

ISSN ONLINE 2782-1919

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



**Том 3  
выпуск**

**3  
2022**

**VOL. 3  
ISSUE 3**

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 3**

**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)<br>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 | <a href="http://comincon.ru">http://comincon.ru</a>  |

Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

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

YAROSLAVL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

# **SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Established in November 2020, published quarterly

**Volume 3**

**Issue 3**

**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)<br>P.B. RAZGOVOROV (d.en.s, prof., Yaroslavl) |
| Executive secretary:     | E.S. EGOROV  |

### INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### Строительные конструкции, здания и сооружения

---

*Мамонтов А.А., Ярцев В.П., Монастырев П.В.*

Оценка температурно-влажностных и теплотехнических показателей каркасно-панельных стен с трехлетним периодом эксплуатации

7

*Mamontov A.A., Yartsev V.P., Monastyrev P.V.*

Assessment of temperature-humidity and heat engineering indicators of frame-panel walls with a three-year period of operation

---

*Fedosov S.V., Zaitseva I.A., Fedoseev V.N., Emelin V.A.*

The potential of the ambient air and the functionality of heat and mass transfer of the freon circuit of the air heat pump

16

*Федосов С.В., Зайцева И.А., Федосеев В.Н., Емелин В.А.*

Потенциал окружающего воздуха и функциональные возможности теплообмена фреоновой контура воздушного теплового насоса

---

### Строительные материалы и изделия

---

*Nagaev I.F., Ilyin D.A., Goglev, I.N.*

Investigation of the resistance of profiled membranes to root – proof and aggressive chemicals

29

*Нагаев И.Ф., Ильин Д.А., Гоглев И.Н.*

Исследование стойкости профилированных мембран к прорастанию корней и агрессивным химическим веществам

---

*Коновалова В.С.*

Взаимосвязь изменений структурно-фазового состава и прочности гидрофобизированного бетона при воздействии хлоридсодержащей среды

41

*Konvalova, V.S.*

The relationship of changes in the structural-phase composition and strength of hydrophobized concrete under the influence of a chloride-containing medium

---

---

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

---

*Кулижников А.М.*

Неразрушающие георадиолокационные методы мониторинга состояния автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне

56

*Kulizhnikov A.M.*

Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone

---

## **Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства**

---

*Мохов А.И., Мохова Л.А.*

Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 3

70

*Mokhov A.I., Mokhova L.A.*

Modeling the research direction in the construction of a modern university: part 3

---

## **Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности**

---

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

Architectural features of workshop no. 8 at the Dagdiesel Caspian Factory, Republic of Dagestan, the Russian Federation

87

*Личак Д.А., Личак Н.А.*

Архитектурные особенности цеха № 8 каспийского завода «Дагдизель», Республика Дагестан, Российская Федерация

---



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 692.232.7

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_7

# Оценка температурно-влажностных и теплотехнических показателей каркасно-панельных стен с трехлетним периодом эксплуатации

**А.А. Мамонтов, В.П. Ярцев, П.В. Монастырев**

Александр Александрович Мамонтов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация  
*sansanich1409@yandex.ru*

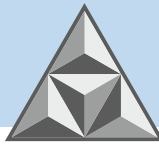
Виктор Петрович Ярцев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация  
*jarcev21@rambler.ru*

Павел Владиславович Монастырев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация  
*monastyrev68@mail.ru*





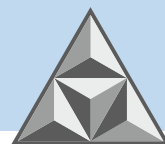
*Посредством натурных испытаний каркасно-панельных стен с различными утеплителями, выполненных в течение трех отопительных периодов, обнаружено трехкратное увеличение влажности беспрессового пенополистирола и рост его теплопроводности на 23%. Эффективность применения данного материала в таких ограждениях на 20% ниже по сравнению с минераловатными и пенополистирольными экструзионными плитами.*

**Ключевые слова:** влажность, испытания натурные, стены каркасно-панельные, температура, теплопроводность, утеплитель, энергозатраты

