассовой облицовкой для снижения возникающих во время пожара напряжений / **Платт У.Д., Линь Ю.**
5. **Толмачев В.Д., Шалыгин А.А.** Прокладка электропроводок за подвесными потолками и в перегородках // *Энергобезопасность в документах и фактах*. 2005. № 3. С. 24-32.
6. Патент RU 2178919 C1 Российская Федерация. Устройство для обнаружения пожара в помещениях с межпотолочным пространством. на изобретение / **Васильев М.А., Левчук С.А., Мещеряков А.В., Танклевский Л.Т.**
7. А.с. 90092 U1 СССР. Сборно-разборный подвесной потолок на полезную модель / **Дзубоев И.Р., Михеева Н.Л.**
8. Патент RU 2521233 C2 Российская Федерация. Ударопрочный подвесной потолок и его



- крепежный элемент / **Боржер С., Вромен Й.П.К.**
9. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
 10. Главное управление МЧС России по Ивановской области. URL: <https://37.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/>
 11. программу-po-profilaktike-narusheniy-obyazatelnyh-trebovaniy
 12. **Hsu W.L., Jhuang J.Y., Huang C.S., Liang C.K., Shiau Y.C.** Application of Internet of Things in a kitchen fire prevention system // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2019. 9(17). P. 3520–3544. DOI: 10.3390/app9173520.
 13. **Rehman R.M.N.-U.** Model of Smart System Based On Smart Grid, Smart Meter and Wireless Based Smart Appliances // *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2012. 1(5). P. 6–10. DOI: 10.9790/1676-0150610.
 14. **Федосов С.В., Лазарев А.А., Маличенко В.Г., Торопова М.В.** Мониторинг пожарной безопасности как средство дистанционного контроля // *Современная наука: теория, методология, практика. Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Тамбов, 2021. С. 96-100.
 15. **Федосов С.В., Маличенко В.Г., Торопова М.В., Лазарев А.А.** Программа по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, предела распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов // *Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности. Современные задачи инженерных наук: сб. науч. трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума*. М., 2021. С. 20-24.
 16. **Лазарев А.А., Торопова М.В.** Вероятностный подход к определению мест установки приборов вне малоэтажных зданий для обнаружения пожара // *Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России*. Иваново, 2020. С. 208-212.

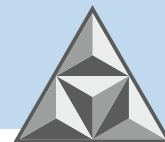
Поступила в редакцию 10.06.2022

Одобрена после рецензирования 15.06.2022

Принята к опубликованию 22.06.2022

REFERENCES

1. **Kalinin, E.S.** (2020) The influence of the suspended ceiling design on the dynamics of the spread of fire hazards, *Rojtmanovskie chteniya: sb. materialov VIII nauchno-prakticheskoy konferencii*; B.B. Serkov (Ed.). M.: Akademiya Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii, pp. 35-38 (in Russian).
2. **Denisov, O.V., Adamyan, V.L., Ponomarev, A.E., Ponomareva, I.A. & Pavlikov, A.V.** (2019) Self-working fire extinguishing panel. RU 2684677 C1 (in Russian).
3. **Gravit, M.V., Golub, E.V., Grigoriev, D.M. & Ivanov, I.O.** (2018) Fireproof suspended ceilings with high fire resistance limits, *Magazine of Civil Engineering*, 8 (84), pp. 75-85. DOI: 10.18720/MCE.84.8.
4. **Platt, U.D. & Lin, Yu** (2010) A connecting element with a hook and a plastic lining to reduce stresses arising during a fire. RU 2387766 C2 (in Russian).



5. **Tolmachev V.D. & Shalygin A.A.** (2005) Laying of electrical wiring behind suspended ceilings and in partitions, *Energobezopasnost' v dokumentah i faktah*, 3, pp. 24-32 (in Russian).
6. **Vasiliev, M.A., Levchuk, S.A., Meshcheryakov, A.V. & Tanklevsky, L.T.** (2002) A device for detecting fire in rooms with an interstitial space. RU 2178919 C1 (in Russian).
7. **Dzeboev, I.R. & Mikheeva, N.L.** (1948) Collapsible suspended ceiling. SU 90092 U1 (in Russian).
8. **Border, S. & Times, Y.P.K.** (2014) Shock-resistant suspended ceiling and its fastening element. RU 2521233 C2 (in Russian).
9. GOST 12.1.004-91. System of occupational safety standards. Fire safety. General requirements (in Russian).
10. *The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Ivanovo region* [online]. Available at: <https://37.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/>
11. *programmy-po-profilaktike-narusheniy-obyazatelnyh-trebovaniy* (in Russian).
12. **Hsu, W.L., Jhuang, J.Y., Huang, C.S., Liang, C.K. & Shiau, Y.C.** (2019) Application of Internet of Things in a kitchen fire prevention system, *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(17), pp. 3520-3544. DOI: 10.3390/app9173520.
13. **Rehman, R.M.N.-U.** (2012) Model of Smart System Based On Smart Grid, Smart Meter and Wireless Based Smart Appliances, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1(5), pp. 6–10. DOI: 10.9790/1676-0150610.
14. **Fedosov, S.V., Lazarev, A.A., Malichenko, V.G. & Toropova, M.V.** (2021) Fire safety monitoring as a means of remote control, *Sovremennaya nauka: teoriya, metodologiya, praktika. Materialy III Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii*. Tambov, pp. 96-100 (in Russian).
15. **Fedosov, S.V., Malichenko, V.G., Toropova, M.V. & Lazarev, A.A.** (2021) A program for determining the limits of fire resistance of building structures, the limit of fire propagation through structures and groups of flammability of materials, *Sovremennye inzhenernye problemy klyuchevykh otraslej promyshlennosti. Sovremennye zadachi inzhenernykh nauk: sb. nauch. trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo simpoziuma i III Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo Foruma*. Moscow, pp. 20-24 (in Russian).
16. **Lazarev, A.A. & Toropova, M.V.** (2020) Probabilistic approach to determining the installation locations of devices outside low-rise buildings for fire detection, *Topical issues of improving engineering systems to ensure fire safety of facilities. Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov: sb. materialov VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 30-j godovshchine MCHS Rossii*. Ivanovo, pp. 208-212 (in Russian).

Received 10.06.2022

Approved after reviewing 15.06.2022

Accepted 22.06.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.577.6

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_19

Состояние тепло- и холодопроизводительности воздушного теплового насоса в условиях влияния влажного воздуха на испаритель

С.В. Федосов¹, В.Н. Федосеев², В.А. Воронов²

Сергей Викторович Федосов

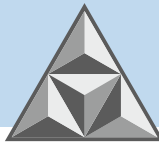
¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация
fedosov-academic53@mail.ru

Вадим Николаевич Федосеев

²Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
4932421318@mail.ru

Владимир Андреевич Воронов

²Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
atpenatiiii@gmail.com



Рассмотрены термодинамические процессы, влияющие на режим работы испарительно-конденсационного блока воздушной теплонасосной системы (ВТНС). Для эффективной эксплуатации теплохолодильных агрегатов необходимо учитывать внутренние и внешние условия протекания рабочего процесса. Фазовые превращения происходят не только в объеме кипящего хладагента при испарении и конденсации, но и на внешних теплопередающих поверхностях теплообменников. Эти процессы ведут к неизбежному возникновению и нарастанию во времени иная, игольчатых кристаллов льда с низкими значениями коэффициента теплопроводности, что обеспечивает снижение величины коэффициента теплопередачи от воздушного потока к кипящему или конденсирующемуся хладагенту и, соответственно, определяет эффективность и долговечность работы воздушной теплонасосной системы.

Ключевые слова: теплообмен, конденсация, теплопередача, испарительно-конденсационный блок, холодопроизводительность, инееобразование

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А. Состояние тепло- и холодопроизводительности воздушного теплового насоса в условиях влияния влажного воздуха на испаритель // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 19-28
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_19



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_19

The state of the heat and cooling capacity of the air heat pump under the influence of humid air on the evaporator

S.V. Fedosov¹, V.N. Fedoseev², V.A. Voronov²

Sergey V. Fedosov

¹National research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

edosov-academic53@mail.ru

Vadim N. Fedoseev

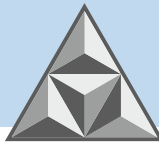
²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

4932421318@mail.ru

Vladimir A. Voronov

²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

amenamiiii@gmail.com



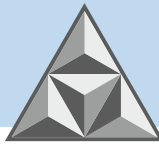
Thermodynamic processes affecting the mode of operation of the evaporative-condensing unit of the air heat pump system (VTNS) are considered. For efficient operation of heat-cooling units, it is necessary to take into account the internal and external conditions of the workflow. Phase transformations occur not only in the volume of boiling refrigerant during evaporation and condensation, but also on the external heat transfer surfaces of heat exchangers. These processes lead to the inevitable occurrence and increase in time of frost, needle-like ice crystals with low values of the thermal conductivity coefficient, which reduces the value of the heat transfer coefficient from the air stream to the boiling or condensing refrigerant and, accordingly, determines the efficiency and durability of the air heat pump system.

Key words: heat exchange, condensation, heat transfer, evaporation-condensation unit, cooling capacity, frost formation

For citation:

Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Voronov, V.A. (2022) The state of the heat and cooling capacity of the air heat pump under the influence of humid air on the evaporator, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 19-28 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_19



ВВЕДЕНИЕ

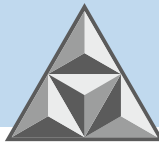
Учеными Национального исследовательского Московского государственного строительного университета и Ивановского государственного политехнического университета рассматривается ряд вопросов, связанных с изучением способов интенсификации теплообмена, в первую очередь, в режиме «кипение-испарение», который возникает в ходе работы испарительно-конденсационного блока воздушной теплонасосной системы (ВТНС) [1-3]. Все полученные выражения материального и теплового баланса, как для испарительного, так и конденсационного блока, справедливы для условий работы ВТНС в стационарном режиме. Периоды запуска и остановки теплового насоса имеют определенную продолжительность и некоторые особенности, и их необходимо учитывать для осуществления режимов основного цикла и цикла регенерации. Нестабильность и стохастичность температурно-влажностных параметров воздушной среды, т.е. воздушного потока, омывающего трубки испарительного блока, вызывают нестационарность работы установки ВТНС [4].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Холодопроизводительность испарителей ВТНС зависит от разности температур между поверхностью испарителя и окружающим воздухом и резко уменьшается при понижении температуры испарения. В условиях длительного изменения воздействия температуры происходит изменение их теплофизических и физико-механических характеристик, а оно, в свою очередь, способно изменять значения коэффициента теплоотдачи, а значит, и коэффициента теплопередачи. Также величина производительности ВТНС зависит от перегрева паров при всасывании их из испарителя, температуры конденсации и переохлаждения конденсата. Фазовые превращения происходят не только в объеме кипящего хладагента (испарение, конденсация), но и на внешних теплопередающих поверхностях теплообменников (конденсация влаги и газообразование). Избыток влаги в виде слоя инея, особенно в пограничном слое, оседает на поверхности испарителя, ухудшая его работу. Из осложняющих теплофизических явлений известны эффекты «перегрева» пара и «переохлаждения» конденсата. Центром конденсации, как правило, являются и капли, и теплопередающие поверхности конденсационного блока [5, 6]. Зависимость упругости насыщенного пара от размеров капли определяет сохранение газообразного состояния в условиях, когда вещество должно было бы уже перейти в жидкое состояние. Высота столба жидкости над поверхностью нагрева оказывает заметное влияние на величину коэффициента теплоотдачи, в особенности - при низком давлении, т.к. повышение давления вызывает увеличение температуры кипения жидкости, уменьшая перегрев поверхности по отношению к кипящей жидкости, что приводит к снижению интенсивности образования пузырьков пара. Однако при достижении температуры «точки росы» выпадение конденсата не происходит мгновенно.

При дальнейшем понижении температуры начинается процесс зарождения центров конденсации. Процесс конденсации включает две стадии: зарождение центров конденсации, рост капель. Заметим, что центром конденсации, как правило, являются и капли, и теплопередающие поверхности конденсационного блока (рис. 1).

Поэтому теплоноситель, снимающий теплоту в конденсационном блоке и значения коэффициента теплопередачи от изменяющихся во времени коэффициентов теплоотдачи,



не всегда учитывается в практических расчетах. Однако влияние флуктуации параметров во времени интересно не только с точки зрения определения площади теплообмена и количества теплообменных трубок, но и, в большей степени, для создания математических моделей и алгоритмов управления процессами прямого цикла и цикла регенерации. Порой теплоноситель, заполняющий систему, может содержать примеси, способные оседать на теплопередающей поверхности, и существенно снижать значения коэффициента теплопередачи, влияя на эффективность всего процесса работы воздушного теплового насоса.

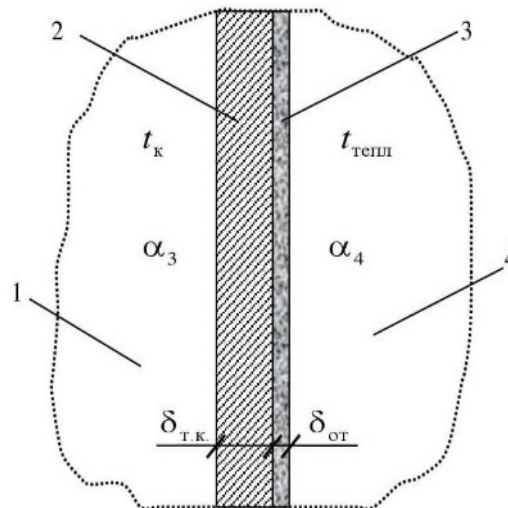


Рис. 1. Фрагмент теплопередающей поверхности конденсационного блока: 1 - сконденсированный хладагент; 2 - поверхность теплопередачи; 3 - слой осадка (накипи); 4 - теплоноситель (воздух)

Fig. 1. Fragment of the heat transfer surface of the condensation unit: 1 – condensed refrigerant; 2 - heat transfer surface; 3 - sediment layer (scale); 4 - heat carrier (air)

Поэтому теплоноситель, снимающий теплоту в конденсационном блоке и транспортирующий ее к конечной цели – потребителю, также является важнейшим участником процесса. Он обладает не только основным параметром, обеспечивающими теплообмен – скоростью потока v , но и способствует теплопереносу своими теплофизическими характеристиками (плотность ρ , теплоемкость, вязкость μ , теплопроводность λ).

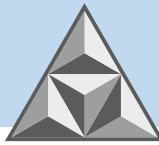
Тепловой поток от конденсата к теплоносителю будет определяться выражением:

$$Q_k(\tau) = K_k(\tau) \cdot F_k \cdot [t_k(\tau) - t_{менл}(\tau)] \quad (1)$$

В данном случае коэффициент теплопередачи будет определяться:

$$K_k(\tau) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3(\tau)} + \frac{1}{\alpha_4(\tau)} + \frac{\delta_{т.к.}}{\lambda_{т.к.}} + \frac{\delta_{от}(\tau)}{\lambda_{от}}}, \quad (2)$$

где $\alpha_3(\tau)$, $\alpha_4(\tau)$ – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К); $\delta_{т.к.}$ – толщина стенки трубы конденсатора, м; $\lambda_{т.к.}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки трубы конденсатора Вт/(м·К); $\delta_{от}(\tau)$ – толщина отложений, м; $\lambda_{от}$ – коэффициент теплопроводности с учетом отложений на стенке Вт/(м·К).



При низкой температуре наружного воздуха теплообменная поверхность испарителя воздушного теплового насоса начинает покрываться слоем инея, что серьёзно влияет на эффективность работы установки, а также на её долговечность, так как образование слоя инея неминуемо ведёт к падению давления кипения. Процесс нарастания «снежной шубы» на поверхности испарителя неизбежен, поскольку температура кипения хладагента (фреона) в испарителе, а следовательно, и температура поверхности испарителя ниже температуры «точки росы» (рис. 2). Образование слоя льда на трубках испарителя приводит к неравномерному распределению температуры по объёму жидкости (фреона) в испарителе и существенно снижает интенсивность теплообмена.

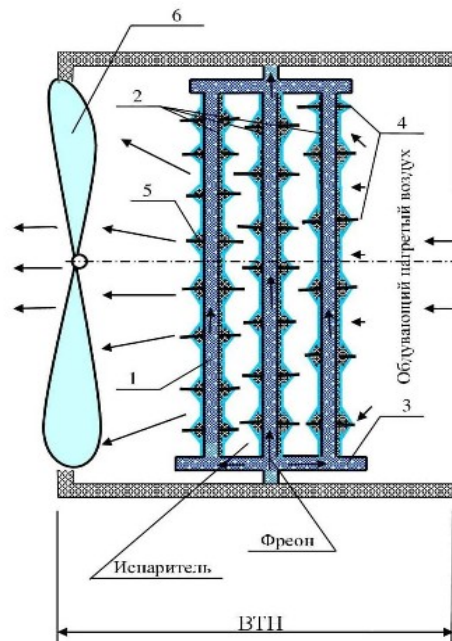
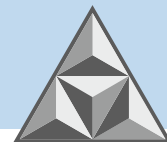


Рис. 2. Фрагмент теплопередающей поверхности испарителя: 1 - корпус воздушного испарителя; 2 - параллельные трубки; 3 - хладагент (фреон); 4 - рёбра снаружи трубок; 5 - толщина слоя инея; 6 - вентилятор теплового насоса

Fig. 2. Fragment of the heat transfer surface of the evaporator: 1 - the body of the air evaporator; 2 - parallel tubes; 3 - refrigerant (freon); 4 - fins outside the tubes; 5 - thickness of the frost layer; 6 - heat pump fan

С понижением температуры от 0 до -40 °С (в диапазоне 273...233 К) иней образуется вследствие выпадения водяных паров на такой поверхности, при этом плотность инея изменяется: в начальной стадии отложения - снижается, так как в этот период кристаллы растут вверх, после чего происходит образование замкнутого фронта кристаллизации, достижение инеем ячеистой структуры, и падение плотности замедляется [2, 4, 7]. Дальнейшее инееобразование связано с формированием нижележащем слое и диффузией водяных паров к поверхности. Это приводит к некоторому возрастанию и в последствии - стабилизации плотности инея на определённом уровне. Изменение коэффициента теплопроводности инея в процессе инееобразования условно можно разделить на три периода. Первый период - увеличение коэффициента теплопроводности в результате появления шероховатости инея и турбулизации потока, вызванное резким ростом кристаллов инея на холодной поверхности. Второй период - снижение теплопроводности инея за счет дальнейшего роста, разветвления и уплотнения (образование наледи). Третий период характеризуется последующим снижением коэффициента теплопроводности инея до



минимальной величины (вызвано уплотнением инея и снижением интенсивности движения воздуха в пространстве между кристаллами), а затем — его возрастанием коэффициента за счет диффузии влаги внутрь слоя. Первоначально при температуре охлаждаемого воздуха ниже 0 °С (273 К) происходит интенсивный рост слоя инея, температура его поверхности повышается до значения, близкого к «точке росы», а затем рост слоя инея замедляется. Иней уплотняется вследствие диффузии влаги во внутренние слои, толщина слоя и температура его поверхности изменяются мало. В результате наблюдений отмечено: плотность инея тем больше, чем больше скорость, влажность и температура воздуха, но с понижением температуры холодной поверхности плотность инея уменьшается. Темпы изменения коэффициента теплопроводности инея во времени на ранних стадиях возрастают при увеличении скорости воздуха, плотности инея и повышении влажности. Увеличение массовой скорости воздуха приводит к сокращению времени, в течение которого коэффициент теплоотдачи достигает максимальной величины и снижается до первоначального значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотренный комплекс проблем теплообмена, который сопровождает работу воздушной теплонасосной системы, разумеется, отражается и на промышленных аспектах реализации перспективных энергетических устройствах, призванных увеличить энергосбережение, степень комфортности помещения и среды обитания человека [8, 9]. Необходимость разрабатываемых современных методов интенсификации теплообмена на основе анализа опытных данных, технико- и экологоэкономических обоснований и внедрения интенсификаторов теплообмена в существующем оборудовании позволит поднять эффективность работы испарительно-конденсационного блока и ВТНС в целом [1, 10]. Авторы настоящего исследования считают, что технически полезным решением является разработанная камера смешения, встроенная в систему воздушной теплонасосной системы с нагревателем [10]. Работа такой конструкции с увеличением аэродинамического сопротивления воздухонагревателя (одного из основных параметров при определении начального момента оттаивания аппарата) обеспечивает подачу равновесного напора воздушной смеси на теплообменник – испаритель и эффективно снижает время оттаивания наледи. Реакция автоматики ВТН на обмерзание поверхности испарителя заставляет электронику теплового насоса периодически работать в режиме «откл/вкл», что будет определенным образом влиять на теплопроизводительность воздушного теплового насоса [8].

ВЫВОДЫ

Изучение и анализ состояния наледи и разморозки в процессе теплообмена режима «кипение-испарение» в испарительно-конденсационном блоке ВТНС дает возможность учитывать быстродействие реагирования теплового интенсификатора на данный процесс и сократить цикл разморозки воздушного теплового насоса.



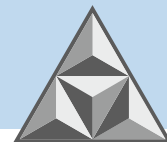
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Бабакин Б.С., Еркин М.А.** Интенсификация работы приборов охлаждения при инееобразовании: Обзорная информация. М.: АгроНИИТЭИММП, 1987. 28 с.
2. **Румянцев Ю.Д., Скоробогатов И.А.** Повышение эффективности работы охлаждающих устройств при инееобразовании: Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1985. 32 с.
3. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Опарина Л.А.** Анализ экологической безопасности хладагентов систем теплоснабжения воздушными тепловыми насосами на принципах термодинамической активности неравновесных процессов // *Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование. Сб. науч. трудов Междунар. науч.-техн. симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина»*. Т. 1. М.: ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. С. 221–223.
4. **Напалков Г.Н.** Теплоассоциация в условиях инееобразования. М.: Машиностроение, 1983. 189 с.
5. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Логинова С.В.** Тепловые процессы в испарительно-конденсационном контуре воздушного теплового насоса // *Приволжский научный журнал*. 2022. № 1(61). С. 104-110.
6. **Федосов С.В., Федосеев В.Н.** Теплообмен и десублимация в испарительной линии воздушного теплового насоса // *Приволжский научный журнал*. 2022. № 2(62). С. 94-104.
7. **Кремерс К.Д., Мера В.К.** Образование инея на вертикальных цилиндрах в условиях свободной конвекции // *Теплопередача*. 1982. № 2. С. 1-7.
8. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Опарина Л.А.** Проектирование и эксплуатация зданий при решении совместного энергоэффективного теплоснабжения и микроклимата // *Сб. материалов XX Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы строительства, стройиндустрии и архитектуры»*. Тула: Тульский государственный университет, 2019. С. 324-328.
9. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Емелин В.А.** Высокотехнологическая система воздушного теплового насоса «три в одном» для малоэтажных и коттеджных строений // *Приборы*. 2020. № 2 (236). С. 49-53.
10. **Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А., Емелин В.А.** Теплотери и теплоприток при совместной работе смесительной камеры и воздушно-теплового насоса в малоэтажных строениях // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 4 (370). С. 209-213.

Поступила в редакцию 07.06.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к опубликованию 22.06.2022



REFERENCES

1. **Babakin, B.S. & Erkin, M.A.** (1987) *Intensification of the operation of cooling devices during frost formation: Overview*. M.: AgroNIITEIMMP (in Russian).
2. **Rumyantsev, Yu.D. & Skorobogatov, I.A.** (1985) *Improving the efficiency of cooling devices during frost formation: Review information*. M.: TsNIITEImyasomolprom (in Russian).
3. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Oparina, L.A.** (2019) Analysis of the environmental safety of refrigerants in heat supply systems by air heat pumps based on the principles of thermodynamic activity of non-equilibrium processes. *Energoresursoeffektivnyye ekologicheski bezopasnyye tekhnologii i oborudovaniye. Sb. nauch. trudov Mezhdunar. nauch.-tekh. simpoziuma «Vtoryye mezhdunarodnyye Kosyiginskiye chteniya. priurochennyye k 100-letiyu RGU imeni A.N. Kosygina»*, M.: FGBOU VO RGU im. A.N. Kosygina. (1), pp. 221-223 (in Russian).
4. **Napalkov, G.N.** (1983) *Heat and mass transfer under conditions of frost formation*. M.: Mashinostroenie (in Russian).
5. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Loginova, S.V.** (2022) Thermal processes in the evaporation-condensation circuit of an air heat pump. *Privolzhsky scientific journal*, 1(61), pp.104-110 (in Russian).
6. **Fedosov, S.V. & Fedoseev, V.N.** (2022) Heat transfer and desublimation in the evaporative line of an air heat pump, *Privolzhsky Scientific Journal*, 2(62), pp.94-104 (in Russian).
7. **Kremers, K.D. & Mera, V.K.** Formation of frost on vertical cylinders under conditions of free convection, *Teploperedacha*, 1982, (2), pp. 1-7 (in Russian).
8. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Oparina, L.A.** (2020) Design and operation of buildings when solving joint energy-efficient heat supply and microclimate, *Sb. materialov XX Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. «Aktualnyye problemy stroitelstva. stroyindustrii i arkhitektury»*. Tula: Tulskiy gosudarstvennyy universitet, pp. 324-328 (in Russian).
9. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitseva, I.A. & Emelin, V.A.** (2020) High-tech three-in-one air source heat pump system for low-rise and cottage buildings, *Pribory*, 2(236), pp. 49-53 (in Russian).
10. **Aloyan, R.M., Fedoseev, V.N., Vinogradova, N.V., Voronov, V.A. & Emelin, V.A.** (2017) Heat loss and heat gain during the joint operation of the mixing chamber and the air-heat pump in low-rise buildings, *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*, 4(370), pp. 209-213 (in Russian).

Received 07.06.2022

Approved after reviewing 20.06.2022

Accepted 22.06.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 699.822

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_29

Исследование расхода инъекционных составов в ремонтпригодных системах гидроизоляции фундаментов

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

Владимир Николаевич Шалимов

АО «ТЕХНОНИКОЛЬ», Москва, Российская Федерация

shalimov@tn.ru

Алексей Васильевич Цыбенко

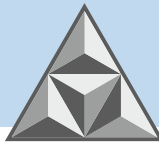
АО «ТЕХНОНИКОЛЬ», Москва, Российская Федерация

cybenko@tn.ru

Илья Николевич Гоглев

АО «ТЕХНОНИКОЛЬ», Москва, Российская Федерация

goglev@tn.ru



Рассмотрено применение полимерных гидроизоляционных мембран на основе ПВХ в ремонтпригодных системах гидроизоляции фундаментов. Рассмотрены основные свойства полимерных гидроизоляционных мембран, которые характеризуют возможность их использования в подобных системах. Приведены примеры объектов и условий строительных площадок, на которых рекомендуется использование ремонтпригодных систем (указанные системы применяют в наиболее сложных условиях строительства, а главная их особенность – возможность выполнения ремонта в период эксплуатации построенного объекта). Подробно рассмотрен процесс монтажа двухслойной системы гидроизоляции, а также используемое оборудование и комплектующие. Проведены эксперименты по определению расхода инъекционных составов для ремонта герметичных карт в условиях строительной лаборатории и их пригруза. В предварительно подготовленные герметичные карты размером 2x2 м в условиях пригруза закачивались ремонтные составы на основе акрилатов. Карта № 1 состояла из двух слоёв ПВХ-мембраны, одна из которых была с фактурной поверхностью. Карта № 2 состояла из двух слоёв ПВХ-мембраны с сигнальным слоем, между которыми был уложен разделительный слой из иглопробивного геотекстиля. В дальнейшем замерялись параметры расходов инъекционных составов. Оптимальным является применение двухслойных систем гидроизоляции фундаментов, с мембранами. Благодаря использованию (в качестве верхнего слоя) мембраны с фактурной поверхностью распределение ремонтного инъекционного состава в условиях нагрузки на карту является наиболее равномерным. Показаны преимущества двухслойных систем гидроизоляции по сравнению с однослойными.

Ключевые слова: бетон, железобетон, коррозия, карбонизация, ПВХ, полимерные мембраны, гидроизоляция, ремонтпригодность

Для цитирования:

Шалимов В.Н., Цыбенко А.В., Гоглев И.Н. Исследование расхода инъекционных составов в ремонтпригодных системах гидроизоляции фундаментов // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 29-44 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_29



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_29

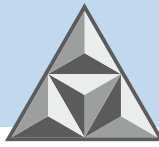
Investigation of the Consumption of Injection Formulations in Maintainable Waterproofing Systems of Foundations

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

Vladimir N. Shalimov
JSC «TECHNONICOL», Moscow, Russia
shalimov@tn.ru

Aleksey V. Cybenko
JSC «TECHNONICOL», Moscow, Russia
cybenko@tn.ru

Il'ya N. Goglev
JSC «TECHNONICOL», Moscow, Russia
goglev@tn.ru



The article discusses the use of PVC-based polymer waterproofing membranes in maintainable waterproofing systems of foundations. The main properties of polymer waterproofing membranes, which characterize the possibility of their use in such systems, are considered. Examples of objects and conditions of construction sites where the use of maintainable systems is recommended are given (these systems are used in the most difficult construction conditions, and their main feature is the ability to perform repairs during the operation of the constructed object). The process of installation of a two-layer waterproofing system, as well as the equipment and components used, is considered. Experiments were carried out to determine the consumption of injection formulations for the repair of sealed cards in a construction laboratory and their loading. Repair compositions based on acrylates ended up in pre-prepared sealed cards with a size of 2x2 m in the conditions of loading. In the future, the parameters of the consumption of injection formulations were measured. Card no. 1 consisted of two layers of PVC membrane, one of which had a textured surface. Card no. 2 consisted of two layers of PVC membrane with a signal layer, between which a separating layer of needle-punched geotextile was laid. Optimal is the use of two-layer waterproofing systems of foundations, with membranes. Due to the use (as the top layer) of a membrane with a textured surface, the distribution of the repair injection composition under load conditions on the card is the most uniform. The advantages of two-layer waterproofing systems in comparison with single-layer ones are shown.

Key words: concrete, reinforced concrete, corrosion, carbonation, PVC, polymer membranes, waterproofing, maintainability

For citation:

Shalimov, V.N., Cybenko. A.V. & Goglev, I.N. (2022) Investigation of the consumption of injection formulations in maintainable waterproofing systems of foundations, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 29-44 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_29



ВВЕДЕНИЕ

При строительстве зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (например, класс сооружения КС-3, согласно ГОСТ 27751-2014) [1, 2] в сложных условиях строительной площадки (например, в зонах пойм рек) требуется наилучшая защита бетонных и железобетонных конструкций от действия подземных вод. Если защита будет недостаточной, возможны проникновение влаги и протекание процесса коррозии бетона и арматуры в железобетонных конструкциях (рис. 1) [3, 4].



Рис. 1. Коррозия железобетонной конструкции фундамента (подушки сборного ленточного фундамента). Стрелками на фотографии показано нарушение защитного слоя бетона, с последующим оголением и коррозией арматуры

Fig. 1. Corrosion of the reinforced concrete construction of the foundation (the prefabricated strip foundation pad). The arrows in the photo show a violation of the protective layer of concrete, followed by denudation and corrosion of the reinforcement

Опасность процесса коррозии состоит в нарушении защитного слоя бетона и коррозии стальной арматуры, что снижает несущую способность и долговечность сжатых железобетонных элементов [3-5].

Коррозия в данном случае представлена различными химическими процессами (например, карбонизацией и воздействием хлоридов, которые действуют часто совместно). Ремонт и восстановление конструкций фундамента в запущенных случаях протекания таких процессов – дорогостоящее мероприятие [5-7], поэтому надежная защита должна обеспечиваться сразу, на этапе заложения материалов.

Толщина защитного слоя бетона для конструкций фундаментов может быть различной и регламентируется нормативными документами, в частности СП 63.13330.2018, п. 10, п.п. 10.3, табл. 10.1 [8-10].

Использование полимерных мембран для гидроизоляции конструкций на данный момент не является новым событием, поскольку они успешно применяются в качестве гидроизоляционного покрытия кровель [11] и фундаментов. По своим характеристикам полимерные гидроизоляционные мембраны, как и другие виды гидроизоляции, обеспечивают вторичную защиту бетона (согласно п. 3.6 ГОСТ 31384-2017 и п. 4.4 СП 229.1325800.2014). Будучи отнесены к подвиду оклеечных/облицовочных покрытий (п. 9.3, ГОСТ 31384-2017) или пластмассовой гидроизоляции (п. 4.4 СП 229.1325800.2014), они должны обладать высокой устойчивостью к агрессивным средам (п. 9.14, ГОСТ 31384-2017) [12, 13].

Наиболее классическими и распространенными являются полимерные мембраны



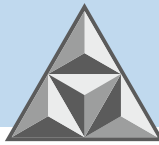
на основе пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ). Это связано с известностью и большим объёмом производства данного полимера, а также обусловлено его уникальными химическими и физико-механическими свойствами [11, 14-16].

Рассмотрим данные свойства на примере полимерной мембраны в таблице 1.

Таблица 1. Часть физико-механических характеристик одной из марок ПВХ-мембран толщиной 2 мм, с сигнальным слоем

Table 1. Some physical and mechanical characteristics of one of the brands of PVC membranes with a thickness of 2 mm, with a signal layer

Наименование показателя	Ед. изм.	Критерий	Значение при толщине 2,0 мм	Метод испытаний
Масса на единицу площади	кг/м ²	-	2,7	ГОСТ EN 1849-2-2011
Условная прочность при растяжении, метод В	МПа	не менее	16	ГОСТ 31899-2-2011 (EN 12311-2:2000)
вдоль рулона				
поперек рулона				
Удлинение при максимальной нагрузке	%	не менее	320	
Сопротивление разрыву стержнем гвоздя	Н	не менее	150	ГОСТ 31898-1-2011 (EN 12310-1:1999)
Гибкость при пониженной температуре	°С	не более	-35	ГОСТ EN 495-5-2012
Гибкость на брусе радиусом 5 мм	°С	не более	-45	ГОСТ 2678-94
Сопротивление динамическому продавливанию при отрицательных температурах	°С	не более	-30	СТО 72746455-3.4.3-2015
Прочность сварного шва на разрыв	Н/50 мм	не менее	600	ГОСТ Р 56911-2016 (EN 12317-2:2010)
Сопротивление динамическому продавливанию (ударная стойкость)	мм	не менее	1400	ГОСТ 31897-2011 (EN 12691:2006)
по твердому основанию				
по мягкому основанию				
Водопоглощение по массе	%	не более	0,1	ГОСТ 2678-94
Коэффициент трения бетона на поверхности мембраны	-	-	0,6	ГОСТ 11629-2017
Водонепроницаемость при долговременном сжатии 40 МПа в течение 96 часов	-	-	1 МПа в течение 24 ч	ГОСТ EN 1928-2011, метод В
Хим. стойкость после выдержки в агрессивных средах:	%	Изменение свойств, не более	10	ГОСТ Р 56910-2016 /EN 1847:2009
раствор соли хлорида натрия NaCl				
раствор щелочи Ca(OH) ₂				
раствор сернистой кислоты H ₂ SO ₃				
раствор серной кислоты H ₂ SO ₄				
Коэффициент диффузии радона	м ² /с	не более	5,5·10 ⁻¹¹	Методика НИИСФ РААСН
Проницаемость метана	м ³ (н.у)/ (м ² ·ч·атм)	не более	1,1·10 ⁻⁶	Методика НИИСФ РААСН



Одним из наиболее полезных свойств ПВХ-мембран является их высокая прочность на астяжение (рис. 2, табл. 1) при удлинении до 350%, а также химическая стойкость (см. табл. 1). Благодаря высокому показателю прочности на растяжение ПВХ-мембраны способны под нагрузкой принимать форму основания без нарушения водонепроницаемости рис. 3). Помимо перечисленных достоинств, ПВХ-мембраны обеспечивают защиту железобетонных конструкций и внутреннего объема фундамента от радона и метана, что подтверждается проведенными исследованиями.

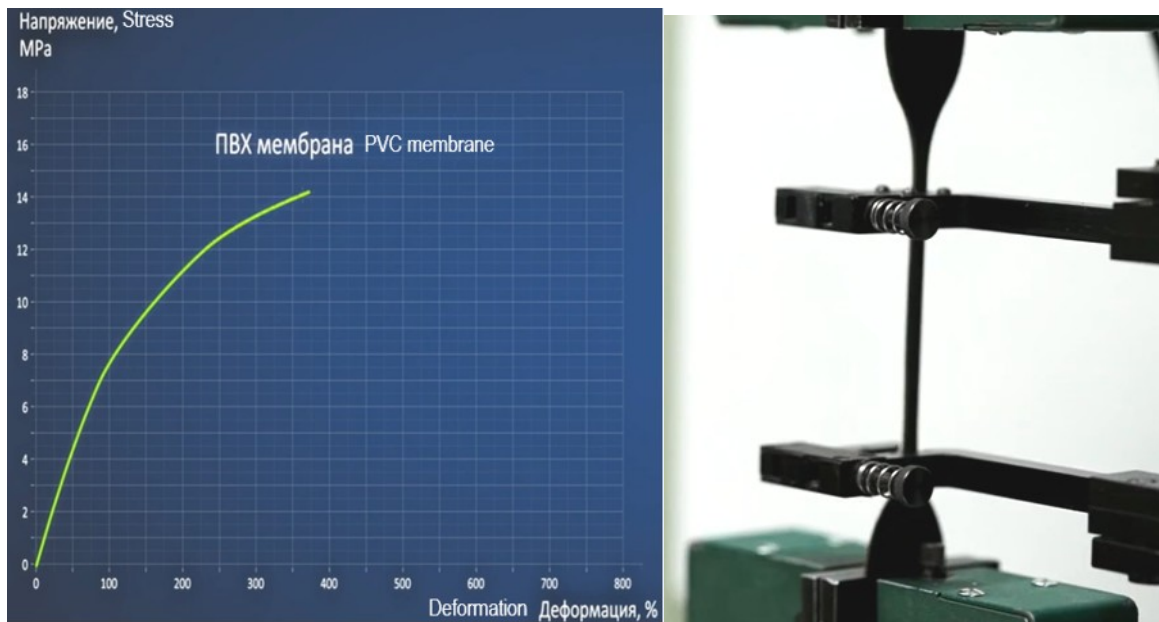


Рис. 2. Пример испытания образца неармированной ПВХ-мембраны на разрывной машине
Fig. 2. Illustration of testing a sample of non-reinforced PVC membrane on a breaking machine

Подобные физико-механические характеристики определили область применения неармированных ПВХ-мембран в системах гидроизоляции фундаментов [14, 15]. Так, например, сочетание высокой пластичности и прочности сварных швов позволяет повысить ремонтно-пригодность гидроизоляционных устройств.

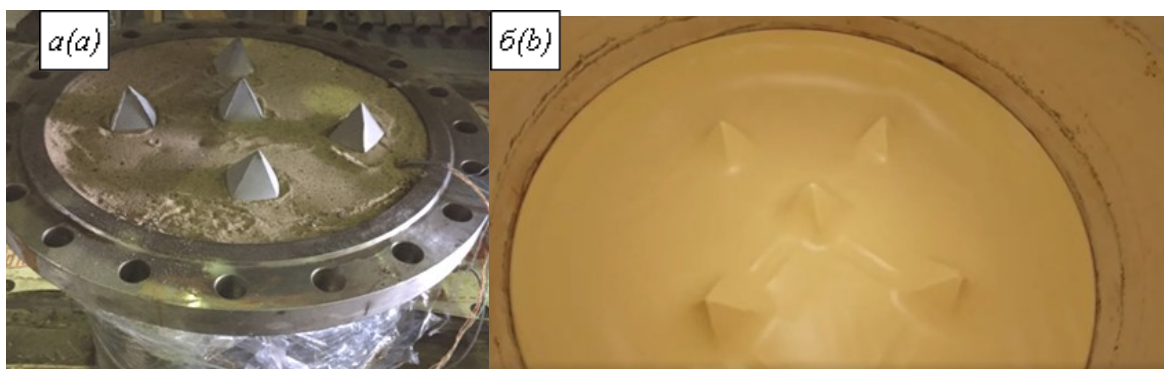
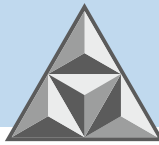


Рис. 3. *a* – испытание работы ПВХ-мембраны в условиях имитации неровного основания в герметичной камере (давление воды составляет 2 МПа при длительности 24 часа);
б – образец мембраны принимает форму основания

Fig. 3. *a* – testing the operation of a PVC membrane under conditions of imitation of an uneven base in a hermetic chamber (water pressure is 2 MPa during 24 hours); *b* – the membrane sample takes the form of a base



Гидроизоляционные мембраны на основе пластифицированного ПВХ используют при строительстве уникальных объектов или объектов повышенного уровня ответственности – высотных жилых комплексов в зоне поймы реки (рис. 4, а), транспортных тоннелей (рис. 4, б) [14-18] или атомных электростанций. При этом строительные площадки могут иметь песчаные/глинистые грунты и характеризоваться различным уровнем подземных вод.

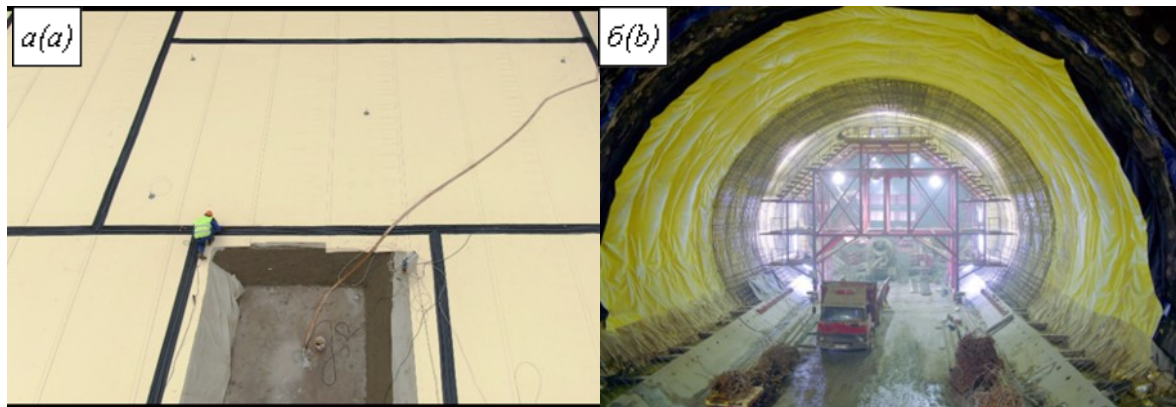


Рис. 4. а – устройство однослойной ремонтпригодной системы гидроизоляции фундамента с ПВХ-мембраной и гидрошпонками; б – применение ПВХ-мембраны для гидроизоляции строящегося тоннеля метро

Fig. 4. a – laying a single-layer maintainable waterproofing system of the foundation with a PVC membrane and waterstops; b – the use of a PVC membrane for waterproofing a subway tunnel under construction

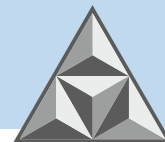
Порядок монтажа двухслойной ремонтпригодной системы с ПВХ-мембранами:

- устройство бетонной подготовки;
- подготовка поверхности (обязательно отсутствие острых кромок и участков каверн/раковин в поверхности бетона);
- свободная укладка геотекстиля плотностью 300–500 г/м² на поверхность бетонной подготовки;
- укладка первого слоя ПВХ-мембраны (с гладкой поверхностью);
- сварка первого слоя мембраны (нахлест для автоматического оборудования составляет обычно 10–12 см); проверка герметичности швов визуально и инструментально;
- укладка и сварка второго слоя мембраны (с фактурной поверхностью); проверка герметичности швов;
- сварка первого и второго слоёв мембраны между собой, с образованием герметичных карт площадью не более 150 м²;
- аккуратный монтаж угловых штуцеров из ПВХ (количество штуцеров – 5 шт. на 1 карту 150 м²); монтаж элементов инъекционной системы (трубок, фитингов);
- проверка системы методом вакуумного контроля (откачка воздуха из карт);
- укладка геотекстиля на гидроизоляцию; монтаж защитной стяжки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Ремонтпригодная система гидроизоляции – это система, выполнить ремонт которой (восстановление целостности гидроизоляционного материала) возможно на этапе эксплуатации построенного здания или сооружения (рис. 9, б) [14, 17, 18].

Сварка полимерных мембран осуществляется автоматическими (рис. 5, а), полуавтома-



тическими (рис. 5, б) и ручными фенами (горячим воздухом). Автоматическое оборудование, оснащенное прижимными роликами и автоматическим приводом (см. рис. 5, а), позволяет контролировать температурный режим сварки в зависимости от погодных условий [14, 17, 18].

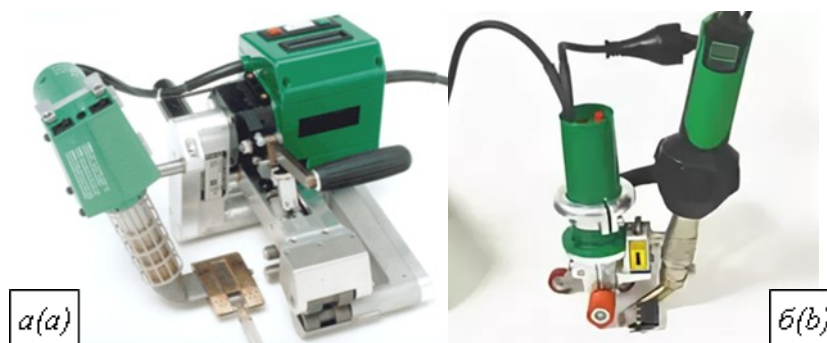


Рис. 5. а – одна из моделей сварочного автомата горячего воздуха;
б – пример полуавтоматического сварочного аппарата

Fig. 5. a – one of the models of a hot air welding machine; b – an example of a semi-automatic welding machine

Применение автоматического оборудования позволяет снизить влияние «человеческого фактора» при сварке мембран.

Перед проведением экспериментов необходимо дать понятие об основных комплектующих для устройства систем гидроизоляции из ПВХ-мембран. Важно отметить, что свариваемые материалы должны быть выполнены из одного полимера (ПВХ + ПВХ). Изготовить мембраны из полиэтилена и ПВХ, вследствие различного состава и температуры плавления материалов, не удастся.

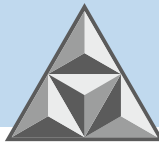
Основные комплектующие представлены на рис. 6.



Рис. 6 Комплектующие, применяемые для устройства ремонтпригодных систем гидроизоляции фундамента

Fig. 6. Components used for the installation of maintainable waterproofing systems of the foundation

Для проведения испытаний использовались следующие материалы и оборудование: полимерные мембраны толщиной 1,5 и 2,0 мм с сигнальным слоем (рис. 7, а); полимерная мембрана толщиной 1,6 мм с фактурной поверхностью (рис. 7, б, в); геотекстиль с иглопро-



бивной плотностью 150–500 г/м²; угловые инъекционные штуцера из ПВХ; соединительные фитинги; акрилатные инъекционные гели; автоматический сварочный аппарат Leister Varimat V2 (40 мм; 400 В); ручной сварочный аппарат Leister Triac ST; пневматический поршневой инъекционный насос БМ 1425 в комплекте с компрессором.

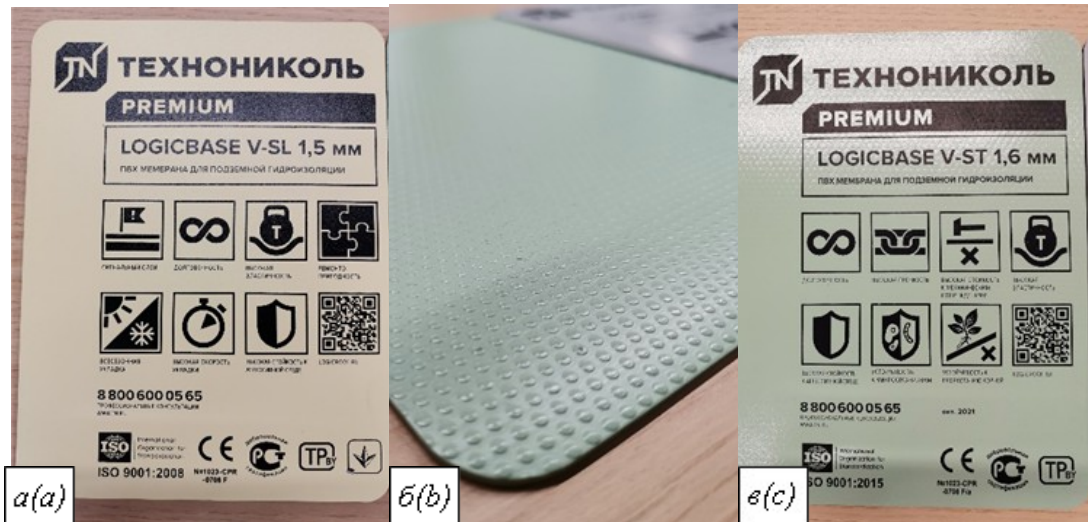


Рис. 7. а – ПВХ-мембрана с сигнальным слоем (первый слой); б – ПВХ-мембрана с фактурной поверхностью (второй слой); в – фактурная поверхность мембраны

Fig. 7. a – PVC membrane with a signal layer (first layer); b – PVC membrane with a textured surface (second layer); c – textured membrane surface

Для испытания были выполнены два типа «карт» из гидроизоляционных мембран LOGICBASE размером 2000x2000 мм (рис. 8).