**Для цитирования:**

**Мамонтов А.А., Ярцев В.П., Монастырев П.В.** Оценка температурно-влажностных и теплотехнических показателей каркасно-панельных стен с трехлетним периодом эксплуатации // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 7-15. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_7



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_7

# Assessment of temperature-humidity and heat engineering indicators of frame-panel walls with a three-year period of operation

**A.A. Mamontov, V.P. Yartsev, P.V. Monastyrev**

Alexander A. Mamontov

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

*sansanich1409@yandex.ru*

Victor P. Yartsev

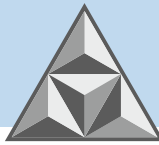
Tambov State Technical University, Tambov, Russia

*jarcev21@rambler.ru*

Pavel V. Monastyrev

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

*monastyrev68@mail.ru*



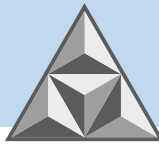
*By means of full-scale tests of frame-panel walls with a various insulation materials, performed during three heating periods, a 3-fold increase in the humidity of expanded polystyrene foam and an increase in its thermal conductivity by 23% was found. Its using efficiency in such panels is 20% lower compared to mineral wool slabs and extruded polystyrene slabs.*

**Key words:** humidity, full-scale tests, frame-panel walls, temperature, thermal conductivity, insulation, energy consumption

**For citation:**

**Mamontov, A.A., Yartsev, V.P. & Monastyrev, P.V. (2022)** Assessment of temperature-humidity and heat engineering indicators of frame-panel walls with a three-year period of operation, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 7-15 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022) (in Russian).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_7



## ВВЕДЕНИЕ

Строительство энергоэффективных индивидуальных домов с каркасно-панельными ограждающими конструкциями в настоящее время получает всё большее распространение не только за рубежом, но и на территории нашей страны [1]. Этому способствуют малая продолжительность, относительная простота и дешевизна строительно-монтажных работ, обусловленные высокой степенью заводской готовности конструкций. Производственный контроль качества и ремонтпригодность панелей значительно увеличивают срок службы состоящего из них дома. В сравнении с традиционными ограждениями каркасно-панельные стены, характеризующиеся высокими теплоизоляционными качествами, имеют меньшую толщину, что при одинаковом пятне застройки увеличивает полезную площадь помещений.

В отечественной практике строительства домов наибольшее применение нашли каркасные панели с теплоизоляционными плитами из минеральной ваты, беспрессового или экструзионного пенополистирола. Каждый из указанных материалов имеет свои достоинства и недостатки, которые проявляются в той или иной степени в зависимости от множества факторов [2-4]. В связи с этим существует проблема выбора утеплителя, обеспечивающего наибольшую теплотехническую эффективность и эксплуатационную надежность каркасно-панельных ограждающих конструкций.

Следует полагать, что принятие верного решения должно основываться не только на основании установленных в лабораторных условиях значениях показателей качества материалов, но и с учетом конструктивных решений ограждений и протекающих при их эксплуатации процессов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В 2013 году на территории исследовательского полигона «Испытания строительных материалов и ограждающих конструкций в натуральных условиях эксплуатации» кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета было возведено экспериментальное строение с каркасно-панельными ограждающими конструкциями (рис. 1). Стены объекта состоят из деревянного каркаса, обшитого листами гипсокартона с внутренней и декоративными цементно-стружечными плитами с внешней стороны. В качестве утеплителей в стенах установлены минераловатные, пенополистирольные беспрессовые и экструзионные плиты. Толщина теплоизоляционных слоев определялась на основании теплотехнического расчета ограждений, выполненного с учетом заявленных производителями характеристик материалов, и составила 150 мм для минераловатного и 100 мм для пенополистирольного утеплителя.