Карта 1 (рис. 8, а). получена путем сварки по периметру двух слоев гидроизоляционного материала LOGICBASE V-SL «гладкая» мембрана (первый слой) и LOGICBASE V-ST с фактурной поверхностью (второй слой). Угловые штуцера приваривались к поверхности второго гидроизоляционного слоя



Рис. 8. а – подготовка к испытанию карты № 1; б – подготовка к испытанию карты № 2

Fig. 8. a – preparation for the test of card no. 1; b – preparation for the test of card no. 2

Карта 2 (рис. 8, б) получена путем сварки по периметру двух слоев гидроизоляционного материала LOGICBASE V-SL «гладкая мембрана» (первый слой) и LOGICBASE V-SL «гладкая мембрана» (второй слой). Между первым и вторым слоями размещали прослойку геотекстильного материала с последующей установкой на поверхность второго слоя инъекционных штуцеров (см. рис. 8, б).



Штуцера установлены в количестве 2 шт. на карту 1 в диагонально противоположных углах. После изготовления карт они были размещены на поверхности бетонного пола производственной площадки и прогружены паллетами с готовой продукцией в количестве 4 паллеты на одну карту. Вес каждой паллеты составляет 1 т. В качестве распределяющего нагрузку слоя на испытательных картах перед установкой паллет было устроено покрытие из древесно-листового материала (OSB) (рис. 9, а). После «пригрузки» карт в образованные полости между слоями гидроизоляционных мембран подавали инъекционные ремонтные составы на основе акрилатных гелей (рис. 9, б).

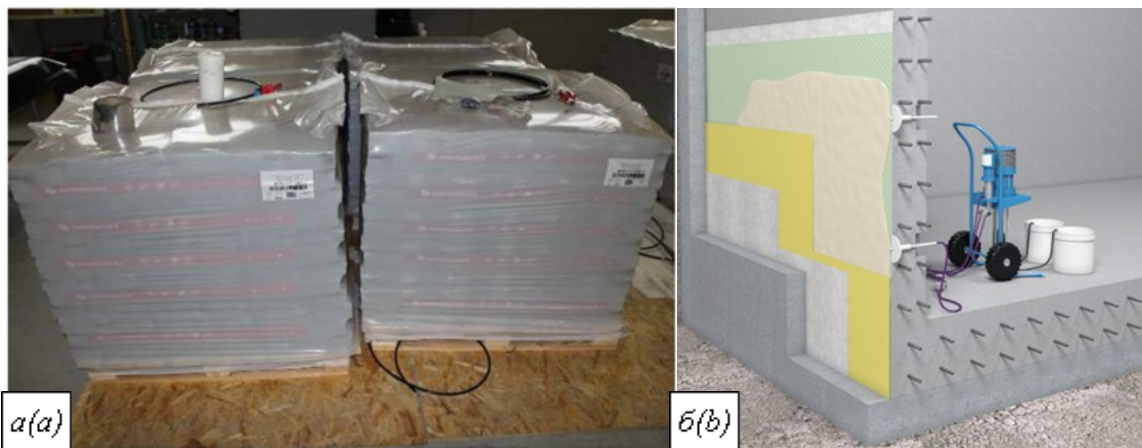


Рис. 9. а – «пригрузка» карт № 1 и № 2 паллетами с грузом; б – схематичное изображение подачи инъекционного состава между слоями мембран

Fig. 9. а – "surcharging" of cards no. 1 and no. 2 with pallets with cargo; б – schematic representation of the injection composition between the membrane layers

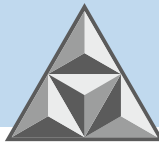
Согласно поставленной задаче, сравнивали количество подаваемого ремонтного состава. Общий объём акрилатного геля разделили поровну на две карты. Подачу геля в каждую из карт прекращали при заполнении объёма на 50%. После подачи геля систему выдерживали в течение 40-50 мин для осуществления полимеризации, после чего нагрузку снимали и производили вскрытие смонтированных герметичных карт (см. рис. 10, а, б).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных испытаний получены данные фактического расхода инъекционных составов, поданных для каждой карты.

Из таблицы 2 можно видеть, что время подачи и расход геля в карту № 2, образованную двумя слоями «гладкой» мембраны и геотекстильным материалом, увеличены более чем в 1,5 раза. Увеличение расхода может быть объяснено толщиной геотекстиля 150 г/м^2 1,7-2,0 мм, который увеличивает объём в полости между мембранами до $0,008 \text{ м}^3$ (или на 8 литров), в то время как мембрана с фактурной поверхностью создает объём $0,0024 \text{ м}^3$ (или 2,4 л). Разница между объёмами отличается более чем в 3,5 раза. Помимо этого, геотекстиль обладает не сплошной структурой (материал содержит поры и обладает проницаемостью), поэтому под давлением геля начинает им «напитываться», значительно затрудняя дальнейшее прохождение геля и его расход в местах неплотного прижима (рис. 10, б, 11, б).

Геотекстиль в силу «гладко-пористой» поверхности под нагрузкой плотно прижимается к мембране, что затрудняет прохождение геля. Это приводит к увеличению времени прохождения геля через карту № 2. В отличие от геотекстиля, «текстурированная» мембрана,



поверхность которой выполнена в виде выступов высотой 0,5-0,6 мм, не позволяет слоям плотно прижиматься и слипаться под нагрузкой. Благодаря выступам между мембранами создаются сплошные «каналы» для равномерного распространения акрилатного состава (см. рис. 10, а).

Таблица 2. Параметры подачи инъекционных составов

Table 2. Parameters of injection formulations supply

Параметр	Карта № 1	Карта № 2
	LOGICBASE V-SL + LOGICBASE V-ST	LOGICBASE V-SL + геотекстиль + LOGICBASE V-SL
Давление подачи жидкости (макс.), бар	25–60	25–60
Время подачи от штуцера к штуцеру* (макс.), мин	16	25
Количество поданного раствора** (макс.), л	15	25
Время реакции состава, с	120	
Температура в помещении, °С	23	

Примечания:

*Время подачи обусловлено производительностью воздушного компрессора, плотностью прижима мембраны и штуцеров.

**Количество поданного состава обусловлено плотностью прижима мембраны и штуцеров. Т.к прижим мембраны обеспечен неравномерно (по причине того, что распределяющий нагрузку слой выполнен из листов OSB с отверстиями), а применяемые для «пригруза» паллеты не имеют сплошного основания, расход геля значительно увеличен из-за «поднимания» мембраны и «надувания» штуцеров. На реальных строительных объектах, в условиях плотного прижима мембраны бетоном, наблюдается значительно меньший расход, что объясняется равномерным прижимом мембраны.

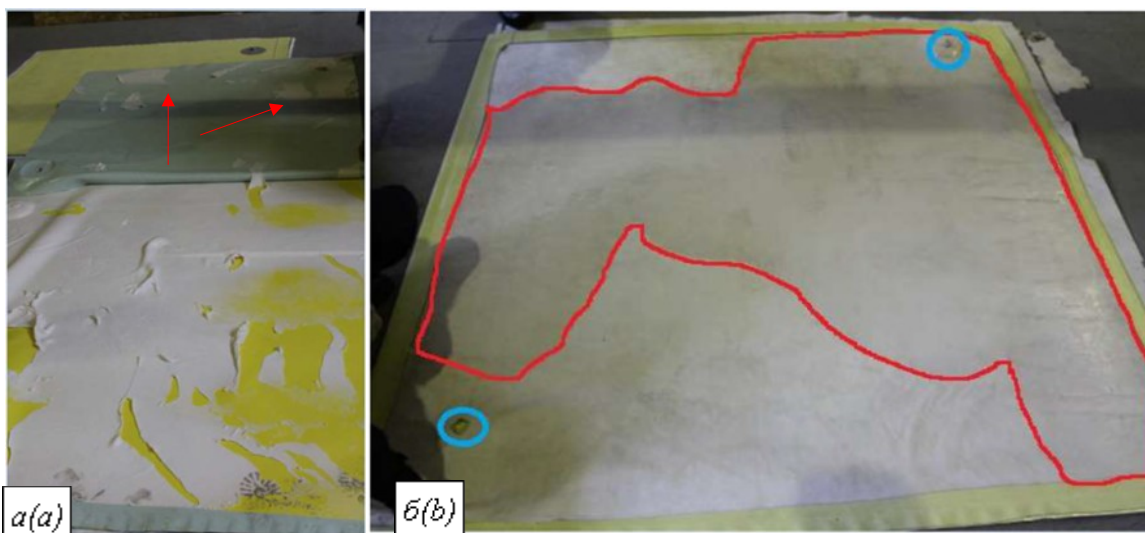


Рис. 10. а – распределение инъекционного состава в карте № 1. Карта заполнена примерно на 80–85% (стрелками показаны участки адгезии к верхнему слою в системе);

б – распределение инъекционного состава в карте № 2 (красным указана фактическая зона распределения состава по слою геотекстиля ~ 60–65%)

Fig. 10. a – distribution of the injection composition in the card no. 1. The card is filled by ~80–85% (the arrows show the areas of adhesion to the upper layer in the system); b – distribution of the injection composition in the card no. 2 (red line indicates the actual zone of the composition distribution on the geotextile layer ~ 60–65%)

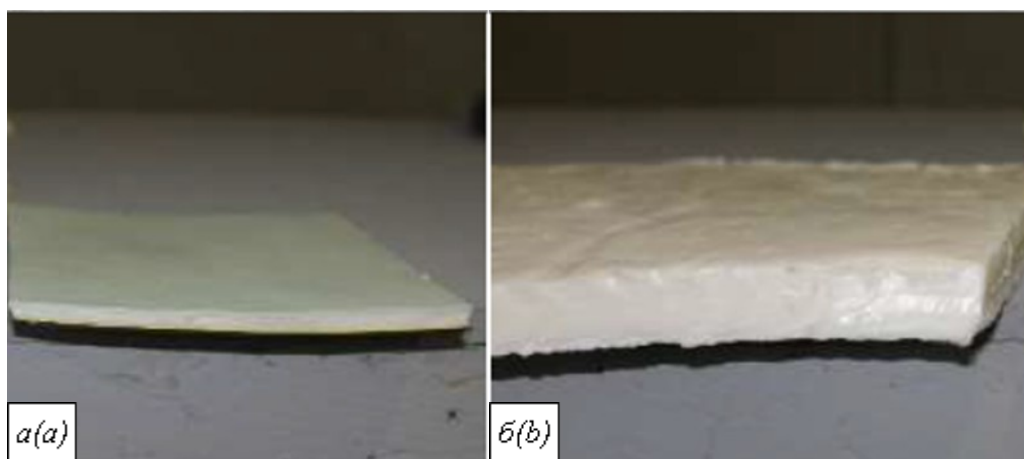


Рис. 11. *a* – наибольшая толщина инъекционного состава в карте № 1 составляет 2-2,5 мм; *б* – наибольшая толщина инъекционного состава в карте № 2 составляет 25 мм (акрилатный гель вырезан в месте наибольшего утолщения)

Fig. 11. *a* – the greatest thickness of the injection composition in the card no. 1 is 2-2.5 mm; *b* – the greatest thickness of the injection composition in the card no. 2 is 25 mm (the acrylate gel is cut out at the place of the greatest thickening)

ВЫВОДЫ

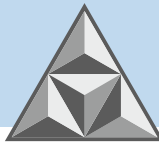
Наличие прослойки из геотекстильного материала в карте № 2 препятствует равномерному заполнению внутреннего объема полости между ПВХ-мембранами, а также способствует «нарастанию толщины» инъектируемого состава. Применение карты № 1 с мембранами LOGICBASE V-SL + LOGICBASEV-ST более эффективно, поскольку фактурная поверхность одного из материалов не позволяет им «слипаться» под нагрузкой.

Система с этими мембранами обладает следующими преимуществами:

- снижается расход инъекционного состава за счет равномерного его распределения на поверхности мембран;
- сокращается время подачи инъекционного состава;
- достигается лучшее заполнение карты акрилатным гелем.

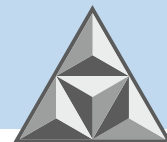
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Кловский А.В., Мареева О.В.** Особенности проектирования объектов повышенного уровня ответственности при пограничных значениях сейсмичности площадки строительства // *Природообустройство*. 2018. № 3. С. 63-69.
2. **Кирилов А.Н., Пастушак С.М.** Инженерно-геологические условия строительства фундаментов в пойме рек Везёлка и Северский Донец в г. Белгороде // *Успехи современного естествознания*. 2011. № 11. С. 97-98.
3. **Goglev I.N.** A new promising method for detecting carbonization of reinforced concrete building structures during inspections // *Smart Composite in Construction*. 2021. Т. 2, № 4. С. 35-45.
4. **Румянцева В.Е., Гоглев И.Н., Логинова С.А.** Применение полевых и лабораторных методов определения карбонизации, хлоридной и сульфатной коррозии при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // *Строительство*



и техногенная безопасность. 2019. № 15(67). С. 51-58.

5. **Румянцева В.Е., Гogleв И.Н.** Особенности процесса коррозии бетона и железобетона, осложнённого воздействием хлоридов и углекислого газа // *Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора Соломатова Василия Ильича*. Саранск: Изд-во Нац. исслед. Мордов. гос. ун-та им. Н.П. Огарёва, 2016. С. 106-111.
6. **Розенталь Н.К.** Коррозия и ремонт железобетонных конструкций // *СтройПРОФИль*. 2009. № 2. С. 22-28.
7. **Алексеев С.Н., Розенталь Н.К.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976.
8. **Васильев А.А.** Оценка применимости бетонов в железобетонных элементах и конструкциях для различных эксплуатационных условий // *Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт*. 2017. № 2(35). С. 133-135.
9. **Иоскевич В.В.** Сравнение методов расчета сталежелезобетонных плит по СП 266.1325800.2016 и СП 63.13330.2012 // *Приоритетные направления развития науки и образования: монография / под общ. ред. Г.Ю. Гуляева*. Пенза, 2017. С. 197-204.
10. **Крылов С.Б., Шарипов Р.Ш., Зенин С.А., Волков Ю.С.** Направления сближения требований основного отечественного стандарта по проектированию бетонных и железобетонных конструкций СП 63.13330.2012 с требованиями международного стандарта ИСО 19338 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 1. С. 93-98.
11. **Лужнов Е.А.** Сравнительный анализ полимерных кровельных материалов // *Перспективы развития науки и образования: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции*. Нефтекамск, 2021. С. 115-125.
12. **Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л.** Эффективные способы вторичной защиты для повышения долговечности зданий и сооружений // *Вестник НИЦ Строительство*. 2017. № 1(12). С. 126-133.
13. **Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л.** Защитные лакокрасочные покрытия для бетонных и железобетонных конструкций // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2018. № 6. С. 30-34.
14. **Чубинишвили А.Т.** Применение специализированных гидроизоляционных мембран в подземном строительстве // *Метро и тоннели*. 2015. № 6. С. 31-33.
15. **Седова А.А.** Особенности применения систем гидроизоляции фундаментов, включающих мембраны // *Серия "Строительство": сборник статей магистрантов и аспирантов*. СПб.: СПбГАСУ. 2020. Т. 2, вып. 3. С. 385-398.
16. Новости строительного комплекса // *Кровельные и изоляционные материалы*. 2018. № 6. С. 5-8.
17. **Цыбенко А.В.** Исследование водонепроницаемости герметичных секций гидроизоляции из полимерных мембран и гидрошпонок // *Фундаменты*. 2021. № 1(3). С. 72-75.
18. **Чубинишвили А.Т., Цыбенко А.В., Ильин Д.А.** Исследование устойчивости гидроизоляционных мембран к воздействию гидростатического давления



на неровной поверхности основания // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2018. № 1(50). С. 68-74.

Поступила в редакцию 09.06.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к опубликованию 22.06.2022

REFERENCES

1. **Klovsky, A.V. & Mareeva, O.V.** (2018) Features of objects designing of the increased level of responsibility under boundary values of seismicity of the construction site, *Prirodoobustrojstvo*, (3), pp. 63-69. DOI: 10.34677/1997-6011 (in Russian).
2. **Kirillov, A.N. & Pastukhok, S.M.** (2011) Engineering and geological conditions for the construction of foundations in the floodplain of the Veselka and Seversky Donets rivers in Belgorod, *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya*, (11), pp. 97-98 (in Russian).
3. **Goglev, I.N.** (2021) A new promising method for detecting carbonization of reinforced concrete building structures during inspections, *Smart Composite in Construction*, 2(4), pp. 35-45. DOI: 10.52957/27821919_2021_4_35 [online]. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1PPYDXwPdCXwJOMe5vA1h8iPcFBebZPwz/view>
4. **Rumyantseva, V.E., Goglev, I.N. & Loginova, S.A.** (2019) Application of field and laboratory methods for the determination of carbonation, chloride and sulfate corrosion in the examination of building structures of buildings and structures, *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, (15), pp. 51-58 (in Russian).
5. **Rumyantseva, V.E. & Goglev, I.N.** (2016) Features of the corrosion process of concrete and reinforced concrete, complicated by the effects of chlorides and carbon dioxide, *Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstrukcij. Materialy` Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati zaslužhennogo deyatelya nauki Rossijskoj Federacii, akademika RAASN, doktora tekhnicheskix nauk, professora Solomatova Vasiliya Il'icha*. Saransk: Izd-vo Nacional'nyj issled. Mordov. gos. un-ta im. N.P. Ogaryova, pp. 106-111 (in Russian).
6. **Rosenthal, N.K.** (2009) Corrosion and repair of reinforced concrete structures, *StrojPROFIL'*, 2(72), pp. 22-28 (in Russian).
7. **Alekseev, S.N.** (1976) *Corrosion resistance of reinforced concrete structures in an aggressive industrial environment*. M.: Stroyizdat (in Russian).
8. **Vasilyev, A.A.** (2017) Estimation of applicability of concretes in reinforce-concrete elements and constructions for different operating terms, *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport*, 2(35), pp. 133-135 (in Russian).
9. **Ioskevich, V.V.** (2017) Comparison of methods for calculating steel-concrete slabs using SET OF RULES 266.1325800.2016 and SET OF RULES 63.13330.2012. In: G.Yu. Gulyaev (Ed.), *Science and Education*, pp. 197-204 (in Russian).
10. **Krylov, S.B., Sharipov, R.S., Zenin, S.A. & Volkov, Yu.S.** (2019) Directions of convergence of the requirements of the main domestic standard for the design of concrete and reinforced concrete structures SP 63.13330.2012 with the requirements of the International Standard ISO 19338, *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*, (1), pp. 93-98. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-93-98 (in Russian).
11. **Luzhnov, E.A.** (2021) Comparative analysis of polymer roofing materials, *Perspektivy` razvitiya nauki i obrazovaniya: materialy` Mezhdunarodnoj (zaочноj) nauchno-prakticheskoy konferencii*. Neftekamsk, pp. 115-125 (in Russian).

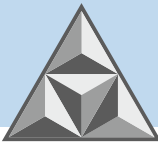


12. **Stepanova, V.F., Sokolova, S.E. & Polushkin, A.L.** (2017) Effective means of secondary protection to improve the durability of buildings and structures, *Vestnik NIC Stroitel'stvo*, 1(12), pp. 126-133. DOI: 10.37538 (in Russian).
13. **Stepanova, V.F., Sokolova, S.E. & Polushkin, A.L.** (2018) Protective paint and varnish coatings for concrete and reinforced concrete structures, *Lakokrasochny'e materialy i ikh primeneniye*, (6), pp. 30-34 (in Russian).
14. **Chubinishvili, A.T.** (2015) Application of special polymeric waterproofing membrane for underground works, *Metro i tonneli*, (6), pp. 31-33 (in Russian).
15. **Sedova, A.A.** (2020) Features of application of waterproofing systems of foundations, including membranes, *Seriya "Stroitel'stvo": sbornik statej magistrantov i aspirantov*. SPb.: SPbGASU, 2(3), pp. 385-398 (in Russian).
16. News of the construction complex (2018), *Krovel'ny'e i izolyacionny'e materialy*, (6), pp. 5-8 (in Russian).
17. **Tsybenko, A.V.** (2021) Investigation of the waterproofness of sealed sections of waterproofing made of polymer membranes and hydraulic pads, *Fundamenty*, 1(3), pp. 72-75 (in Russian).
18. **Chubinishvili, A.T., Tsybenko, A.V. & Ilyin, D.A.** (2018) The studies of resistance of waterproofing membranes to the impact of hydrostatic pressure on rough surface, *ALITinform: Cement. Beton. Sukhi'e smesi*, 1(50), pp. 68-74 (in Russian).

Received 09.06.2022

Approved after reviewing 20.06.2022

Accepted 22.06.2022



RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45

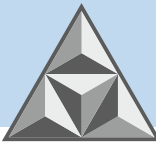
Study of Biostability of Concretes

S.A. Loginova

Svetlana A. Loginova

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

sl79066171227@yandex.ru



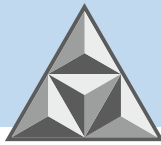
The problem of corrosion destruction of building structures, despite the existing scientific and engineering achievements in this area, does not lose its relevance. The purpose of the study is to determine the degree of impact of various types of microorganisms on the physical and mechanical properties of concrete. We carry out the assessment of the possibility of concrete to serve as a substrate for various types of biodestructors by determining the moisture absorption and pH of the extract of the concrete samples. As a result, we experimentally determine the mechanism of action of various microorganisms on concrete. Also we define the taxonomic composition of the most aggressive microorganisms for concrete. During the study we assess the effect of biofouling on the physical and mechanical properties of concrete. The results of the study serve as a basis for the selection of the most effective corrosion protection methods for concrete structures operated in biologically aggressive environments.

Key words: concrete, destruction, microorganisms, water absorption, corrosion

For citation:

Loginova, S.A. (2022) Study of Biostability of Concretes, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 45-53 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 620.1.691

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45

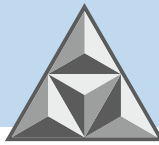
Исследование биостойкости бетонов

С.А. Логинова

Светлана Андреевна Логинова

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

sl79066171227@yandex.ru



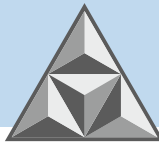
Проблема коррозионной деструкции строительных конструкций, несмотря на существующие научные и инженерные достижения в этой области, не теряет своей актуальности. Целью исследования являлось определение степени воздействия различных видов микроорганизмов на физико-механические свойства бетона. Оценка возможности бетона служить субстратом для различных видов биодеструкторов проводилась с помощью определения влагопоглощения и pH вытяжки из проб образцов бетона. В результате был экспериментально установлен механизм воздействия различных микроорганизмов на бетон. Определен таксономический состав наиболее агрессивных к бетону микроорганизмов. Проведена оценка влияния биообрастания на физико-механические свойства бетона. Результаты исследования служат основой для подбора наиболее эффективных методов антикоррозионной защиты бетонных конструкций, эксплуатирующихся в биологически агрессивных средах.

Ключевые слова: бетон, деструкция, микроорганизмы, водопоглощение, коррозия

Для цитирования:

Логинова С.А. Исследование биостойкости бетонов // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 45-53 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_45



INTRODUCTION

Concretes are prone to deterioration and premature ageing in corrosive environments. In the most cases of corrosion detection in concrete structures the several types of corrosion damage are observed together at the same time during the survey phase. According to classification by V.M. Moskvina, corrosion of the first and second type, or biological and chemical corrosion (Fig. 1, 2) are combined [1, 2]. These types of corrosion damage are characterised by the complexity and high cost of repair measures because they require the use of spot repair technology, especially in vertical compressed and horizontal bent structures [1-3].



Fig. 1. Corrosion destruction of the reinforced concrete wall

Biological corrosion is still the one of the most poorly studied type of concrete corrosion. Therefore, nowadays the study of corrosive processes developing in concrete under the influence of various microorganisms is relevant. There are three types of biological corrosion of concrete: bacterial, algal and fungal one [4].

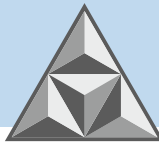
Studies of corrosion destruction of concrete are caused by the necessity of increasing the durability and reliability of concrete and reinforced concrete structures; the development of measures to prevent accidents; significant material losses due to corrosion degradation of concrete; the problem of environmental pollution by corrosion products and metabolites of biodegraders [5, 6].

Biological corrosion of concrete is a multifactorial process; its kinetics depends on the species diversity of biodegraders, a number of abiotic factors and the properties of the concrete itself. Successful research of biological corrosion of concrete is possible only through a thorough study of the physical and chemical processes developing in concrete as a result of damaging by microorganisms.