В течение трех отопительных периодов внутри объекта посредством масляного радиатора с термостатом и датчиком температуры, а также автоматического увлажнителя воздуха поддерживался заданный температурно-влажностный режим. За температурой и влажностью воздуха внутри и снаружи строения наблюдали посредством погодной станции с дистанционным датчиком, размещенным на теневой стороне объекта. В фиксированных точках стеновых ограждений на глубине 2 см от внутренней и внешней поверхностей теплоизоляционного слоя были установлены термодары открытого типа для систематического измерения температуры. Относительная влажность и теплопроводность утеплителей определялись на отбираемых образцах, устанавливаемых на прежнее место после испытания. Расход затрачиваемой на отопление электроэнергии



рассчитывался по показаниям счетчика. На основе полученных данных проводился сравнительный анализ энергетической эффективности применения различных утеплителей в каркасно-панельных стеновых ограждениях [5].



**Рис. 1.** Общий вид экспериментального строения

**Fig. 1.** General view of the experimental structure

В течение четвертого отопительного периода проводились аналогичные испытания, в ходе которых дополнительно планировалось определить характер изменений показателей теплоизоляционных материалов и ограждений в целом, вызванных трехлетней эксплуатацией объекта.

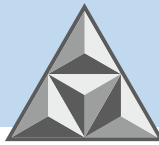
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения показали, что при относительно постоянной влажности наружного воздуха (65%) влажность внутреннего уменьшилась на 45% в течение первых 5 недель испытаний и осталась такой до конца отопительного периода. Снижение влажности внутреннего воздуха вызвано интенсивной работой отопительного прибора и отсутствием в строении оконных проемов и принудительной вентиляции.

Исследование влажности утеплителей в стенах выявило наибольшее её значение (10%) в слое из беспрепоровых пенополистирольных плит ПСБ-С-15. Это в три раза больше влажности, зафиксированной в первый год эксплуатации объекта. Рост влажности, вероятно, вызван увеличением объема открытой пористости, что обусловлено деструкцией пенополистирола, происходящей в течение нескольких лет [6]. Влажность минераловатных и экструзионных пенополистирольных плит в первые восемь недель не превышала 3%, а затем уменьшилась до 1% (рис. 2).

При исследовании температурного режима измерялись температуры воздуха внутри и снаружи строения, а также температуры поверхностей теплоизоляционных слоев в стенах (рис. 3). В период с установившимися отрицательными температурами средняя температура внутреннего воздуха составляла 19 °С, а наружного – минус 6 °С. Средняя температура теплоизоляционных слоев находилась в пределах от 10 до 18 °С. Минимальное значение наблюдалось в минераловатных плитах с гидро-ветрозащитной мембраной, а максимальное – в пенополистирольных экструзионных плитах.

По результатам измерения температур на противоположных гранях теплоизоляционных слоев определялась величина их удельного перепада (°С/м), среднее значение которой составило: в слое из минераловатных плит с гидро-ветрозащитной мембраной - 101; в слое из минераловатных плит - 97; в слое из экструзионного пенополистирола - 123; в слое из

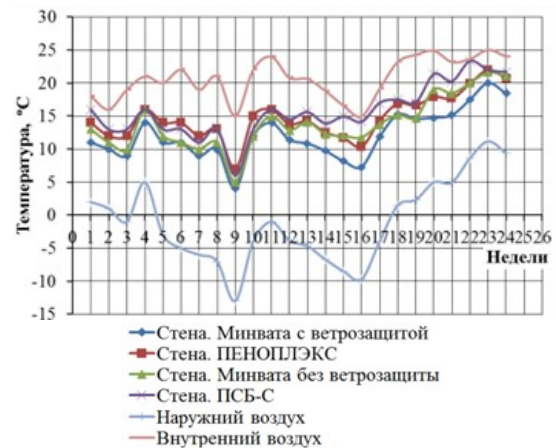


беспрессового пенополистирола - 67. Минимальным перепадом отличалась изоляция из беспрессового пенополистирола ПСБ-С-15, что обусловлено его повышенной эксплуатационной влажностью и наибольшим значением коэффициента теплопроводности. Максимальное значение для экструзионного пенополистирола является весьма характерным, учитывая его наименьшую из рассматриваемых утеплителей влажность и теплопроводность.