EXPERIMENTAL PART

The study of biological destruction of concrete was carried out in accordance with the requirements of State standards. The method consists in correlation of parameters characterizing the biostability of concrete specimens subjected to biofouling with the values of indicators characteristic of control concrete specimens [7].

In accordance with the requirements of State standards, the experimental samples were pretreated with a nutrient solution promoting the growth of algae, bacteria, and fungi. The



mechanisms of all types of biological corrosion of concrete are reduced to the physical and chemical processes occurring as a result of release of acidic products of metabolism of microorganisms. Therefore, to study the mechanisms of various types of biocorrosion of concrete, the following methods were chosen: determination of moisture absorption of concrete by mass and volume, registration of changes in the pH of aqueous concrete by potentiometric method using a pH-meter/ionometer Anion-4100. To define the taxonomic composition of biodamage, scrapes were taken from the surface of concrete samples. Electron microscopy was performed by using a Meiji Techno microscope (Japan).

RESULT AND DISCUSSION

Concrete samples, some of which had no visually detectable biological contamination, were examined for bioresistance. Electron microscopy detected biodegradation of all samples (Fig. 2).

The samples subjected to algal corrosion showed a greenish plaque with grayish inclusions. The method of electron microscopy recorded large accumulations of algae on the surface of the concrete (Fig. 2, a, d). The taxonomic composition of the biota, namely algae of *Gloeocapsa*, *Chlorococcum*, and *Chlorella*, was established by using identifiers [8-10]. Algae produce oxygen as a coproduct of photosynthesis. Algae blue-green color is due to the presence of chlorophyll and phycocyanin, so they are sometimes called blue-green algae [11].

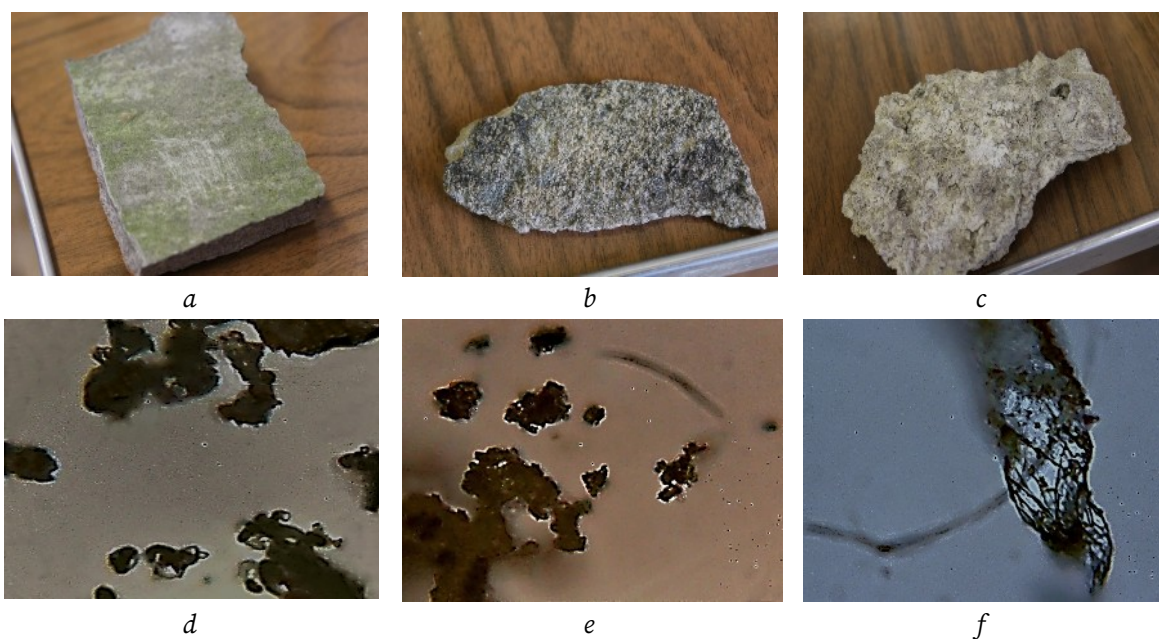
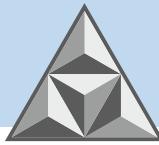


Fig. 2. The surface of a concrete sample: *a, d* - algal corrosion, *b, e* - bacterial corrosion; *c, f* - fungal corrosion; *d, e, f* - at 300x magnification

The surface of the concrete samples subjected to bacterial corrosion was severely damaged (Fig. 2, *b, e*). The rodlike bacteria were identified by light microscopy and using identifiers [8-10]. During the experiment, it was fixed that the most common causative agents of bacterial corrosion of concrete are *Bacillus* bacteria.

The presence of fungal corrosion severely damages the surface of the concrete samples and caused the whitish-gray plaque with black inclusions in the penetrations (Fig. 2, *c, f*). The taxonomic composition of micromycetes showed the presence of fungi of the genera *Mucor*, *Penicillium*, and *Aspergillus* in the samples. Fungi are heterotrophic and have no chlorophyll, so they depend on



available organic matter. They attach to the surface of the substrate and usually look like fluffy gray, green, black or brown patches.

According to experiments, the most aggressive biodegraders of concrete are fungi and bacteria. Meanwhile, clusters of both bacteria and fungi were found on some samples. This fact indirectly correlates with the hypothesis of biocenoses forming by microorganisms. As a rule, the first to appear in these communities are chemolithotrophic bacteria, which are able to obtain adenosine triphosphoric acid by using the energy released during oxidation-reduction reactions of an inorganic substrate - concrete. The clusters of organic matter formed as a result of the vital activity of chemolithotrophic bacteria serve as a substrate for the vital activity of fungi [12].

The rate of biofilm formation can vary. According to references, biofilm can form in minutes when a substrate comes into contact with water containing various metabolites [12].

In order to define the degree of impact of different types of microorganisms on concrete, a number of studies were conducted to assess the water absorption of concrete samples by mass.

Assessment of water absorption of concrete by mass, %, is calculated according to the formula

$$W_m = \frac{m_d - m_{ws}}{m_d} \cdot 100, \quad (1)$$

where W_m - sample water absorption by mass, %; m_d - mass of dried sample, g; m_{ws} - mass of water-saturated sample, g.

The water absorption of concrete control samples by mass was 11.41%, for samples subjected to algal corrosion - 13.66%, for samples damaged by bacterial and fungal corrosion - 16.71% and 19.84%, respectively. Therefore, the bacterial and fungal corrosion leads to a significant increasing of water absorption by mass.

By Fig. 3, samples affected by fungal and bacterial corrosion were saturated with water at the first 24 hours, while the control samples and the samples with algal corrosion reached a constant weight only on the second or third day of storage of samples in water. The curve of change in the rate of water absorption by mass of samples subjected to algal corrosion practically repeated the curve describing this process for the control series of samples. The processes described in Fig. 3 may be a consequence of different porosity and density of the samples. The greater volume and pore size of samples subjected to fungal and bacterial attack is direct evidence of the greater aggressiveness of fungi and bacteria to concrete than algae [13].

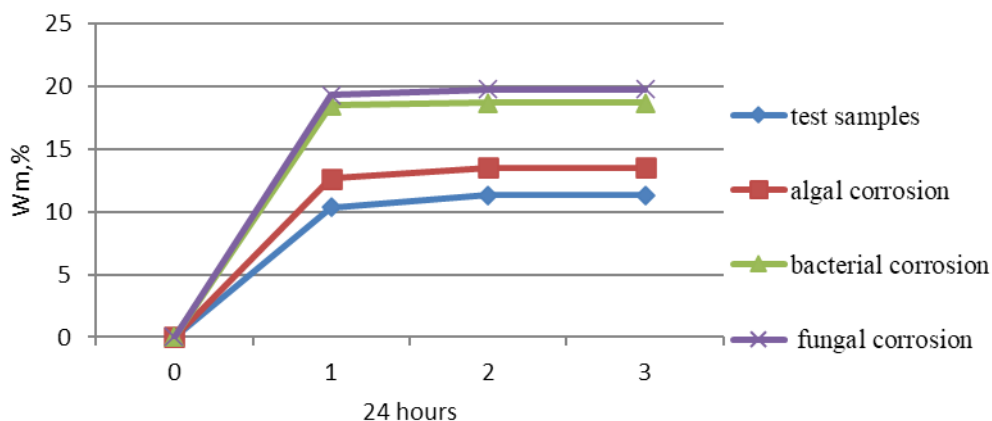
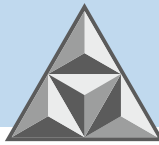


Fig. 3. Water saturation curves

The number of experiments was conducted to assess the water absorption of samples by volume.



Water absorption of concrete samples by volume was calculated according to the formula

$$W_o = \frac{W_m \cdot \rho_o}{\rho_w}, \quad (2)$$

where W_o is the water absorption of the sample by volume, %; W_m is the water absorption of the sample by mass, %; ρ_o is the density of dry concrete, kg/m^3 ; ρ_w is the density of water, assumed to be 1 g/cm^3 .

The samples subjected to algal corrosion showed no significant changes in water absorption by volume in compare with the control sample series. Bacterial and fungal corrosion was accompanied by a significant increase of water absorption of the concrete samples by volume.

The increased volumetric water absorption of concrete samples subjected to bacteria and fungi confirms the high degree of aggressiveness of these bioagents. As a result, increased porosity and decreased density of concrete leads to a reduction of strength.

Experimentally obtained pH values of the aqueous extracts of the samples made it possible to determine the degree of corrosion activity of various biodegraders (bacteria, fungi, algae). For the control samples pH was 8, for algal corrosion - 8.1, for bacterial corrosion - 7.7 and for fungal corrosion - 7.2. Decreasing of pH of the aqueous extract of concrete samples indicates that bacteria and fungi, compared to algae, are more aggressive towards concrete due to their metabolites, which are mainly represented by organic acids (oxalic acid, citric acid, succinic acid, etc.). Organic acids act as catalysts for the corrosion damage of concrete.

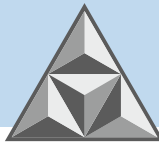
CONCLUSIONS

The following conclusions were obtained:

- 1) Fungi and bacteria are the most corrosive biodegraders of concrete.
- 2) The main cause of damage to concrete in biodegradation is the effect of microbial metabolites, which are a mixture of organic acids.
- 3) Effects on concrete by algae, bacteria and fungi are accompanied by an increase in porosity and a reduction in density, which leads to a significant deterioration of the physical and mechanical properties of concrete.
- 4) Concrete can be protected against bio-damage by treating the material surface in a suitable period of time with various anti-microbial compounds and by producing low-porosity concretes.

REFERENCES

1. **Chesnokova, T.V.** (2021) Fungal corrosion of concrete, *Topical issues of natural science: Sat. mater. VI All-Russian scientific-practical conf., March 23, 2021. Ivanovo: Ivanovo Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*, pp. 135-138 (in Russian).
2. **Fedosov, S.V., Rumyantseva, V.E. & Loginova, S.A.** (2020) Biodegradation of hydrotechnical concrete, *Umnye kompozity v stroitel'stve*, 1(1), pp. 45-55 [online]. Available at: <http://comincon.ru/index.php/tor/article/view/12/5> (in Russian).
3. **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

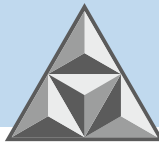


4. **Fedosov, S.V. & Loginova, S.A.** (2020) Mathematical model of concrete biological corrosion, *Magazine of Civil Engineering*, 7(99), p. 9906.
5. **Semenov, S.A., Gumargalieva, K.Z., Kalinina, I.G. & Zaikov, G.E.** (2007) Bio-destruction of materials and products of technology, *Vestnik MITHT*, 2(6), pp. 3-26 (in Russian).
6. **Erofeev, V.T., Fedortsov, A.P., Bogatov, A.D. & Fedortsov, V.A.** (2014) Biocorrosion of cement concretes, features of its development, assessment and forecasting, *Fundamental'nye issledovaniya*, 12, pp. 708-716 (in Russian).
7. **Chesnokova, T.V., Rumyantseva, V.E. & Loginova, S.A.** (2020) Modeling the concrete bio destruction process at the textile industries, *Izvestiya vuzov, Seriya Teknologiya tekstil'noi promyshlennosti*, 385(1), pp. 206-212 (in Russian).
8. **Steinier, R., Edelberg, E. & Ingram, J.** (1979) *World of microbes*. M.: Mir (in Russian).
9. **Berkeley, R.** (1997) *Bergey's Bacteria Key*. M.: Mir (in Russian).
10. **Krasilnikov, N.A.** (1949) *Key to bacteria and actinomycetes*. Izd-vo Akad. nauk SSSR (in Russian).
11. **Chai, W., Li, W. & Ba, H.** (2011) Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment, *Open Civil Eng. J*, 5, pp. 93-99. DOI:10.2174/1874149501105010093
12. **Nikolaev, Yu.A. & Plakunov, V.K.** (2007) Biofilm - a "city of microbes" or an analogue of a multicellular organism? *Mikrobiologiya*, 76(2), pp. 149-163 (in Russian).
13. **Kiselev, V.A. & Chesnokova, T.V.** (2018) Influence of various types of biological corrosion on concrete, *Molodye uchenye - razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)*, 1, pp. 52-53 (in Russian).

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.765

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54

Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ

Е.С. Буданова^{1,2}, В.А. Ярмолинский²

Екатерина Сергеевна Буданова

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

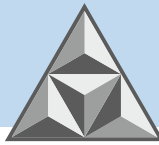
²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Российская Федерация

budanovaes@ystu.ru

Владимир Аполенарьевич Ярмолинский

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Российская Федерация

1057289@madiasu.onmicrosoft.com



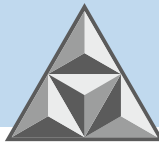
Рассмотрены проблемы поддержания существующей сети автомобильных дорог в нормативном состоянии в условиях повышенных требований к срокам службы дорожных конструкций, динамичного роста автомобилизации, изменения климата, сокращения затрат природных ресурсов и сохранения окружающей среды. В качестве эффективного метода усиления дорожных одежд существующей сети автомобильных дорог рассмотрена технология холодного ресайклинга. Произведен анализ нормативной документации, регламентирующей технологию холодного ресайклинга, выявлены основные недостатки применения технологии на территории РФ, препятствующие эффективному внедрению ее в дорожную отрасль, и предложены возможные варианты их устранения.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожная одежда, холодный ресайклинг, ремонт, водно-тепловой режим, климат

Для цитирования:

Буданова Е.С., Яролинский В.А. Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 54-67 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54

Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation

E.S. Budanova^{1,2}, V.A. Yarmolinsky²

Ekaterina S. Budanova

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

budanovaes@ystu.ru

Vladimir A. Yarmolinsky

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

1057289@madiasu.onmicrosoft.com



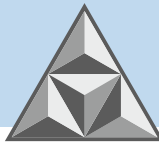
The paper considers the problems of maintaining the existing road network in standard condition under the conditions of increased requirements to the service life of road structures, dynamic growth of motorization, climate change, reduction of natural resources costs and environmental conservation. The technology of cold recycling is considered as an effective method of strengthening the pavements of the existing road network. The normative documentation regulating the cold recycling technology was analyzed, the main drawbacks of the technology application in the territory of the Russian Federation, which prevent its effective implementation in the road industry are identified, and possible variants for their elimination are proposed.

Key words: roads, pavement, cold recycling, repairs, water-heat regime, climate

For citation:

Budanova, E.S. & Yarmolinsky, V.A. (2022) Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 54-67 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54



ВВЕДЕНИЕ

Территориальную целостность РФ и единство ее экономического пространства обеспечивают транспортные связи, которые выполняют роль «кровеносной системы» внутри государства и осуществляют внешнюю связь с мировым сообществом, тем самым обеспечивая интеграцию России в глобальную экономическую систему [1].

Развитие транспортной системы России является одной из приоритетных задач государственной деятельности.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р была утверждена Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, в рамках которой необходимо обеспечить эффективную и безопасную транспортную сеть.

В настоящее время одной из актуальных проблем является сохранение и поддержание транспортно-эксплуатационного состояния существующей сети автомобильных дорог. Опыт эксплуатации их с асфальтобетонными покрытиями показывает, что фактически нормативный срок службы дорожных одежд не обеспечивается, больше половины дорог регионального и межмуниципального значения не отвечает нормативным требованиям (рис. 1). Особенно это характерно для регионов с переменчивым климатом и характерным сезонным переувлажнением.

ДОЛЯ ДОРОГ НЕ ОТВЕЧАЮЩИХ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ (%)

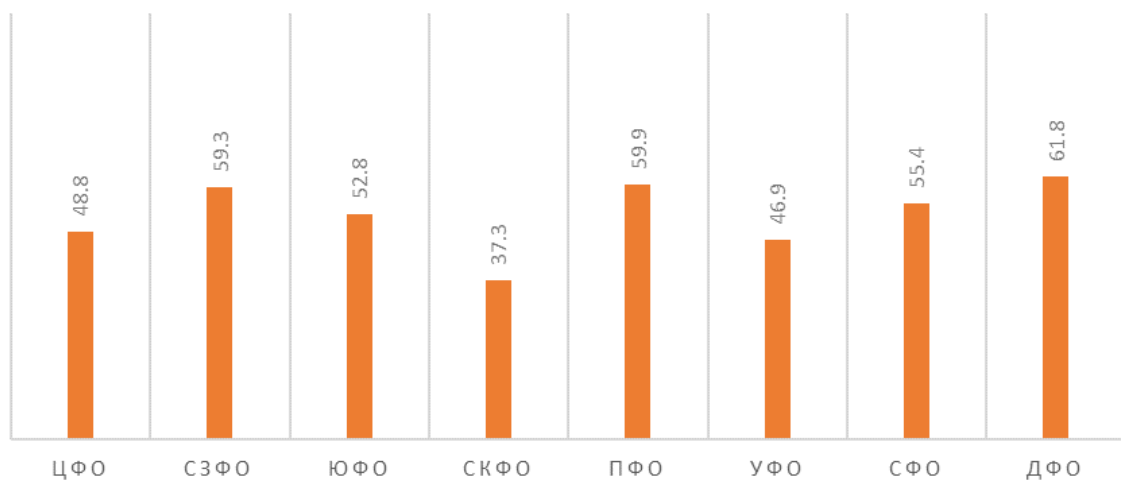


Рис. 1. Доля дорог регионального и межмуниципального значения, не отвечающих нормативным требованиям по регионам [2]

Fig. 1. Share of regional and intermunicipal roads that do not meet the regulatory requirements

На фоне удручающей статистики состояния дорог перед предприятиями дорожного хозяйства с 2017 года поставлена задача двукратного увеличения межремонтных сроков дорожной одежды нежесткого типа:

- для капитального ремонта – 24 года;
- для текущего ремонта – 12 лет [3].



Соблюдение новых межремонтных сроков составляет большую проблему для существующей сети автомобильных дорог, которую следует поддерживать в удовлетворительном состоянии за счет проведения соответствующих профилактических ремонтно-восстановительных работ с усилением.

ВОДА КАК ПРИЧИНА РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Одной из основных причин отказа дорожной одежды нежесткого типа и проведения внепланового капитального ремонта является недопустимое нарушение ровности покрытия автомобильной дороги в виде повышенного трещинообразования, локальных просадок и формирования колеи.

Можно выделить три основные причины нарушения ровности покрытий дорожных одежд нежесткого типа:

- пластические деформации асфальтобетона из-за его размягчения под воздействием солнечной радиации и транспортной нагрузки;
- остаточные деформации, возникающие в период переувлажнения, со снижением прочности слоев основания и подстилающих слоев дорожной конструкции;
- преждевременный износ материала в верхнем слое покрытия под воздействием шин автомобилей.

Накопление остаточных деформаций в покрытии и слоях основания зависит как от общей прочности дорожной одежды, так и прочности каждого ее слоя. Более прочные слои несущего основания могут значительно снизить вероятность образования деформаций, которые возникают вследствие накопления остаточных напряжений в слоях покрытия, а также защищать нижерасположенные подстилающие слои при их ослаблении и превышении транспортных нагрузок [4].

В процессе эксплуатации автомобильной дороги происходит регулярное сезонное снижение несущей способности дорожных одежд вследствие переувлажнения несвязных конструктивных слоев. Наибольшее ослабление отмечается в весенний период года, при этом основными источниками увлажнения являются поверхностные (длительно стоящие) и грунтовые воды (рис. 2). Насыщение грунта земляного полотна влагой является крайне опасным и в значительной степени снижает его основные характеристики:

- модуль упругости E ;
- угол внутреннего трения ϕ ;
- удельное сцепление c .

При недостаточно прочной дорожной одежде, не способной максимально поглотить и распределить напряжения от подвижного состава, а также в результате превышения расчетных нагрузок от транспортных средств в грунтовом основании могут произойти пластические деформации и сдвиги, в дальнейшем способствующие преждевременному отказу дорожной конструкции.

В слабых несвязных конструктивных слоях дорожных одежд, а также в подстилающем грунте под действием нагрузки могут возникать зоны пластического течения, развитие которых приводит к необратимым сдвигам и потере прочности дорожной одежды. Очевидно, что причиной возникновения точек пластического течения в несвязных грунтах под действием нагрузки является нарушение предельного равновесия между частицами, т.е. превышение их сопротивляемости сдвигу [5].

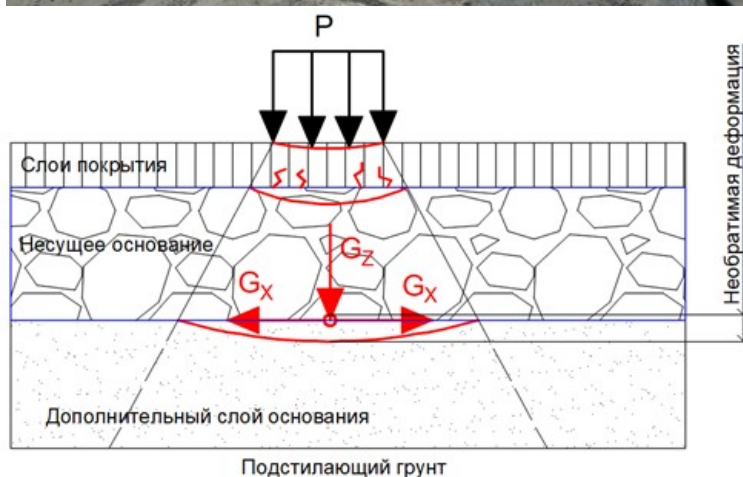


Рис. 2. Нарушение ровности покрытия вследствие необратимых сдвигов несвязных слоев оснований дорожной одежды под нагрузкой

Fig. 2. Disturbance of pavement flatness due to irreversible shifts of unbound pavement layers under load

В несвязных грунтах под действием нагрузки точки пластического течения возникают при нарушении предельного равновесия между частицами,

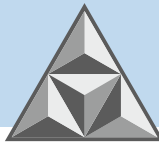
Особое внимание следует уделять дорожным конструкциям в регионах, для которых характерно сезонное переувлажнение [6].

Качество проектирования и срок службы автомобильных дорог в значительной мере зависят от полноты учёта особенностей природно-климатических условий территорий дислокации объектов транспортного строительства.

По итогам исследований [7] установлена устойчивая тенденция к изменению средних температур в сторону потепления на всей территории РФ, а также прогнозируется дальнейшее увеличение осадков, что напрямую будет оказывать влияние на водно-тепловой режим земляного полотна (рис. 3).

Из сезонов выделяется:

- влажная весна;
- сухое лето;
- снежная зима.



Рост осадков может проявиться в любой сезон. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков по территории России наблюдается весной (5.9% нормы/10 лет). В дорожно-климатическом районировании РФ уже выделены районы с избыточным увлажнением, которые в дальнейшем, в рамках изменения климата, будут характеризоваться еще большим увлажнением.

Помимо ослабления основания дорожных одежд при переувлажнении, также следует учитывать прогрессирующие разрушения монолитных слоев, возникающие при совокупности факторов «микротрещина – ПАВ – динамическое воздействие» как следствие эффекта Ребиндера. При возникновении «чаши прогиба» в дорожных одеждах возникают растягивающие напряжения в монолитных слоях, превышение которых приводит к образованию микротрещин. Вода при попадании в образовавшиеся микротрещины играет роль ПАВ, снижая прочность связей в асфальтобетоне и ускоряя процесс разрушения материала.

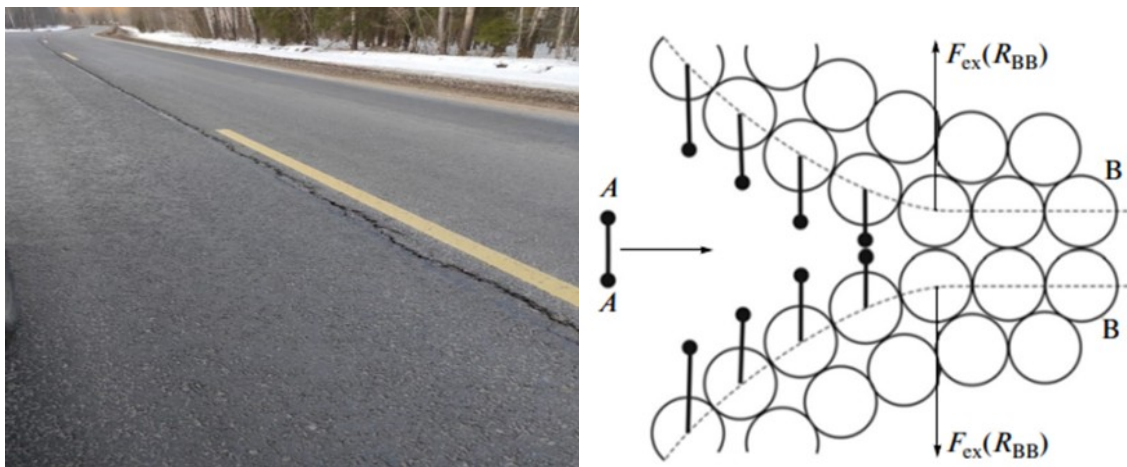


Рис. 3. Деформация покрытия и возможная модельная схема развития трещины с участием адсорбционно-активной среды (молекулы A_2 , адсорбирующиеся в вершине, снижают прочность связей B-B) [8]

Fig. 3. Deformation of the coating and a possible model scheme of the crack development with the participation of the adsorption-active medium (A_2 molecules adsorbed at the apex reduce the strength of B-B bonds)

Следует выделить две формы проявления эффекта Ребиндера в дорожных конструкциях:

- 1) многократное снижение прочности материалов при наличии ПАВ и механическом воздействии;
- 2) пластифицирующие действия ПАВ на материал (глинистый грунт).

Анализируя вышеизложенное, следует отметить, что обеспечение нормативных межремонтных сроков службы на существующей сети автомобильных дорог является трудноразрешимой задачей, требующей колоссальных материальных и финансовых затрат и устранения усталостных остаточных напряжений.

Для усиления конструкции нужно решить три задачи:

- 1) обеспечение максимального поглощения напряжений от транспортных средств на увлажненное грунтовое основание, за счет создания мощного гомогенного слоя несущего основания;
- 2) ликвидация остаточных напряжений в слоях несущего основания;
- 3) ликвидация трещин и обеспечение минимального числа границ слоев в композитной конструкции дорожной одежды.



Перечисленные задачи можно решать в рамках капитального ремонта, с полной заменой слоев несущего основания и покрытия дорожных одежд. В условиях недостаточного финансирования и отсутствия качественных строительных материалов это сделать проблематично. Средняя стоимость капитального ремонта одной полосы движения протяженностью 1 км по сети российских дорог составляет 20 400.41 тыс. руб. [9]. При этом средняя стоимость ремонта 1 км автомобильной дороги с условной шириной 7 м в целом по сети дорог составляет вдвое меньше – 10 581.42 тыс. руб. [9]. Однако зачастую в состав ремонтных работ входит только замена слоев асфальтобетонного покрытия, без усиления и ликвидации остаточных деформаций и напряжений в несущих слоях основания, что впоследствии проявляется в виде отраженных трещин в покрытии.

РЕСАЙКЛИНГ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Эффективным способом повышения прочности нежестких дорожных одежд является создание монолитного слоя несущего основания, при этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

Учитывая необходимость сокращения объемов использования первичных природных ресурсов в дорожном строительстве (в том числе – асфальтобетона), возникает отдельная технико-экономическая проблема оптимизации расходов на материалы в сметной стоимости строительства.

В последние годы во всем мире растет интерес к отходам как ценному виду сырья, поскольку повторное использование материалов решает проблему утилизации отходов и сокращает объемы добычи новых ископаемых; отсюда возникает ощутимая экологическая и экономическая выгода от рециклинга.

Дорожная отрасль в этом вопросе не является исключением: повторное использование материалов от разборки асфальтобетонного покрытия при восстановлении автомобильных дорог привлекает в наше время большое внимание.

Если рассматривать технологию переработки асфальтового гранулята не только с точки зрения экономики, а учитывать также экологическую составляющую, то предпочтение следует отдать холодной регенерации, то есть переработке асфальтового гранулята для создания конструктивных слоев дорожных одежд без предварительного нагрева и дополнительных транспортировок.

Основное преимущество данной технологии перед традиционными методами ремонта дорог – возможность создания регенерированных слоев не только для устройства покрытий, но и создание мощных однородных слоев несущего основания; также технология отвечает принципам устойчивого развития в строительстве в части рециклинга и сохранения окружающей среды. Вместе с тем к настоящему времени не проведена детально обоснованная систематизация конструирования дорожных одежд с использованием метода холодной регенерации, что препятствует ее широкому внедрению и эффективному использованию.

При холодной регенерации слоев существующей дорожной одежды создается слой из асфальтогранулобетонной смеси (далее АГБС). Основной проблемой является сложность создания оптимальной структуры; при этом, наряду с непостоянством толщины дорожной одежды, весьма важно определиться с видом и количеством вяжущего.

Факторы, влияющие на структуру и состав АГБС, можно разделить на три группы:

– внешние;



- факторы «конструктивной особенности»;
- внутренние;

К внешним следует отнести природно-климатические факторы и расчетную транспортную нагрузку, согласно традиционной методике проектирования нежестких дорожных одежд. При учете внешних факторов также необходимо уделять внимание дорожно-климатическому районированию, в частности, требованиям к водо- и морозоустойчивости, которые, к примеру, для северных районов Российской Федерации должны быть в приоритете при проектировании составов АГБС. Также методику испытаний образцов целесообразно «привязывать» к учету региональных особенностей.

В зависимости от того, в каком конструктивном слое дорожной одежды будет располагаться АГБС (покрытие или основание), ее структура и состав будут переменными.

Внутренними факторами, которые будут оказывать влияние на количество и вид вяжущего в АГБС, являются количество и степень старения битума в асфальтовом грануляте, а также его гранулометрический состав.

Наряду с исследованием прочностных показателей, модуль упругости не является исчерпывающей характеристикой АГБС. Следует также учитывать особенности эксплуатации готовых материалов – прежде всего, в районах с избыточным увлажнением и частым переходом температуры через 0°C.

ХОЛОДНЫЙ РЕСАЙКЛИНГ И НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В РФ

При анализе нормативной документации, регламентирующей технологию холодного ресайклинга в Российской Федерации, следует отметить поверхностность, отсутствие четких рекомендаций по проектированию составов АГБС, а также учету дорожно-климатического районирования:

1) СТО НОСТРОЙ 2.25.159-2014 «Холодная регенерация конструктивных слоев для устройства оснований дорожных одежд»:

- подбор вяжущего для АГБС осуществляется по результатам лабораторных исследований;
- требования к физико-механическим свойствам подбираются согласно ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 30491-2012;
- региональные особенности учитываются согласно ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 0491-2012;

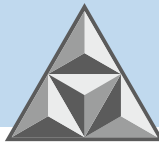
2) ПНСТ 306-2018 «Смеси органоминеральные холодные с использованием переработанного асфальтобетона (РАП)»:

- требования к физико-механическим показателям АГБС учитываются в зависимости от выполняемой функции – покрытие или основание;
- нет учета региональных особенностей;

3) СТО НОСТРОЙ 2.25.35-2011 «Устройство оснований дорожных одежд. Часть 7 строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята»:

- при подборе состава АГБС следует ссылаться на ОС-568-р;
- представлены расчетные значения кратковременных модулей упругости для различных видов АГБС;
- нет учета региональных особенностей;

4) ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной



регенерации»:

– физико-механические показатели АГБ подбираются в зависимости от выполняемой функции – покрытие или основание;

– нет учета региональных особенностей;

5) СТО 03441578-0005-2016 «Смеси асфальтогранулобетонные и асфальтогранулобетон для автомобильных дорог»:

– нет учета региональных особенностей.

Актуальные нормативы, регламентирующие технологию холодного ресайклинга, носят поверхностный характер. Подбор составов АГБС рекомендуется определять лабораторным путем по общим прочностным характеристикам и водостойкости, при этом методика испытаний образцов не учитывает особенностей последующей эксплуатации материала. В этой связи следует рассмотреть вопрос о введении региональных поправок, в особенности для регионов с избыточным увлажнением.

Анализ отечественных статей также говорит о заинтересованности исследователей в вопросе подбора оптимальных составов АГБС. Так, в [10] предложена разработка методики оптимизации процесса проектирования дорожных одежд, направленная на разработку системы типовых конструкций с использованием асфальтогранулята методом холодной регенерации, полученного на основе экологически безопасных и энергоэффективных материалов. В качестве теоретических предпосылок для обоснования такой методики предложено использовать экосистемный подход в инженерной деятельности.

В [11,12] общие принципы подбора состава АГБС с привязкой к ОС-568-р в вопросах определения оптимального количества вяжущего, а также жидкого компонента, необходимого для уплотнения, предлагается рассмотреть с помощью модифицированного теста Проктора, а также орегонского метода.

Ряд работ [13-15], затрагивающих вопросы проектирования оптимальных составов АГБС, носит общий характер. Рецептуры приготовления смесей готовят на основе органических или комплексных вяжущих с испытаниями в стандартных условиях. Оптимальность составов устанавливают расчетным путём по стандартным прочностным показателям и водостойкости, с учетом или без учета коэффициента упаковки гранул. При этом отсутствуют исследования, выходящие за рамки существующих нормативных требований, которые дифференцируют условия дальнейшей эксплуатации разрабатываемых материалов.

Проведенное сравнение методик подбора составов АГБС по отечественным нормам и немецкой методике Wirtgen [16], в свою очередь, не учитывает разнообразие географических зон Российской Федерации; при этом качество подобранных составов АГБС также оценивают общими требованиями к прочности и водостойкости. Значительное внимание следует уделить и изучению аспектов самой технологии холодной регенерации, поскольку ее эффективность и производительность, по сравнению с традиционными методами ремонта автомобильных дорог [17], не вызывает сомнений.

ВЫВОДЫ

В РФ технология холодного ресайклинга находится на стадии становления. Это подтверждается, с одной стороны, несовершенством нормативной документации, представленной в основном рекомендациями, без утверждения необходимых стандартов, а с другой стороны – высокой публикационной активностью, проявляемой отечественными исследователями в указанной области.

Для полноценного внедрения технологии регенерации на территории РФ необходима

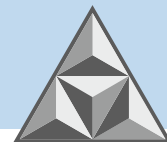


разработка конкретных методик, учитывающих разнообразие климатических условий и нижеперечисленных проблем:

- прогнозируемый динамичный рост автомобилизации и подвижности населения (увеличение расчетных нагрузок);
- прогнозируемое увеличение осадков на всей территории Российской Федерации в рамках глобального изменения климата (повышение влажности грунтов со снижением их несущей способности);
- повышение нормативных межремонтных сроков до 24 лет (возросшие требования к заданным уровням надежности сооружений);
- проблема утилизации отходов (асфальтогранулят относится к IV классу опасности, что подразумевает нарушение экологической системы с периодом самовосстановления более 3 лет, что требует в соответствии с "Постановление 3 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий", целого ряда дорогостоящих мероприятий по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду);
- эмиссия парниковых газов, в первую очередь углекислого газа CO₂;
- невозобновляемость природных ресурсов (минеральное сырье).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Прусова В.И., Безновская В.В., Прокументова В.В.** Роль транспортного комплекса в экономике РФ // *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2017. Т. 4, № 1. С. 138-143.
2. Доля дорог, не отвечающих нормативным требованиям. Статистические данные. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/>
3. Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 г. № 658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201706020012>
4. **Скрышник Т.В., Заяц С.К.** Анализ существующих подходов повышения прочности асфальтобетонных покрытий // *Вести Автомобильно-дорожного института*. 2019. № 2 (29). С. 44-51.
5. **Мошенжал А.В.** Совершенствование проектирования дорожных одежд с конструктивными слоями из малосвязных грунтов, армированных геосинтетическими материалами: дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2016. 168 с.
6. **Кокодеева Н.Е.** Совершенствование методов управления влажностью грунта земляного полотна в весенний период года с целью снижения // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010. Т. 1, № 52. С. 195-202.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. URL: <http://climatechange.igce.ru>.
8. **Малкин А.И.** Закономерности и механизмы эффекта Ребиндера // *Коллоидный журнал*. 2012. Т. 74, № 2. С. 239-256.
9. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта



и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации (2020 год). URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11570?>

10. **Девятков М.М., Тянь В.Ю., Журавлев А.В.** Методика оптимизации процесса проектирования дорожных одежд с использованием асфальтогранулята // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 6(78) С. 388-398.
11. **Журавлев Д.В., Траутвайн А.И.** Требования к проектированию составов асфальтогранулобетона // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. науч. тр.* Белгород, 2017. С. 2082-2087.
12. **Нефедов А.В., Траутвайн А.И.** Проектирование состава асфальтобетонной смеси для холодного ресайклинга // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. науч. тр.* Белгород, 2015. С. 594-598.
13. **Измаилова Г.Г., Сивохина Е.С., Ельшибаев А.О.** К вопросу применения битумной эмульсии в составе ресайклированного слоя // *Вестник КазАТК*. 2018. № 2 (105). С. 182-188
14. **Еремин А.В., Курдюков Р.П.** Определение рецепта приготовления асфальтогранулобетонной смеси // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2019. № 1. С. 37-41.
15. **Ярмолинский В.А., Жабкин М.О., Ярмолинская Е.В.** Исследование оптимального количества вяжущего при укреплении асфальтогранулобетона. Автомобильные дороги и безопасность движения // *Международный сборник научных трудов*. Хабаровск: Тихоокеанский ГУ, 2020. С. 305-313.
16. **Долинский Я.А., Свиридов В.Л., Соловьев А.С.** Оптимизация составов асфальтогранулобетонных смесей при ремонте автомобильных дорог по методу холодной регенерации // *V Международная научно-практической конференция: сб. материалов*. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. С. 647-654.
17. **Verbin V.Yu., Dudin V.M.** Selection of technology for highway road surface overhau // *Smart Composite in Construction*. 2020. Vol. 1, no. 1. P. 65-70. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020 DOI: 10.52957/27821919_2020_1_65

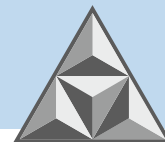
Поступила в редакцию 23.05.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к опубликованию 22.06.2022

REFERENCES

1. **Prusova, V.I., Beznovskaya, V.V. & Prozumentova, V.V.** (2017) The role of transport complex in the economy of the Russian Federation, *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 4(1), pp. 138-143 (in Russian).
2. Share of roads that do not meet regulatory requirements. Statistical data [online]. Available at: <https://rosavtodor.gov.ru/> (in Russian).
3. Decree of the Government of the Russian Federation of May 30, 2017 № 658 "On the standards of financial costs and the Rules for calculating the amount of budgetary allocations from the federal budget for major repairs, repairs and maintenance of roads of federal importance" [online]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201706020012> (in Russian).

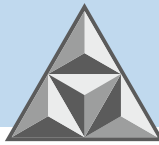


4. **Skrypnik, T.V. & Zayats, S.K.** (2019) Analysis of existing approaches to increase the strength of asphalt concrete pavements, *Vesti avtomobilno-road institute*, (2), pp. 44-51 (in Russian).
5. **Moshenzhal, A.V.** (2016) Improvement of road pavement design with structural layers of low cohesion soils reinforced with geosynthetic materials. PhD thesis. Khabarovsk. 168 p. (in Russian).
6. **Kokodeeva, N.E.** (2010) Improvement of soil moisture control methods of the earth bed in the spring period of the year in order to reduce, *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 1(52), pp. 195-202 (in Russian).
7. *Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2021* [online]. Available at: <http://climatechange.igce.ru> (in Russian).
8. **Malkin, A.I.** (2012) Laws and mechanisms of the Rebinder effect, *Kolloidnyy zhurnal*, 74(2), pp. 239-256 (in Russian).
9. *Report on the cost of construction, reconstruction, overhaul, repair and maintenance of 1 km of public roads of the Russian Federation (2020)* [online]. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11570?> (in Russian).
10. **Devyatov, M.M., Tyan, V.Y. & Zhuravlev, A.V.** (2021) Methodology of optimization of road pavement design using asphalt granulate, *Inzhenernyy vestnik Dona*, (6), pp. 388-398 (in Russian).
11. **Zhuravlev, D.V. & Trautvain, A.I.** (2017) Requirements for the design of asphalt granulated concrete compositions, *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: sb. nauch. tr.* Belgorod, pp. 2082-2087 (in Russian).
12. **Nefedov, A.V. & Trautvain, A.I.** (2015) Designing the composition of asphalt concrete mixture for cold recycling, *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: sb. nauch. tr.* Belgorod, pp. 594-598 (in Russian).
13. **Izmailova, G.G., Sivokhina, E.S. & Elshibaev, A.O.** (2018) Application of bitumen emulsion as a part of recycled layer, *Vestnik KazATK*, (2), pp. 182-188 (in Russian).
14. **Eremin, A.V. & Kurdyukov, R.P.** (2019) Determination of the recipe for the preparation of asphalt-granulated concrete mixture, *Vysokiye tekhnologii v stroitel'nom komplekse*, (1), pp. 37-41 (in Russian).
15. **Yarmolinsky, V. A., Zhabkin, M.O. & Yarmolinskaya, E.V.** (2020) Investigation of the optimal amount of binder when strengthening asphalt granulated concrete. *Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov*. Khabarovsk: Tikhookeanskiy GU, pp. 305-313 (in Russian).
16. **Dolinsky, Y.A., Sviridov, V.L. & Solovyov, A.S.** (2021) Optimization of asphalt-granule-concrete mixtures during repair of highways by the method of cold regeneration. *V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoy konferentsiya: sb. materialov*. Omsk: Sibirskiy gosudarstvenny avtomobilno-dorozhnyy universitet (SibADI). pp. 647-654 (in Russian).
17. **Verbin, V.Yu. & Dudin, V.M.** (2020) Selection of technology for highway road surface overhaul, *Smart Composite in Construction*, 1(1), pp. 65-70 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020. DOI: 10.52957/27821919_2020_1_65

Received 23.05.2022

Approved after reviewing 20.06.2022

Accepted 22.06.2022



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_68

Application of gabbro-diabase for preparation of asphalt mixtures

G.V. Provatorova, K.M. Ryabinina

Galina V. Provatorova

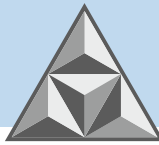
Vladimir State University, Vladimir, Russia

asf.inst@yandex.ru

Ksenia M. Ryabinina

Vladimir State University, Vladimir, Russia

asf.inst@yandex.ru



The significant increasing of both road traffic and loads on the vehicle axle led to unavailability of asphalt concrete to provide the necessary durability of road surfaces. The durability of road surfaces is directly related to the quality of the construction materials used and, above all, to the roadstone aggregate used to form the asphalt concrete. The quality assurance and control of road products requires a systematic approach, which is ensured primarily by having a proper quality assessment system, methods and instruments for testing the properties of road materials, products and structural layers, in accordance with the established standards, indicators. The paper considers the issues of optimizing the choice of a large aggregate (crushed stone) for asphalt concrete in terms of the best adhesion with bitumen used by road construction companies of the Vladimir region. For laboratory testing we use the roadstone aggregate by various manufacturers in order to produce a durable, shear-resistant and crack-resistant road surface material. By the experimental results, crushed gabbro-diabase crushed stone is the most suitable for the preparation of hot asphalt mixtures. The paper contains a crushed stone test report, information on gabbro-diabase crushed stone selection of asphalt concrete composition and results of asphalt concrete testing.

Key words: coarse aggregate, crushed stone, gabbro-diabase, asphalt concrete

For citation:

Provatorova, G.V. & Ryabinina, K.M. (2022) Application of gabbro-diabase in the preparation of asphalt mixtures, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 68-79 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_68



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.7/8

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_68

Применение габбро-диабазов при приготовлении асфальтобетонных смесей

Г.В. Проваторова, К.М. Рябинина

Галина Владимировна Проваторова

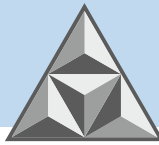
Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация

asf.inst@yandex.ru

Ксения Михайловна Рябинина

Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация

asf.inst@yandex.ru



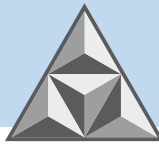
Значительное повышение интенсивности автомобильного движения и возросшие нагрузки на ось транспортных средств на дорогах привели к тому, что асфальтобетоны не в состоянии обеспечить необходимую долговечность дорожных покрытий. Долговечность асфальтобетонных покрытий напрямую связана с качеством используемых материалов и, прежде всего, с каменными материалами, формирующими структуру асфальтобетона. Задачи обеспечения качества дорожной продукции и его контроль требуют системного подхода, что обеспечивается, прежде всего, наличием надлежащей системы оценки качества, методов и приборов для проведения испытаний свойств дорожных материалов, изделий и конструктивных слоев, в соответствии с установленными нормативными документами, показателями. В работе рассмотрены вопросы оптимизации выбора крупного заполнителя (щебня) для асфальтобетона из условия наилучшей адгезии с битумом, применяемого в дорожных организациях Владимирской области. Выполнялись лабораторные испытания каменного материала различных производителей для получения прочного, сдвигоустойчивого и трещиностойкого материала дорожных покрытий. Результаты испытаний показали, что наиболее пригодным для приготовления горячих асфальтобетонных смесей является щебень из габбро-диабазы. Приводится протокол испытаний щебня, подбор состава асфальтобетона на габбро-диабазом щебне и результаты испытаний асфальтобетона.

Ключевые слова: крупный заполнитель, щебень, габбро-диабаз, асфальтобетон

Для цитирования:

Проваторова Г.В., Рябинина К.М. Применение габбро-диабазов при приготовлении асфальтобетонных смесей // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 68-79
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_68



INTRODUCTION

Roads are an essential part of infrastructure contributing to economic growth, achieving of social objectives and providing the national security. The development of roads in terms of increasing economic activity and intensive motorisation of the population should provide access to settlements, match the capacity of the road network to road traffic flows and meet the challenges of transport system in future.

Despite the recent emergence of modern highways, the traffic conditions of the most automobile roads can be regarded as unsatisfactory. More than half of them have insufficient road surface durability and more than a third of the trunk roads need upgrading to a higher technical category [1-5].

Their low technical level, inconsistency of road parameters with the volume and traffic structure, regular overloading of certain road sections do not allow the performance qualities of modern vehicles to be realised: average speeds in Russia are more than half those in European countries. The unsatisfactory condition of road surfaces on a significant number of roads causes the increasing of the shipping operations costs. These factors increase the transport costs and time costs of delivery of goods and passengers of Russian manufacturers and consumers, reduce the defense capability and security of the country, the competitiveness of domestic goods, especially goods produced in regions remote from the borders of the Russian Federation [2].

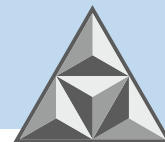
A particular issue is the improving of road surface conditions in order to reduce the rate of wear and increase the permissible stress (only about a quarter of all paved roads are designed for axle loads of 10 tonnes and the European limit requires roads to be designed for 11.5 tonnes). Analysis of the Russian Federation roads condition shows the high percentage of the road under repair and the shortage of working life of built and major repaired asphalt concrete road surfaces. Erosion and cracks often appear at the first year of use, whereas abroad road surfaces can be exploited up to 15 years. Largely the low quality of road surfaces is due to their insufficient water resistance and frost resistance as a consequence of the low adhesion of road bitumen to the aggregate. Therefore, special attention needs to be paid to the issue of road surface condition, as it determines the condition of the transport network as a whole [6].

By the experience of a number of countries, the issues of road network developing can only be accomplished through the government programmes defying the main directions and measures for road development and their funding providing. The national project "Safe and High Quality Roads" is currently being implemented in 84 regions of the Russian Federation.

It includes works to ensure the safety of federal and regional public highways, improve the transport and operational condition of the road network and reduce the slippage rate of federal and regional public highways in terms of repair schedules. Improving the transport and operational condition of roads, increasing the technical level and length of the road network will increase the speed, comfort, safety and efficiency of road transport and ensure a 15-20% reduction in the cost of road freight and passenger transport across the country, contributing to economic growth [7].

Reducing transport costs will increase the competitiveness of products in various sectors of the economy and decrease costs in the social sphere, which will contribute to increased production and better living standards of the population.

In this regard, the quality assurance of road construction, and of all the structural elements of roads, is also becoming increasingly important. The quality assurance and control of road products requires a systematic approach, which is ensured primarily by having a proper quality assessment system, methods and instruments for testing the properties of road materials, products



and structural layers, in accordance with the established standards, indicators.

The purpose of this work is to analyse the test results of crushed stone used in the Vladimir region and provide a background for choosing one or another material for use in the production of asphalt mixtures by road construction companies.

It is very important to identify any inconsistencies of road construction materials or structural layers during the initial stages of road construction. This requires both skills and a short timeframe for conducting the analysis. In order to meet both criteria at once, it is necessary to develop additional documentation not conflicting with normative one, but rather supplements and clarifies it, which would serve to assist professionals working of the industry and enable optimal solutions to be applied based on an option comparison. This paper examines the issue.

EXPERIMENTAL PART

One of the main challenges in achieving a dense and durable asphalt concrete meeting the requirements of the regulations is to ensure the quality of the input materials and, most importantly, to maintain compatibility of the constituents when mixing, laying and compacting the asphalt mixture. The most important condition for the asphalt concrete quality is good adhesion of the bitumen to the surface of the mineral materials, including the coarse aggregate - crushed stone.

The research was carried out on the basis of the Laboratory Control and Implementation of New Technologies Department of GUP VO "DSU-3".

During selecting the composition of the asphalt mixtures, a large number of materials of the mixture were tested. Road construction companies of the Vladimir region use limestone, crushed stone from the Vladimir Karieroupravlenie (VKU), crushed stone from the Brykovy Mountains de-posit in the Alexandrov district of the Vladimir region, gabbro-diabase from deposits of Ranta-Myaki, "KP-Gabbro", Iron Mountain, Holodai Mountain, VKU, Zhukov Kamen, etc.

Diabase-gabbro crushed stone of 11.2- 16 M1400 grades, produced by "KP-Gabbro", Petrozavodsk, is the most widely used at the moment and it was taken as the basis for testing and selection of asphalt concrete mixture.

Testing of the initial crushed stone, according to [8-15], used to select the composition of the asphalt mixture and its manufacture includes determining (Fig. 1):

- 1) aggregate gradation composition;
- 2) aggregate packed density;
- 3) natural moisture content of the material;
- 4) brand by crushing capacity;
- 5) grains of flaky aggregate and needle shaped;
- 6) gritty and clay particles content;
- 7) medium density.

Experimentally it was found the gabbro-diabase rock of "KP-Gabbro" is the most suitable for the production of asphalt mixtures according to GOST R 58406.2-2020, as the best values of all the tested materials of the similar group are observed. We use this material for our further work.

The study was carried out on asphalt-concrete mixture A16Vn used in the top layer of the pilot section during the repair of the road in Kolchuginsky district of Vladimir region. Also we made a selection of asphalt concrete mixture composition (Table 1).

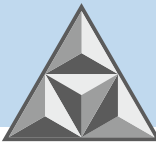


Fig. 1. Testing of crushed stone gabbro-diabase gr. 11,2-16 M1400 "KP-Gabbro"

The next step of the research is the development of an asphalt concrete mixture formula with the selection of the grain composition of the asphalt concrete and the optimum amount of bitumen, followed by the moulding and testing of the samples produced. The following materials were used to prepare the mixture:

- crushed stone gabbro-diabase gr. 11,2-16 M1400 “KP-Gabbro”
- crushed stone gabbro-diabase gr. 8-11,2-16 M1400 “KP-Gabbro”;
- crushed stone gabbro-diabase gr. 4-8 M1400 “KP-Gabbro” “Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit”;
- crushed sand, gabbro-diabase, M1400 “Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit”;
- MP-2 mineral powder by “CAPITAL MAGNESIT”.

**Table 1.** Selection of asphalt concrete mix composition

"-----" 2021 23 November 2021											
Composition of asphalt-concrete mixture A16Vn by GOST R 58406.2-2020(TWA-160) For construction of top layer of the road surface For road repairing in Kolchugino district, Vladimir region Contract # 27, 7 June 2021 1. Construction materials											
N	Name of the material	Composition of asphalt-concrete mixture (bitumen over 100%)	Average and true specific gravity, g/cm ³	Particle-size distribution (passed through a sieve with holes mm), % by mass							
				22.4	16	11.2	8	4	2	0.125	0.063
1	crushed stone gabbro-diabase gr. 11,2-16 M1400 "KP-Gabbro"		2.99	100.0	93.3	5.16	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00
2	crushed stone gabbro-diabase gr. 8-11,2-16 M1400 "KP-Gabbro"		2.99	100.0	100.0	92.82	9.72	1.02	0.00	0.00	0.00
3	crushed stone gabbro-diabase gr. 4-8 M1400 "KP-Gabbro", "Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit"		3.00	100.0	100.0	100.0	92.82	7.86	1.17	0.00	0.00
4	crushed sand, gabbro-diabase, M1400 "Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit"		3.04	100.0	100.0	100.0	100.0	92.36	67.03	12.97	8.01
5	MP-2 mineral powder by "CAPITAL MAGNESIT"		2.83	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.32	84.78
2. Grain composition of asphalt concrete mixture											
	Mixture composition	%		22.4	16.0	11.2	8	4	2	0.125	0.063
1	crushed stone gabbro-diabase gr. 11,2-16 M1400 "KP-Gabbro"	25.0		25.0	23.3	1.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	crushed stone gabbro-diabase gr. 8-11,2-16 M1400 "KP-Gabbro"	15.0		15.0	15.0	13.9	1.5	1.2	0.0	0.0	0.0
3	crushed stone gabbro-diabase gr. 4-8 M1400 "KP-Gabbro", "Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit"	17.0		17.0	17.0	17.0	15.8	1.3	0.2	0.0	0.0
4	crushed sand, gabbro-diabase, M1400 "Karieroupravlenie No. 1, Iron Mountain deposit"	38.0		38.0	38.0	38.0	38.0	35.1	25.5	4.9	3.0
5	MP-2 mineral powder by "CAPITAL MAGNESIT"	5.0		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0		4.9	4.2
6	Total	100.0		100.0	98.3	75.2	60.8	41.6	30.7	9.8	7.3
7	Grain composition by GOST R 58406.2-2020			100.0	100.0	85.0	-	58.0	40.0	20.0	10.0
				100.0	90.0	70.0	-	37.0	25.0	7.0	5.0
8	Actual grain composition			100.0	98.3	75.2	60.8	41.6	30.7	9.8	7.3

The mixture preparation technology included the following processes:

1) Preparation of asphalt concrete mixture based on the initial binder - modified bitumen grade BND 70/100, under laboratory conditions in a mixing plant (Fig. 2).

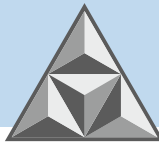


Fig. 2. Production of asphalt concrete mixture of the specified composition

2) Preparation of laboratory samples of the required size and quantity for the study (Fig. 3).



Fig. 3. Preparation of asphalt concrete samples by GOST R 58406.2-2020

3) Testing of the samples obtained.

4) Analysis of the samples obtained.

RESULTS

During the testing, a laboratory sample of the material, prepared from a composite assay, was formed for all laboratory tests for this type of crushed stone. This assay was used to prepare an analytical sample from which individual samples were taken in accordance with the test procedure. According to [8] it is allowed to use one analytical sample for more than one type of test.

The test results are shown in Table 2.

One of the most important quality parameters is the adhesion of the binder to the surface of the aggregate providing almost all the technological and performance parameters of asphalt surfaces.

By the results of the experiments, a strong bond between the binder and the gabbro-diabase stone material is ensured. The cohesion and adhesion to mineral materials increases, as well as resistance to oxidation and ageing. The asphalt mixture was prepared with the using of modified bitumen.

**Table 2.** Test report for crushed stone gabbro-dabase gr. 11,2-16 M1400 “KP-Gabbro”

Test report for crushed stone gabbro-dabase							
Name of the material: crushed stone gabbro-dabase gravel 11.2-16 M1400 (brand 90/100)							
Sampling point: Ulybyshevo railway station							
Date of sampling: 15 November 2021							
Manufacturer: “KP-Gabbro”							
Laboratory testing results							
N	Name	Unit of measurement	GOST requirements 32703-2014			Actual value	
1	bulk density	g/cm ³	-			1.62	
2	moisture	%	-			0.75	
3	brand by crushing capacity		-			M1400 (gr.=1.44%)	
4	grains of flaky aggregate and needle shaped	% by mass	-			5.6 (L10)	
5	gritty and clay particles content	% by mass	less than 1			0.34	
6	medium density	g/cm ³	-			2.99	
Grain composition							
N	Amount of balance	Grain size, mm					
		31.5	22.4	16	11.2	5.6	Less than 5.6
		2 D	1.4 D	D	d	d/2	
1	Private, g	0	0	670	8814	302	214
2	Private, %	0.00	0.00	6.70	88.14	3.02	2.14
3	Total, %	0.00	0.00	6.70	94.84	97.86	100.0
4	Total, %	100.0	100.0	93.30	5.16	2.14	
5	GOST requirements 32703-2014 to total, % (brand 90/100)	100.0	100.0	900-100	0-10	0-2	
Conclusion: crushed stone gabbro-dabase gravel 11.2-16 M1400 (brand 90/100) corresponds to GOST requirements 32703-2014							

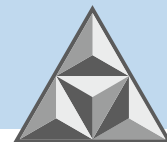
The “KP Gabbro” asphalt mix on crushed stone gabbro-dabase gravel 11.2-16 M1400 also show good results. The study was carried out on samples of a given type of asphalt concrete mixture prepared on the basis of petroleum road bitumen [16, 17].

Test results of asphalt mix A16Vn are shown in Table 3.

CONCLUSIONS

The use of crushed gabbro-dabase stone as a coarse aggregate for the preparation of asphalt mixtures makes it possible to obtain a strong, durable, shear-resistant and wear-resistant surface material, reliable in operation during the entire normative service life.

- 1) A rationality of use of crushed gabbro-dabase in asphalt-concrete mixtures on modified road



bitumen used by road constructing companies of the Vladimir region is proved.

2) Increased cohesion and increased adhesion, as well as resistance to oxidation and ageing, which also improves the physical and mechanical properties of the asphalt concrete and increases the life between repairs of the road surfaces.

Table 3. Test results of asphalt concrete mixture A 16Vn. Key indicators

Indicators name	Unit of measurement	Permissible variation of individual indicators from the formula	GOST requirements P 58406.2-2020	Results by formula	The actual results BND 70/100
Bulk density	g/cm ³	-	-	2.650	2.655
Air void	%	± 1,2	2.5 to 4.5 included	3.3	3.21
Air void in mineral aggregate	%	-	at least 12.0	16.2	16.0
Air void filled with asphalt binder	%	-	67-80	79.7	79.95
Average track depth	mm	-	max 4.5	2.4	2.41
Waterproofing		-	at least 0.85	0.86	0.86
Maximum density	g/cm ³	-	-	2.740	2.743

REFERENCES

1. Federal Target Program "Modernization of the Transport System of Russia (2002-2020)" as amended by the Decree of the Government of the Russian Federation dated May 31, 2006, (338) (in Russian).
2. Resolution of the Interparliamentary Assembly of the Eurasian Economic Community, dated 06/16/2003. No. 4-11, St. Petersburg (in Russian).
3. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. M., dated November 27, 2021 No. 3363-r. [online]. Available at: [http://www . min-trans.ru/documents/detail](http://www.min-trans.ru/documents/detail) (in Russian).
4. Federal Law of the Russian Federation of February 9, 2007 N 16-FZ "On Transport Security" (in Russian).
5. Report of the Working Group of the Presidium of the State Council of the Russian Federation "Transport System of the Russian Federation" dated October 29, 2003. [online]. Available at: <http://archive.kremlin.ru/text/docs/2003/10/60268.shtml> (in Russian).
6. **Solodkiy, A.I.** (2007) *Organizational and economic foundations of the formation of a road network in the context of regional development*. SPb.: Izd-vo SPbGU (in Russian).
7. GOST 32703-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements (in Russian).
8. GOST 33048-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Sampling (in Russian).
9. GOST 33053-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of the grain content of lamellar (bream) and needle-shaped (in Russian).
10. GOST 33055-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of the content of pulverized and clay particles (in Russian).

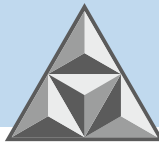


11. GOST 33029-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of granulometric composition (in Russian).
12. GOST 33028-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of humidity (in Russian).
13. GOST 33047-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of bulk density and voidness (in Russian).
14. GOST 33057-2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of average and true density, porosity and absorption (in Russian).
15. Interstate standard GOST 33133-2014. Technical requirements for road viscous bitumen of general (in Russian).
16. GOST 58406.2-2020. Public roads. Mixtures of burning asphalt concrete and asphalt concrete. Technical conditions (in Russian).

Received 09.03.2022

Approved after reviewing 16.03.2022

Accepted 22.03.22



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 725.38

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_80

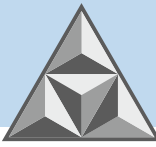
Архитектура периода постконструктивизма в Ярославле: уникальное здание автомобильного гаража

Н.С. Сапрыкина

Наталья Сергеевна Сапрыкина

Академия МУБиНТ, Ярославль, Российская Федерация

nssapr@mail.ru



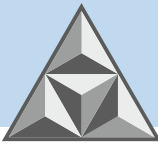
В 1935 году в Ярославле возведено здание гаража в стиле постконструктивизма по проекту выпускника Ленинградского ВХУТЕИНа И. Н. Дубова. Анализируются особенности архитектурно-планировочного решения в контексте экономических предпосылок появления данного типа здания в структуре города, влияния европейских и отечественных идей творцов авангарда, а также директивных установок времени на выработку творческой концепции. Поставлена задача поиска объективных доказательств историко-культурной ценности здания с целью сохранения уникального типологического примера, иллюстрирующего программные и стилистические этапы развития нового типа зданий в СССР. Представлены новые сведения по истории архитектуры советского времени, творчестве архитектора И. Н. Дубова.

Ключевые слова: архитектура, типологический, образец, проект, здание, автомобильный, гараж, постконструктивизм, Ярославль, И. Н. Дубов

Для цитирования:

Сапрыкина Н.С. Архитектура периода постконструктивизма в Ярославле: уникальное здание автомобильного гаража // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 80-101 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_80



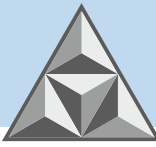
RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_80

Post-constructivist architecture in Yaroslavl: a unique automobile garage building

N.S. Saprykina

Natalya S. Saprykina
Academy of MUBiNT, Yaroslavl, Russia
nssapr@mail.ru



The garage building in the style of post-constructivism designed by a graduate of the Leningrad Higher Art and Technical Institute I. N. Dubov in 1935 in Yaroslavl. The article analyzes the peculiarities of architectural planning in the context of economic prerequisites for the appearance of this type of building in the city, the influence of European and domestic avant-garde ideas, as well as the time guideline on the development of the creative concept. The author's task is to objectively prove the historical and cultural value of the building in order to preserve its unique typological example which illustrate some of the program and stylistic milestones in the development of a new type of building in the USSR. New information on the architectural history of the Soviet era and the work of the architect Ivan Dubov is published.

Key words: architecture, typological, sample, design, building, automobile, garage, post-constructivism, Yaroslavl, I. N. Dubov

For citation:

Saprykina, N.S. (2022) Post-constructivist architecture in Yaroslavl: a unique automobile garage building, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 80-101 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_80



ВВЕДЕНИЕ

В августе 2018 г. активистами Ярославского отделения ВООПИК была инициирована подача заявки о включении выявленного исторического здания гаража, выполненного в стиле постконструктивизма в середине 1930-х годов, в единый государственный реестр объектов культурного наследия. В этом было отказано «по причине отсутствия историко-культурной ценности, с точки зрения истории, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, этиологии или антропологии, социальной культуры» без какой-либо аргументации. Попробуем разобраться в состоятельности данного утверждения, сопоставляя факты, данные и события, включая архивные исследования.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

В 1928 г. был принят первый пятилетний план развития народного хозяйства СССР, целью которого было коренное перевооружение советской промышленности, включая автомобильную. В свою очередь, задача развития автомобильного транспорта в стране требовала создания мощных предприятий по производству автомобилей, комплектующих изделий, шин, топлива, специальных сталей, станков и оборудования. Этот план успешно претворялся в жизнь. Например, только на территории города Ярославля в конце 1920–начале 1930-х гг. были построены новые промышленные предприятия – Ярославский резиноасбестовый комбинат (ЯрРАК), завод синтетического каучука (СК-1), завод «АСЕА» (ЯЭМЗ), а также модернизирован Ярославский государственный автомобильный завод № 3 (ЯГАЗ). Совместно с заводами «АМО ЗИЛ» и «Спартак» (Москва) ЯГАЗ давал стране в 1929 г. – 1712 машин, в 1930 г. – 4226 машин, из которых 839 тяжелых грузовиков и автобусных шасси выпустил ярославский завод № 3 [1]. Накопив к середине 1930-х гг. немалый опыт в ремонте машин, налаживании серийного производства, советское автомобилестроение подошло к новому рубежу – массовому производству автомобилей.

Изменения в жизни людей и страны неизбежно отражались на специфике архитектурно-строительной деятельности. Наравне с домами-коммунами, фабриками-кухнями, пролетарскими клубами, механизированными прачечными-банями и другими типами объектов середины 1920-х годов стали проектироваться здания общественных гаражей. Они предназначались для хранения и обслуживания автобусов, ведомственных автомобилей и в основном строились в столице – Москве. Число частных автовладельцев тогда было невелико, а другие города не располагали обширным парком общественного и грузового транспорта. Во многих городах конный вид транспорта все еще преобладал над автомобильным. Кареты, повозки, пролетки являлись доминирующими при передвижении пассажиров. В проектах конца 1920-х гг. на генеральных планах в экспликациях зданий и сооружений появлялись такие названия, как каретник, каретный сарай, каретный двор и др. Например, на генеральном плане здания Государственного банка в Ярославле, спроектированного и построенного в конце 1920-х гг. (авторы – И. И. Князев, Г. В. Саренко, И. А. Русанов при участии Г. П. Гольца), предусмотрено устройство каретника [2] (рис. 1). Численность автомобильного парка развивающегося социалистического государства к началу 1928 г. была ниже, чем в Финляндии, Польше, Румынии, Португалии [1].

В ходе технического перевооружения автомобильной промышленности к 1935 г. производство машин в СССР возросло более чем в 20 раз (по сравнению с 1930 г.) – до 97 тыс.



штук; освоен массовый выпуск трех базовых моделей, которые поставлялись во все регионы страны [1]. Возникла потребность в строительстве зданий для хранения и обслуживания машин (прежде всего, грузовых) – гаражей в различных городах.

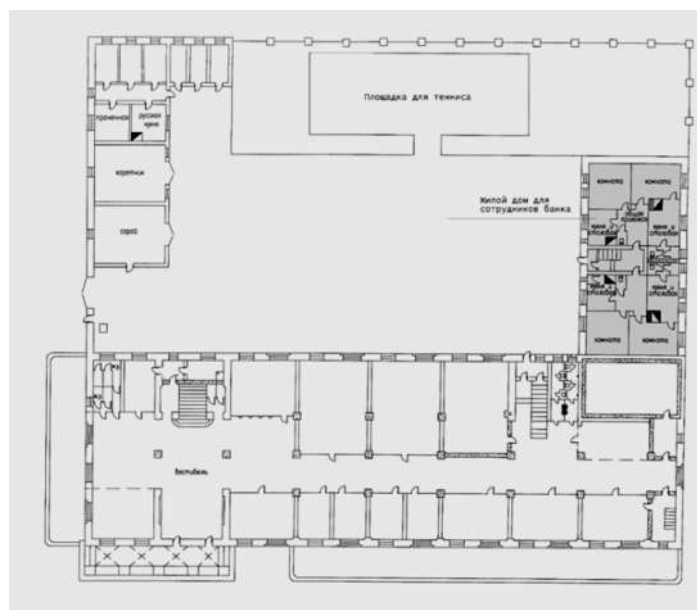


Рис. 1. Здание Государственного банка в Ярославле, спроектированное и построенное в конце 1920-х гг. Авторы: И.И. Князев, Г.В. Саренко, И.А. Русанов при участии Г.П. Гольца (1928–1929 гг.). План первого этажа с территорией участка (проект) [2]

Fig. 1. The building of the State Bank in Yaroslavl, designed and built in the late 1920s. Authors: I.I. Knyazev, G.V. Sarenko, I.A. Rusanov with the participation of G.P. Golts (1928–1929). Ground floor plan with the territory of the plot (project) [2]

Здания гаражей второй половины 1920-х гг., как и все проекты конструктивистов, были решены в соответствии с функционально-технологическими и символическими задачами времени. Выдающимся автором таких построек в Москве был К. С. Мельников, творчеству которого сегодня посвящено много книг и статей современных исследователей [3-6]. В ряду его ранних построек выделяются гаражи для автобусов на Бахметьевской улице (ул. Образцова) (1926-1928 гг.) и грузовых автомашин Моссовета на Новорязанской улице (1926–1929 гг.) в Москве, проекты которых создавались совместно с инженером В. Ф. Шуховым (рис. 2, 3).

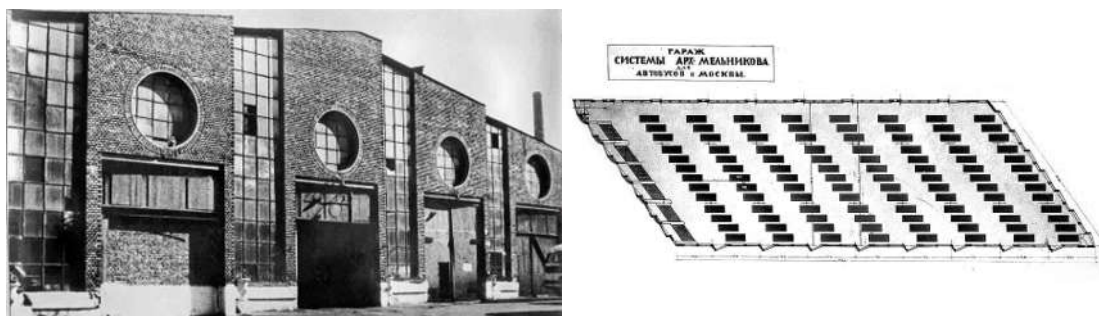


Рис. 2. Здание гаража на Бахметьевской улице (ул. Образцова) в Москве, архитектор К.С. Мельников (1926–1928 гг.) [7, 8]

Fig. 2. Garage building on Bakhmetevskaya st. (Obraztsova st.) in Moscow, architect K.S. Melnikov (1926–1928) [7, 8]

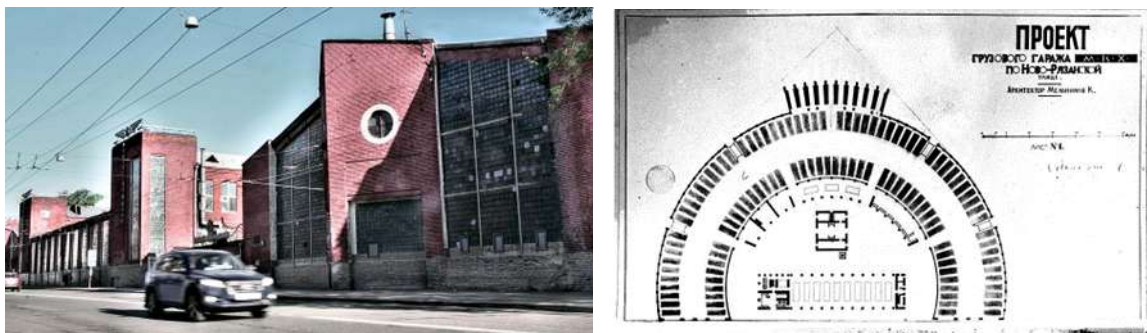


Рис. 3. Здание гаража для грузовых автомашин Моссовета на Новорязанской ул. в Москве, архитектор К.С. Мельников (1926–1929 гг.) [9, 10]

Fig. 3. The building of the garage for trucks of the Moscow City Council on Novoryazanskaya st. in Moscow, architect K.S. Melnikov (1926–1929) [9, 10]

Сегодня эти объекты являются выдающимися типологическими образцами г. Москвы. Выполненные в авангардном стиле, они отличаются яркой образностью, характерными деталями и металлоконструкциями, которые оригинально сочетаются с кирпичной кладкой. В середине 1930-х годов (в период постконструктивизма) в Москве было построено еще два ведомственных гаража по проекту мастерской Мельникова: гараж Госплана на Авиамоторной улице (1934–1936 гг.) и гараж «Интуриста» на Суцеском валу (1933–1934 г., 1938 г.) (рис. 4, 5). Здесь К. С. Мельников занимался в основном решением архитектурной формы фасадов зданий. Автор придал зданиям оригинальный образ, форму, пластику и динамику, характерные для авангардной архитектуры, несмотря на очевидные сдвиги в общей стилистической направленности архитектуры в сторону неоклассицизма в середине 1930-х гг. Однако не всегда проекты реализовывались в соответствии с первоначальным замыслом. Так, в процессе строительства мастерская вынуждена была отказаться от логотипа ВАО «Интурист» ввиду передачи гаража в ведение НКВД. Левая половина здания была радикально перестроена под «новый стиль», отвечая заданной партией и правительством линии развития архитектуры. Это решение визуальнo разбило объект на две части, развалив оригинальную композицию. Последующие жесткие стилеобразующие установки заставили мастера отказаться от дальнейшей архитектурной практики.



Рис. 4. Здание гаража Госплана на Авиамоторной ул. в Москве, мастерская К.С. Мельникова (1934–1936 гг.) [11]

Fig. 4. Gosplan garage building on Aviamotornaya st. in Moscow, workshop of K.S. Melnikov (1934–1936) [11]

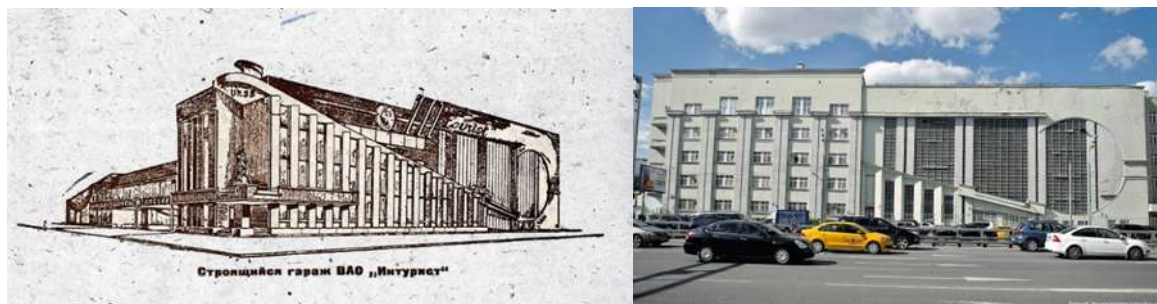


Рис. 5. Здание гаража «Интуриста» на ул. Сушеvский вал в Москве, мастерская К.С. Мельникова (1933 – 1938 гг.) (проект и реализованная постройка) [12, 13]

Fig. 5. The Intourist garage building on Sushchevsky Val st. in Moscow, workshop of K.S. Melnikov (1933 – 1938) (project and completed construction) [12, 13]

ЗДАНИЕ ГАРАЖА ДЛЯ АВТОМАШИН НА ПРОСПЕКТЕ ОКТЯБРЯ В ЯРОСЛАВЛЕ

Здание гаража для автомашин на проспекте Октября в г. Ярославле, спроектированное архитектором И.Н. Дубовым в 1935 г., является последовательным примером «переходного стиля» в архитектуре (технический проект выполнен в 1938 г. уже по факту постройки). В этом объекте автору удалось создать оригинальный облик, отвечающий как внутреннему содержанию, так и стилистическим установкам времени (рис. 6). Постконструктивизм уже доминировал в стране, при этом уровень «возможностей выбора» регионального архитектора, несмотря на диплом Ленинградского ВХУТЕИНа (1925–1930 гг.), не позволял ему думать об иных стилистических предпочтениях в архитектурном творчестве [2, 14].



Рис. 6. Фотография гаража (И.Н. Дубов 1935). Фото С.И. Тараева, 2018 г.

Fig. 6. Photo of the garage (I.N. Dubov, 1935). Photo by S.I. Taraev (2018)

Воспитанный в духе авангардных традиций И.Н. Дубов свободно владел основами проектирования неординарных и ярких композиций, четко выверенных планов, удовлетворяющих тем функциональным процессам, для которых они предназначались. Увлечение многих советских архитекторов 1920–1930-х гг. творческим методом немецкой школы «Баухауз» – известный факт времени, подтвержденный различными публикациями, студиями известных проектов как студентов, так и состоявшихся архитекторов [5]. Это неизбежно накладывало свой отпечаток – новый взгляд на современную архитектуру, влияло на выработку концепций. По-видимому, и проект нового гаража для Ярославля создавался



под впечатлением от яркого и запоминающегося произведения выдающихся немецких архитекторов В. Гропиуса и А. Мейера – административно-фабричного корпуса и зала для машин «Образцовой фабрики» (выставка Немецкого союза ремесленных предприятий в Кёльне в 1914 г.). Оригинальная композиция плана, контраст фабричной и офисной частей, лёгкая и изящная динамичная форма здания офиса получили продолжение и развитие в большом количестве проектов и построек XX века (рис. 7, 8).



Рис. 7. Административно-фабричный корпус и зал для машин «Образцовой фабрики» для выставки Немецкого союза ремесленных предприятий в Кёльне. Архитекторы Вальтер Гропиус и Адольф Мейер, 1914 г. (общий вид и план этажа) [3, 15]

Fig. 7. The administrative and factory building and the hall for the machines of the "Model Factory" for the exhibition of the German Union of Handicraft Enterprises in Cologne. Architects Walter Gropius and Adolf Meyer, (1914) (general view and floor plan) [3, 15]

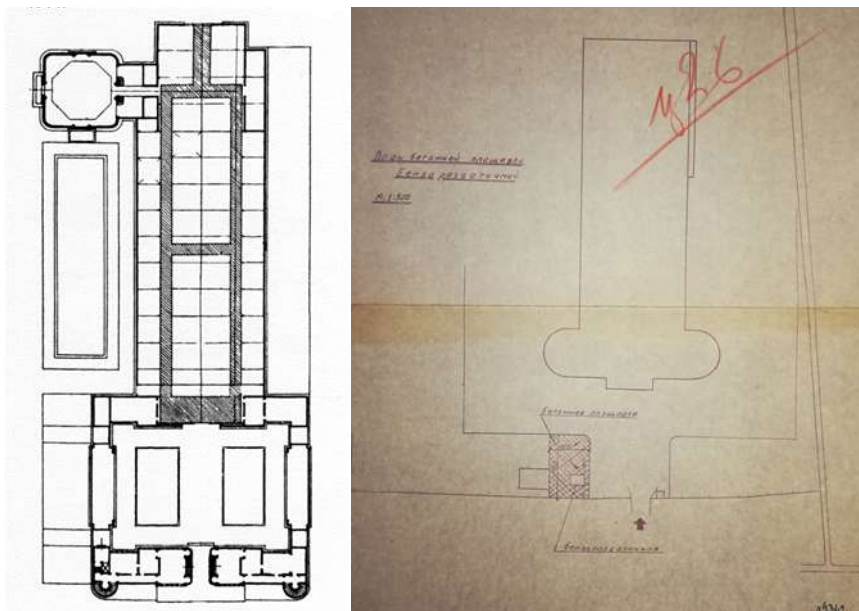


Рис. 8. Схема генплана гаража в Ярославле (из технического проекта 1938 г.) [16]

Fig. 8. The scheme of the general plan of the garage in Yaroslavl (from the technical project of 1938) [16]

Специфика размещения и генплан. Выбор площадки для размещения нового гаража в г. Ярославле – рядом с территорией нового завода синтетического каучука (СК-1) вдоль Тутаевского шоссе – предопределен требованиями времени, а также ведомственной



принадлежностью к заводу [17]. Если первые гаражи располагались достаточно близко от гражданской застройки или в ее структуре, то с 1930 г. это не допускалось, по «Правилам размещения автомобилей» с целью «упорядочения правил строительства гаражей» [18]. Эти правила исходили из установки, что места стоянок приравнивались к «огнеопасным производственным участкам» и их строительство и эксплуатация должны были отвечать определенным требованиям. Поэтому новые участки под гаражи выбирались достаточно далеко от селитебной застройки и чаще всего в структуре промышленной или буферной зоны – между ней и соцгородками.

Генплан отличается простотой решения. Участок, отведенный под застройку, примыкал непосредственно к Тутаевскому шоссе (проспект Октября) и территории завода СК-1. Здание продольной осью выстроено строго перпендикулярно к магистрали. Данным решением оно закрепляет линию застройки шоссе «офисной частью» комплекса, повышая ее презентабельность и создавая выразительный архитектурный акцент фронта промышленной застройки. Гаражной частью здание углубляется в структуру промышленной зоны (рис. 9).

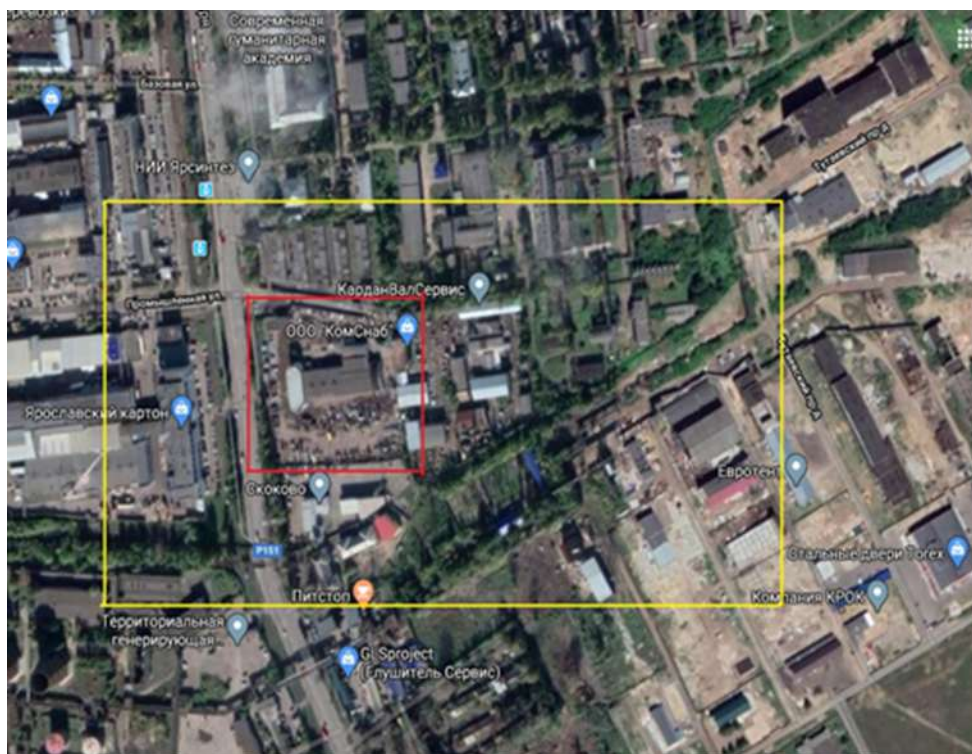
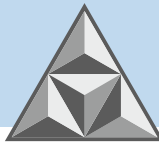


Рис. 9. Фрагмент карты Ярославля с показом территории гаража

Fig. 9. A fragment of a map of Yaroslavl showing the territory of the garage

Архитектурная композиция автогаража выполнена в Т-образной конфигурации. Здание состоит из двух объектов: двухэтажного прямоугольного объема с закругленными торцами и протяженного одноэтажного объема с треугольной крышей (рис. 10, 11).

Характер архитектурного решения в полной мере соответствует установкам-особенностям переходного стиля постконструктивизма: лаконичная геометрия, сопряжение прямоугольной, треугольной и круглых форм частей здания (характерный тип авангардных композиций). При этом оформление фасадов отличается наличием неоклассических деталей, а их расположение на плоскости – жесткой симметрией. Так, на главном фасаде двухэтажной административной части здания в центре композиции выделяется группа въездных ворот, которая обрамляется своеобразными перспективными порталами. Над каждым воротами располагаются по два квадратных окна в перспективном ступенчатом обрамлении. Такими



же «ступенями» оформлены и простенки-ниши между лопатками, обобщая отдельные оконные проемы на двух этажах в единую вертикальную плоскость, напоминающую о лентах вертикального остекления конструктивизма (рис. 12).

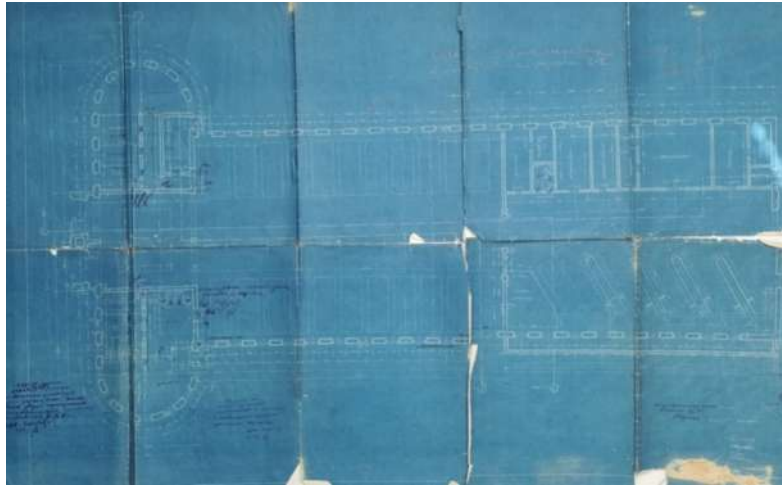


Рис. 10. Чертеж плана первого этажа автогаража завода СК-1 в Ярославле (19.08.1935) [16]

Fig. 10. Drawing of the ground floor plan of the auto garage of the SK-1 plant in Yaroslavl (08/19/1935) [16]

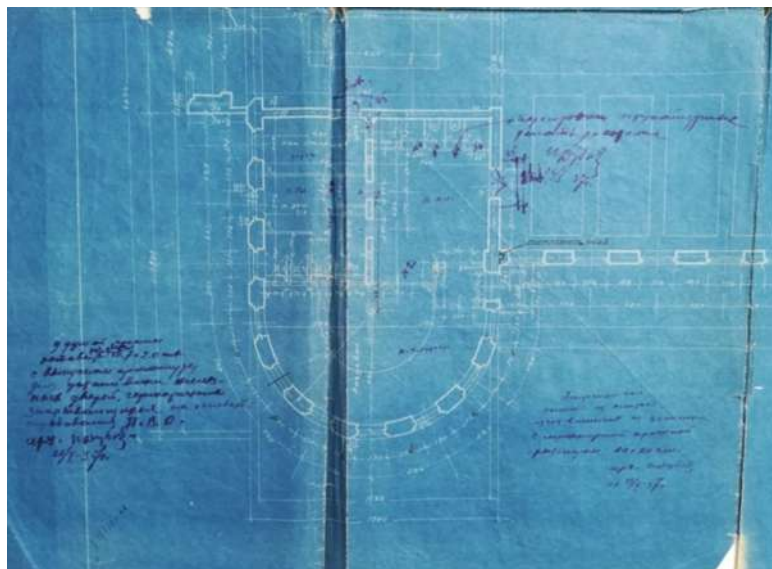


Рис. 11. Фрагмент чертежа плана с исправлениями-указаниями автора-архитектора И.Н. Дубова от 25.01.1937 г. и 13.02.1937 г. [16]

Fig. 11. Fragment of the plan drawing with corrections-instructions of the author-architect I.N. Dubov dated 25.01.1937 and 13.02.1937 [16]

Вертикальная структура лопаток завершается карнизной частью, состоящей из трех полочек простого прямоугольного очертания и валика. Над карнизом в створе с плоскостью лопаток предусмотрена высокая парапетная стена (аттик), опоясывающая здание по периметру с разрывом над местом примыкания одноэтажного объема. Она оформлена сверху двухступенчатым карнизом и перфорирована равномерной цепью маленьких квадратных сквозных проемов в нижней части. В нижней части наружные стены переходят в горизонтальную ленту цоколя, находящегося в общей плоскости с выступающими лопатками.

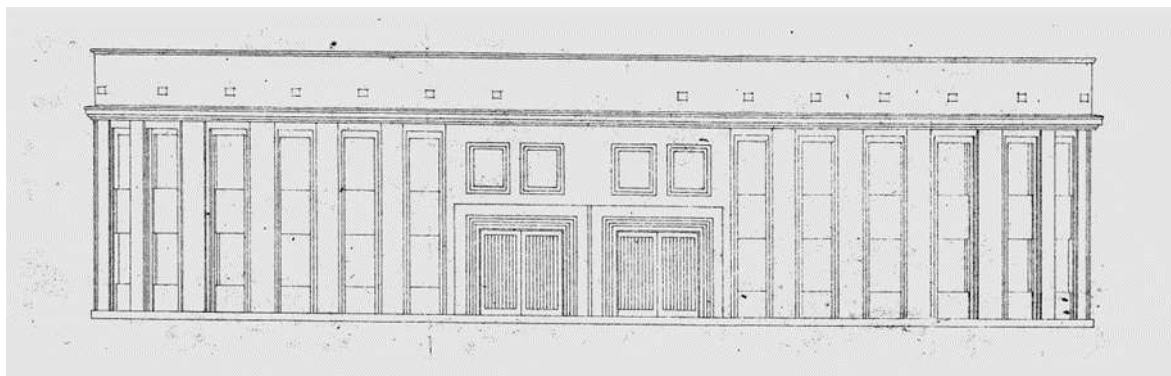


Рис. 12. Чертеж главного фасада автогаража завода СК-1 в Ярославле (чертеж из технического проекта 1938 г.) [16]

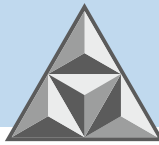
Fig. 12. Drawing of the main facade of the auto garage of the SK-1 plant in Yaroslavl (drawing from the technical project of 1938) [16]

Продольные фасады одноэтажной части гаража были решены практически идентично. Основа композиции – простой метрический ряд простенков и прямоугольных ниш с оконными проемами прямоугольного очертания, повторяющий ритм и размеры простенков двухэтажной части здания. Нижняя часть наружных стен и конфигурация карниза одноэтажной части гаража также аналогичны двухэтажной. Первоначально в проекте был проработан другой вариант архитектурного шаблона карниза – более сложного очертания (рис. 13).



Рис. 13. Архитектурные шаблоны автогаража завода СК-1. Шаблон карниза и пилястр одноэтажной части (архивный чертеж на кальке). Ярославское отделение Ивоблпроектреста. Архитектор И.Н. Дубов [16]

Fig. 13. Architectural templates of the auto garage of the SK-1 plant. Template of the cornice and pilasters of the one-story part (archival drawing on tracing paper). Yaroslavl branch of Ivobproektrest. Architect I.N. Dubov [16]



Торцовый симметричный фасад одноэтажного корпуса, по проекту, сочетал в себе приемы оформления главного и бокового фасадов (рис. 14).

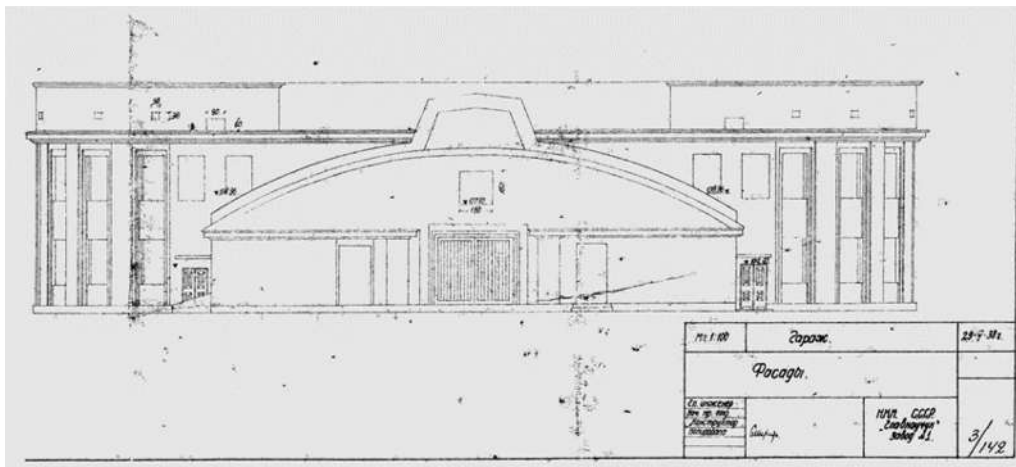


Рис. 14. Чертеж торцового фасада автогаража завода СК-1 в Ярославле (чертеж из технического проекта 1938 г.) [16]

Fig. 14. Drawing of the end facade of the auto garage of the SK-1 plant in Yaroslavl (drawing from the technical project of 1938) [16]

Примечательно, что в его конфигурации с плавными линиями и геометрической структурой просматриваются «отголоски» архитектуры гаража на 25 машин «для нужд двора во время летнего пребывания в Крыму» в Ливадии (1911 г.) (рис. 15), а также здания «Белого гаража» Царскосельского Императорского гаража (архитектор А. К. Миняев, 1913 г.) с похожим стеклянным фонарем верхнего света (рис. 16). По-видимому, редкость подобных зданий, а также неоклассические установки при проектировании заставили автора внимательнее изучить все исторические прототипы и выбрать узнаваемые типологические признаки подобных объектов, чтобы архитектурное решение гаража звучало более убедительно.



Рис. 15. Царская семья около гаража. Ливадия. Фото 1914 г. [19]

Fig. 15. The royal family near the garage. Livadia. Photo of 1914 [19]

Планировочная структура здания практически не читается в архитектуре фасадов, невзирая на яркий «конструктивистский» контраст двух форм корпусов (офисной и производственной частей). Такое «нейтральное» решение архитектуры по отношению к внутренней планировочной структуре помещений в сочетании с конструктивистским формообразованием является одним из отличительных принципов постконструктивизма.

В двухэтажной административной части здания автором был размещен «Сектор управления» – различные службы, помещения для персонала и вспомогательного



назначения. Планировочное решение первого этажа административного корпуса гаража строилось на делении на три части (отсека) – центральную часть (являлась въездным пространством в гараж, где размещалась моечная для машин и предусматривались два дополнительных парковочных места) и две симметричные боковые части, завершающиеся полукруглыми торцами. В них располагались относительно крупные зальные пространства – «шоферская» и раздевалка для работников сектора ремонта и обслуживания. Второй этаж «Сектора управления» решен монообъемным, с коридорно-кабинетной системой и полукруглыми зальными пространствами по торцам (помещениями красного уголка и транспортного отдела). В двухэтажной части здания гаража предусматривались две лестничные клетки, также не выделяющиеся на фасадах здания. Одна из них размещена в левой части закругленного объема, другая – в месте примыкания с одноэтажной частью гаража (с противоположной стороны от главного фасада «сектора управления»). Правая часть первого этажа не сообщалась напрямую со вторым этажом.

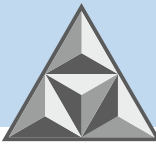


Рис. 16. «Белый гараж» комплекса Царскосельского Императорского гаража, архитектор А.К. Миняев, 1913 г. [20]

Fig. 16. "White garage" of the Tsarskoye Selo Imperial Garage complex, architect A.K. Minyaev, 1913 [20]

Крупный одноэтажный объем гаража состоял из двух планировочных частей, разделенных брандмауэрной стеной и служащих для хранения и ремонта-обслуживания автомобилей. «Сектор хранения автомобилей» на 22 машины проектировали с внутренним проездом шириной 10.0 м. Эта часть связана единым пространством с центральной частью первого этажа двухэтажного объема (где предусматривалась мойка и стоянка для двух автомобилей). Помимо центрального въезда с двумя воротами, были предусмотрено два въезда – через ворота шириной 4.0 м с правой стороны здания рядом с «сектором ремонта» и проем шириной 4.5 м по оси центрального проезда в зону обслуживания и ремонта машин. «Сектор ремонта и обслуживания» с дополнительным местом для хранения машин вмещал четыре «поста» с ремонтными ямами, мастерские, склады и др. помещения вспомогательно-производственного назначения. Снаружи стены в этой зоне по всей длине располагался приямок.

Конструктивное решение и материалы представляют собой достаточно традиционный выбор данного времени. Фундаменты – ленточные бутовые, выполнены из кирпича: двухэтажной части – толщиной в три кирпича (780 мм), одноэтажной – в два с половиной кирпича. Внутренние стены имеют различную толщину – один, полтора и два кирпича, в



зависимости от разделения функциональных зон. Межэтажное перекрытие двухэтажной части проектировали комбинированным (деревянное и железобетонное ребристое (фрагментами)), а чердачное перекрытие – деревянным. Крыша двухэтажного корпуса – односкатная, с организованным водостоками покрытием из железа по обрешетке. Оригинальным являлось перекрытие одноэтажного корпуса, которое выполнялось из деревянных ферм арочного очертания высотой 3.0 м и перекликалось с циркульными очертаниями в плане закруглений двухэтажной части гаража (рис. 17, 18).

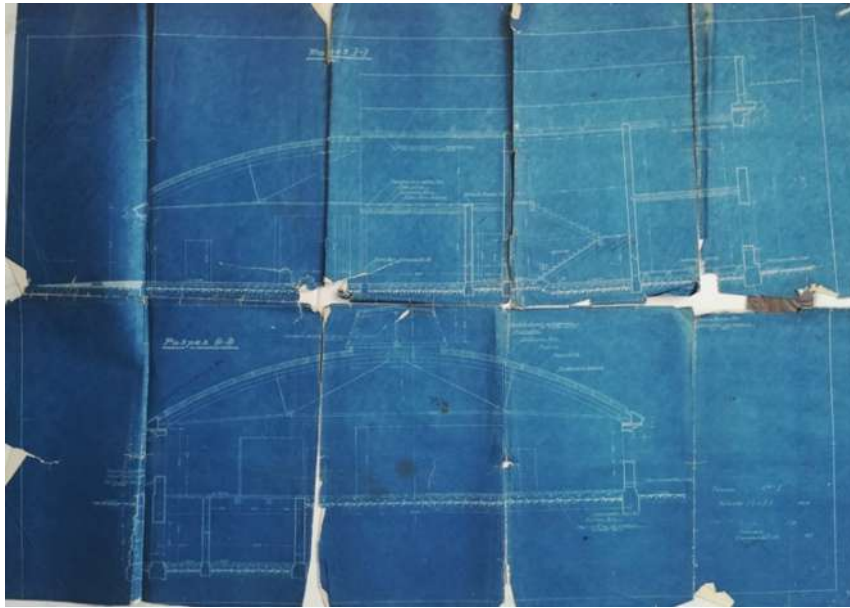


Рис. 17. Разрезы 1-1, 3-3 (чертеж-синька) 05.09.1935 г. [16]

Fig. 17. Sections 1-1, 3-3 (blueprint) 05.09.1935 [16]

По проекту, данные фермы завершались длинной деревянной фонарной надстройкой почти по всей длине корпуса. Покрытие было выполнено «из двух слоев рубероида на клебемассе по сплошной опалубке из досок». Проектные технико-экономические показатели (ТЭП) здания гаража: площадь застройки – 2390 м²; строительная кубатура – 11700 м³.

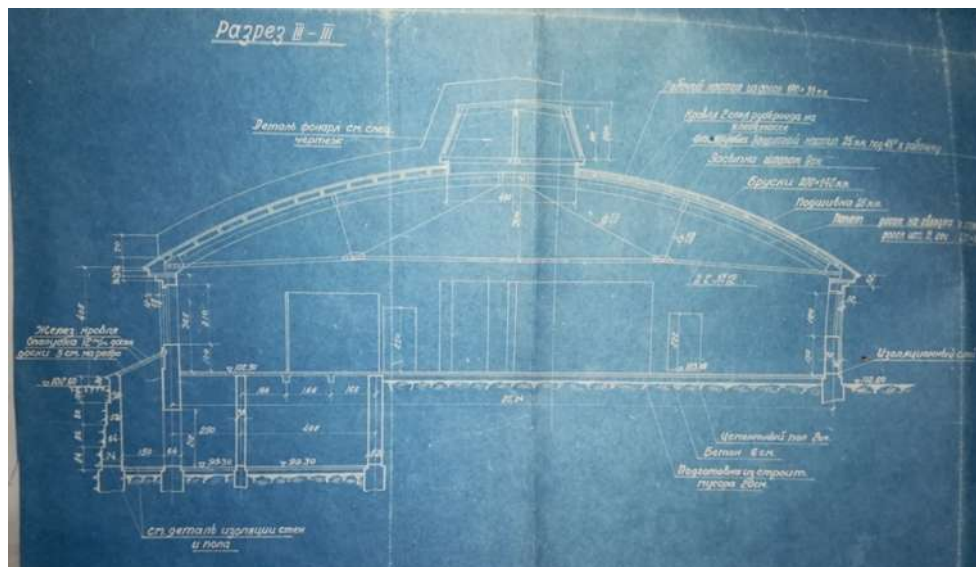


Рис. 18. Разрез 3-3 (фрагмент чертежа-синьки из технического проекта) 23.05.1938 г. [16]

Fig. 18. Section 3-3 (fragment of the blueprint from the technical project) 05.23.1938 [16]



В 1938 г. на территории автогаража было построено небольшое сооружение бензораздаточной станции (см. рис. 19) с «бензиноколонками» – в том же стилистическом ключе, что и основное здание.

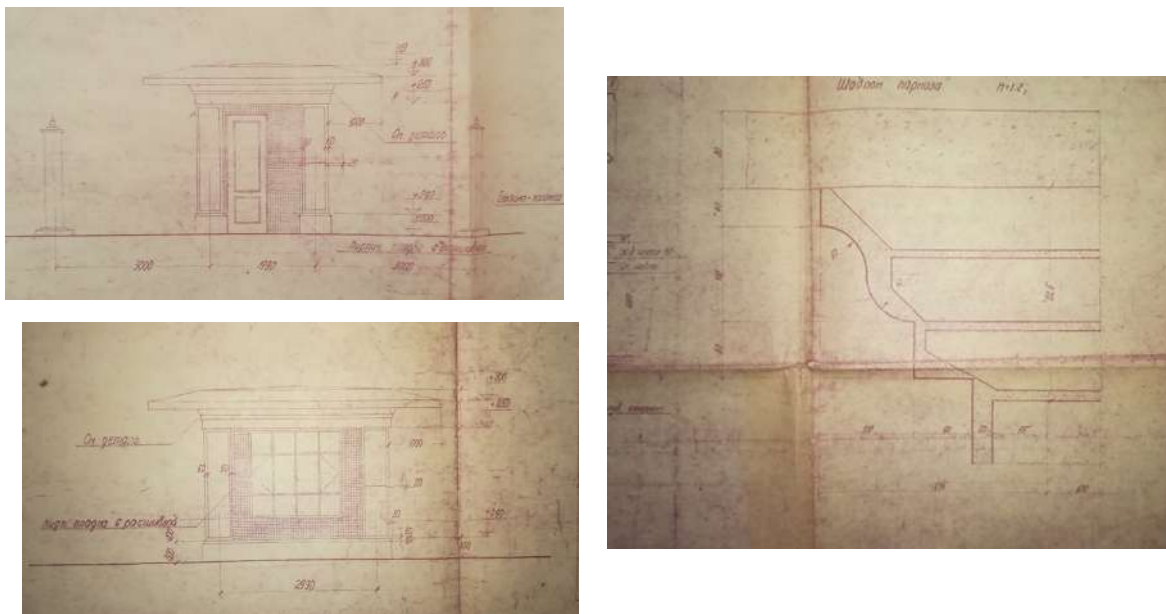


Рис. 19. Фрагменты чертежа бензораздаточной станции, 1938 г. [16]

Fig. 19. Fragments of a drawing of a petrol distribution station, 1938 [16]

Таким образом, горожане могли наблюдать гармоничный ансамбль, образованный вместе с основным офисно-производственным зданием (на современном этапе – утрачено) (рис. 19).

ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАРАЖЕЙ

Последующие этапы проектирования гаражей были обусловлены изданными регламентами и более конкретными установками. В 1939 г. установлены «Единые требования по устройству гаражей и стоянок» при введении Государственных Гаражных правил. В этом документе, наряду с указаниями по строительству и эксплуатации, впервые излагались обязанности заказчиков по возведению гаражей и автостоянок, что сказывалось на предсказуемости и схожести последующих проектных разработок. В послевоенный период гараж в СССР уже не являлся редким и оригинальным видом зданий и сооружений. В 1960 г. вышло Постановление Совета министров РСФСР № 1475 «Об организации кооперативов по строительству и эксплуатации коллективных гаражей – стоянок для автомобилей индивидуальных владельцев». С этого времени строительство гаражей разрешалось только по типовым проектам. Исключения были возможны в тех случаях, когда по особым соображениям требовался индивидуальный проект, но и он проектировался лишь с применением типовых конструктивных элементов [18].

ДИСКУССИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проведенный анализ предпосылок и контекста проектирования, а также архитектурных характеристик здания автогаража завода СК-1 (1935-1938 гг.) представляет характеристики и факты, подтверждающие историко-культурную ценность объекта, опровергая



необоснованное утверждение в ее отсутствии (табл. 1).

Таблица 1. Комплексный анализ историко-культурной ценности здания автогаража завода СК-1 г. Ярославля

Table 1. Complex analysis of the historical and cultural value of the building of the garage of the plant SK-1 in Yaroslavl

№ п/п	Историко-культурная ценность	Характеристики	Факты
1	С исторической точки зрения	Связь объекта с каким-либо историческим событием, значительным для истории России, Ярославской области или города	Строительство завода № 1 по производству синтетического каучука в г. Ярославле – в первой половине 1930-х гг. [21, 22]. Модернизация Ярославского государственного автомобильного завода № 3 (ЯГА 3), налаживание выпуска грузовиков и автобусов. В 1935 году завод выпустил свой 10-тысячный грузовой автомобиль [23]. Появление «парка грузовых автомобилей», которые необходимо было хранить и обслуживать.
		Связь объекта с жизнью и деятельностью выдающихся личностей, имеющих особые заслуги перед Россией, Ярославской областью или городом Ярославлем	Руководителем строительства и первым директором завода СК-1 (1931–1936 гг.) был Лука Трофимович Стреж (1901 – расстрелян 30 декабря 1937), в этот же период был построен и ведомственный автогараж на 25 машин [24]. «Л.Т.Стреж внёс огромный вклад в решение задачи по успешному запуску производства искусственного каучука. Во всесоюзной прессе его приводили в пример как современного, грамотного руководителя. Он обеспечил высокие темпы строительства и пуск завода в исключительно короткие сроки (11,5 мес.). Под его руководством произошло становление предприятия: освоение производства, овладение сложным технологическим процессом получения синтетического каучука, отработка технологических режимов. В 1935 г. за успешное освоение синтетического каучука Стреж премирован наркомом тяжелой промышленности С. Орджоникидзе легковой автомашиной» [25].
2	С градостроительной точки зрения	Признаки градостроительной ценности (формирование линии застройки улиц, элемент градостроительного ансамбля, доминанта, прямая визуальная связь с объектами культурного наследия)	Закрепляет линию застройки проспекта Октября, закрепляет ось треугольного участка территории, примыкающего к территории завода СК, формирует фронт застройки «офисной частью» комплекса, повышая тем самым ее презентабельность, является акцентным элементом застройки пр. Октября (зоны промышленной застройки).
3	С архитектурной точки зрения	Год проектирования и постройки	1935 г., 1938 г. Согласно архивной документации (паспорту здания от 13 мая 1949 г.) указан год постройки – 1935. На проектных чертежах есть даты – 1935 г. Технический проект выполнялся в 1938 г. проектным отделом завода СК-1 Главкаучука НКМ-СССР (ГИПРОКАУЧУК) уже по факту выстроенного здания, включая пояснительную записку от 11.10 1938 г. Согласно записям и пометкам на чертежах и тексту пояснительной записки технического проекта отделочные работы и монтаж разных инженерных систем продолжались вплоть до 1938 г. [16]



№ п/п	Историко-культурная ценность	Характеристики	Факты
		Автор проекта	<p>Проект был разработан организацией «Ярославское отделение Ивоблпроектреста» в 1935 году. Начальник А. П. Боровский.</p> <p>Автор проекта («проектировал») – архитектор И. Н. Дубов [16]</p> <p>С 1925 по 1930 годы Дубов И.Н. проходил обучение на архитектурном факультете высшего художественно-технического института Ленинграда - ВХУТЕИНа (Ленинградского института живописи, скульптуры и архитектуры, позднее с 1932 года Всероссийской академии художеств (ВАХ)). В настоящий момент – Санкт-Петербургский государственный академический институт живописи, скульптуры и архитектуры имени И. Е. Репина.</p> <p>Проект назывался «Авто-гараж на 25 машин».</p>
		Стилевые признаки	<p>Постконструктивизм (переходный стиль от конструктивизма к неоклассицизму)</p> <p>Общее формообразование строится на четкой геометрии элементов композиции, наличии контраста прямоугольной, треугольной и круглых форм, характерном типе плана композиции, напоминающем авангардные решения выдающихся архитекторов XX века.</p> <p>Оформление и «построение» фасадов отличается наличием неоклассических деталей (карниза сложного очертания, аттика, пилястр и др.), а также жесткой симметрией их расположения.</p>
		Уникальные элементы художественно-тектонической пластики, декоративной обработки фасадов	<ul style="list-style-type: none"> - Карнизы оригинального профиля (сохранились авторские чертежи-шаблоны, позволяющие восстановить четкую геометрию); - пропорционально выверенный ритм пилонов с «перспективными» нишами простенков; - удачные пропорции аттика, подчеркивающие геометрию двухэтажного корпуса, создающие иллюзию плоской кровли; - выступающие парные порталы въездов (ворот), подчеркивающие ось симметрии здания и фасада); - фонарная надстройка гаражной части (утрачена, но сохранились подробные авторские чертежи, позволяющие ее восстановить в оригинальном виде)
		Оригинальное планировочное решение	<ul style="list-style-type: none"> - План композиции напоминает авангардные решения выдающихся архитекторов XX века (Вальтер Гропиус, Адольф Мейер): используется контрастное сочетание геометрических форм, ассоциативно напоминающее некий образ техники (машины, самолета и т.д.); - наличие четкого функционального зонирования здания; - наличие удобной схемы передвижения транспорта; - продуманная схема обслуживания транспорта и зоны рабочих-служащих; - хорошая освещенность пространства рабочей зоны



№ п/п	Историко-культурная ценность	Характеристики	Факты
		Сведения об использовании редких и ценных материалов, технологий, конструкций и приемов обработки материалов	- Оригинальная конструкция покрытия гаражной части комплекса (деревянные сегментные фермы) с фонарной надстройкой трапециевидного очертания (была в оригинале, требует натурального исследования, возможно восстановление первоначального решения из технических чертежей); - вентиляция приточно-вытяжная при помощи вентиляторов «Сирокко» и вытяжных каналов с дефлекторами типа «Шанар-Этуаль» (была в оригинале, требует натурального исследования) [16]
		Сведения о наличии элементов архитектурно-художественное оформления интерьеров	Отсутствуют сведения ввиду недопуска на объект, требуется осмотр и оценка объекта
4	Материалы, обосновывающие историко-культурную ценность	С точки зрения искусства, науки, техники, эстетики, этнологии, антропологии, социальной культуры,	См. Список источников статьи

На современном этапе в Ярославле уникальное здание гаража середины 1930-х гг. сохранилось достаточно хорошо, несмотря на разновременные искажения: к одноэтажному корпусу пристроено несколько новых пристроек с различных сторон объема; оконные, дверные проемы и ворота обеих частей объекта растесаны/заложены в соответствии с особенностями эксплуатации объекта; демонтирована фонарная надстройка одноэтажной части, есть и другие утраты-перестройки. В целом же архитектура не повлияла на качественные характеристики объекта, сохранив возможность «обратимости» первоначального облика здания гаража.

ВЫВОДЫ

Данное здание могло бы стать одним из ключевых объектов советского исторического наследия, обогащающих туристическую инфраструктуру Ярославля. Музей советского автомобилестроения, демонстрирующий разные образцы продукции бывшего Ярославского государственного автомобильного завода № 3 (ЯГАЗ), или интерактивный музей ретроавтомобилей разных времен с возможным расширением территории объекта на месте утраченного завода СК – такое функциональное предназначение могло органично соединиться с типологической сущностью объекта, дать ему вторую жизнь и стать уникальным местом притяжения как жителей, так и гостей города.

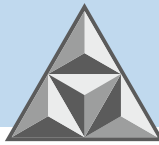
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Создание новой отрасли. URL: http://www.avtomash.ru/pred/muzei_a/1918/1918-3.html [1]
2. Сапрыкина Н.С. *Советская архитектура Ярославля*. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2006. 496 с.
3. Иконников А.В. *Архитектура XX века. Утопии и реальность: в 2 т.* М.: Прогресс-традиция, 2001-2002. Т. 1. 2001. 656 с., Т. 2. 2002. 672 с.
4. Константин Степанович Мельников: *Архитектура моей жизни. Творческая концепция. Творческая практика* / Сост. А.А. Стригалева и И.В. Коккинаки. М.: Искусство, 1985.



311 с.

5. **Хан-Магомедов С.О.** *Архитектура советского авангарда. В 2 кн. Кн. 1. Проблемы формообразования: мастера и течения.* М.: Стройиздат, 1996. 709 с.
6. **Хан-Магомедов С.О.** *Константин Мельников.* М.: Архитектура-С, 2007. 296 с. (Мастера архитектуры).
7. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Бахметьевский гараж // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599294>
8. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Бахметьевский гараж (план) // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599295>
9. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Грузовой гараж МКХ // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599301>
10. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Грузовой гараж МКХ (план) // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1600521>
11. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Гараж Госплана // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599310>
12. *Гаражные истории. Помещение для автомобилей как шедевр архитектуры. Гараж «Интуриста» // Коммерсантъ.* URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599314>
13. **Евгений Чесноков** (2018) «Город на память». 360. Сущёвский Вал. 31 октября 2017 года. Фотопроект «Город на память». 360. Сущёвский Вал. URL: <https://rblgger.ru/2018/12/22/gorod-na-pamyat-360-sushhyovskiy-val/>
14. **Селиванова А.Н.** *Постконструктивизм. Власть и архитектура в 1930-е годы в СССР.* М.: БуксМАрт, 2019. 320 с.
15. Из коллекций Гарвардского художественного музея Фабрика. Выставка Deutscher Werkbund (Немецкая ассоциация ремесленников) 1914 г., Кёльн | Вальтер Гропиус и Адольф Мейер. URL: <https://harvardartmuseums.org/art/219402>
16. *Архивные дела завода СК-1 (чертежи, пояснительные записки) // Личный архив С. И. Тараева*
17. **Гофман В.Л.** *Фабрично-заводская архитектура. Часть 1. Планировка и конструирование зданий и сооружений промышленных предприятий.* 3-е изд. Л.: КУБУЧ, 1932. 580 с.
18. *Рекомендации по проектированию паркингов, гаражей и гаражных комплексов. История нормативных документов по проектированию гаражей // Инвестиционные строительные проекты. Проектирование гаражей.* URL: https://www.project.bulgaria-burgas.ru/project-garage_advice.htm
19. *Как автомобиль огурцом прозвали // Пульс.* URL: <https://pulse.mail.ru/article/kak-avtomobil-ogurcom-prozvali-1784568267497959952-8224298886960722265/>
20. *Царскосельский Императорский гараж // Парки Царского Села и окрестностей. Путеводитель. 38.* URL: [http://xn----7sbb4bxah.xn--p1ai/38-Tsarskiy_garag_Pushkin.html#!prettyPhoto\[pp_gal\]/4/](http://xn----7sbb4bxah.xn--p1ai/38-Tsarskiy_garag_Pushkin.html#!prettyPhoto[pp_gal]/4/)
21. **Митькова Т.Н. Первенец СК.** *Из истории Ярославского завода синтетического каучука.* Ярославль: Верх.-Волж. кн. изд-во, 1965. 120 с.



22. **Рязанцев Н.П., Салова Ю.Г.** *История Ярославского края (1930–2005 гг.): Учебное пособие для учащихся средних общеобразоват. учеб. заведений.* Ярославль, Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2005. 277 с.
23. Свободная энциклопедия. Ярославский моторный завод // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ярославский_моторный_завод
24. **Долгова О.В.** *Стреж Лука Трофимович* // Ярkipедия. URL: <https://yarwiki.ru/article/301/strezh-luka-trofimovich>
25. Завод синтетического каучука №1 (СК-1) // Ярkipедия. URL: <https://yarwiki.ru/article/29/zavod-sinteticheskogo-kauchuka-1-sk-1>

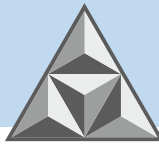
Поступила в редакцию 10.03.2022

Одобрена после рецензирования 17.03.2022

Принята к опубликованию 24.03.2022

REFERENCES

1. Avtomash.ru (2020) *Creation of a new industry* [online]. Available at: http://www.avtomash.ru/pred/muzei_a/1918/1918-3.html (in Russian).
2. **Saprykina, N.S.** (2006) *Soviet architecture of Yaroslavl*. Yaroslavl: Izd-vo YAGTU (in Russian).
3. **Ikonnikov, A.V.** (2001-2002) *Architecture of the twentieth century. Utopias and reality: in 2 vols.* М.: Progress-tradiciya, (in Russian).
4. **Strigaleva, A.A. & Kokkinaki, I.V.** (Eds) (1985) *Konstantin Stepanovich Melnikov: The architecture of my life. Creative concept. Creative practice.* М.: Iskusstvo, 311 p. (in Russian).
5. **Han-Magomedov, S.O.** (1996). *Architecture of the Soviet avant-garde. In 2 books 1. Problems of shaping: masters and currents.* М.: Strojizdat (in Russian).
6. **Han-Magomedov, S.O.** (2007) *Konstantin Melnikov.* М.: Arhitektura-S (in Russian).
7. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Bakhmetyevsky garage* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599294> (in Russian).
8. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Bakhmetyevsky garage (plan)* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599295> (in Russian).
9. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Cargo garage MKH* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599301> (in Russian).
10. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Cargo garage MKH (plan)* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1600521> (in Russian).
11. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Gosplan garage* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599310> (in Russian).
12. Kommersant. (2020) *Garage stories. A room for cars as a masterpiece of architecture. Intourist garage* [online]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/3637878#id1599314> (in Russian).
13. **Evgenij Chesnokov** (2018) "The city for memory". 360. Sushchevsky Val. October 31, 2017. Photo project "City for memory". 360. Sushchevsky Shaft [online]. Available at:



- <https://rblogger.ru/2018/12/22/gorod-na-pamyat-360-sushhyovskiy-val/> (in Russian).
14. **Selivanova, A.N.** (2019) *Postconstructivism. Power and architecture in the 1930s in the USSR*. M.: BuksMArt (in Russian).
 15. From the collections of the Harvard Art Museum Factory. Exhibition Deutscher Werkbund (German Association of Artisans) 1914, Cologne | Walter Gropius and Adolf Meyer [online]. Available at: <https://harvardartmuseums.org/art/219402>
 16. Archive files of the SK-1 plant (drawings, explanatory notes). *The personal archive of S.I. Taraev* (in Russian).
 17. **Gofman, V.L.** (1932) *Factory architecture. Part 1. Planning and construction of buildings and structures of industrial enterprises*. 3th edn. L.: KUBUCH (in Russian).
 18. Investment construction projects. Garage design. (2020) *Recommendations for the design of arking lots, garages and garage complexes. The history of regulatory documents on garage design* [online]. Available at: https://www.project.bulgaria-burgas.ru/project-garage_advice.htm (in Russian).
 19. Pulse. (2021) *How the car was nicknamed cucumber* [online]. Available at: <https://pulse.mail.ru/article/kak-avtomobil-ogurcom-prozvali-1784568267497959952-8224298886960722265/> (in Russian).
 20. Parks of Tsarskoye Selo and the surrounding area. (2020) Travel guide. 38. Tsarskoye Selo Imperial Garage [online]. Available at: [http://a-парк.пф/38-Tsarskiy_garag_Pushkin.html#!prettyPhoto\[pp_gal\]/4/](http://a-парк.пф/38-Tsarskiy_garag_Pushkin.html#!prettyPhoto[pp_gal]/4/) (in Russian).
 21. **Mit'kova, T.N.** (1965) *The firstborn of the UK. From the history of the Yaroslavl Synthetic Rubber Plant*. Yaroslavl: Verh.-Volzh. kn. izd-vo (in Russian).
 22. **Ryazancev, N.P. & Salova, Yu.G.** (2005) *History of the Yaroslavl Region (1930-2005)*. Yaroslavl, Rybinsk: OAO « Rybinskij Dom pechati» (in Russian).
 23. Wikipedia. *Yaroslavl Motor Plant*. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Ярославский_моторный_завод
 24. **Dolgova, O.V.** (2020) Strezh Luka Trofimovich, *YArkippediya* [online]. Available at: <https://yarwiki.ru/article/301/strezh-luka-trofimovich> (in Russian).
 25. Yarkippediya. (2020) *Synthetic rubber Plant No. 1 (SK-1)* [online]. Available at: <https://yarwiki.ru/article/29/zavod-sinteticheskogo-kauchuka-1-sk-1> (accessed 11 June 2022) (in Russian).

Received 10.03.2022

Approved after reviewing 17.03.2022

Accepted 24.03.2022

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



ТОМ 3, ВЫПУСК 2, 2022 | VOL. 3, ISSUE 2