**Рис. 2.** Изменение относительной влажности утеплителей в течение отопительного периода

**Fig. 2.** Change in relative humidity of insulation during the heating period



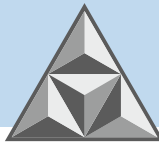
**Рис. 3.** Изменение температуры воздуха внутри и снаружи строения, температуры утеплителей в течение отопительного периода

**Fig. 3.** Change in air temperature inside and outside the building, insulation temperature during the heating period

Приведенное сопротивление теплопередаче каркасно-панельных стен при их одинаковой конструкции и разных утеплителях определяется в большей степени термическим сопротивлением последних. Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя прямо пропорционально перепаду температур по его толщине [7]. На основании полученных результатов можно заключить, что по сравнению со стеной, утепленной беспрессовым пенополистиролом, сопротивление теплопередаче стены с минераловатными плитами больше в 1.5 раза, а стены с экструзионным пенополистиролом - в 1.8 раза.

Ежемесячные измерения коэффициента теплопроводности образцов, извлекаемых из теплоизоляционных слоев стеновых ограждений, показали стабильность их теплофизических характеристик в течение отопительного периода. Наибольшее значение, составляющее в среднем 0.054 Вт/(м·К), отмечалось у беспрессового пенополистирола ПСБ-С-15. Для изоляции из минераловатных плит коэффициент теплопроводности составил 0.037 Вт/(м·К). Минимальной теплопроводностью (0.034 Вт/(м·К)) отличалась изоляция из экструзионного пенополистирола.

Результаты натурных испытаний, выполненных спустя три года, выявили увеличение на 23% теплопроводности беспрессового пенополистирола. За такой же период эксплуатации теплопроводность минераловатных плит и экструзионного пенополистирола увеличилась всего на 3%. Подобное негативное изменение характеристик беспрессового пенополистирола обусловлено его низкой плотностью ( $7.2 \text{ кг/м}^3$ ) и особенностями макростроения, что необходимо учитывать при проектировании каркасно-панельных стен с его применением [8]. Данный материал характеризуется нестабильностью свойств во времени, что обусловлено, в первую очередь, особенностями его макростроения, которое оказывает преобладающее влияние на свойства изделий [9]. В этом плане применение плит из экструзионных материалов, отличающихся высокой стабильностью свойств во времени [10], является предпочтительным.



В течение отопительного периода фиксировались показания счетчика потребления электроэнергии с целью определения её расхода на отопление экспериментального строения с площадью 9 м<sup>2</sup>. Среднее значение суточного расхода электроэнергии составило 14 кВт·ч, а полное значение энергозатрат за последний отопительный период - 2243 кВт·ч.

## ВЫВОДЫ

Учитывая полученное экспериментально соотношение величин приведенных сопротивлений теплопередачи стен, а также соответствующее распределение между ними тепловых потерь, можно констатировать, что утепление каркасно-панельных стен беспрессовым пенополистиролом низкой плотности сопровождается увеличенным на 20% потреблением энергии на отопление объекта по сравнению с минераловатными и экструзионными плитами. В каркасных ограждающих конструкциях рекомендуется применять плиты беспрессового пенополистирола с плотностью не менее 35 кг/м<sup>3</sup> либо использовать плиты экструзионного пенополистирола, отличающиеся равномерной мелкоячеистой и закрытопористой структурой, стабильностью свойств во времени.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Zaborova D.D., Musorina T.A.** Environmental and energy-efficiency considerations for selecting building envelopes // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No 10. P. 5914. URL: <https://doi.org/10.3390/su14105914>
2. **Ivantsov A.I.** Comparative longevity of enclosing structures depending on climatic conditions and architectural and constructive characteristics of buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. P. 022077. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022077
3. **Gamayunova O., Musorina T., Petrichenko M., Goremikins V.** Warming of panel houses in various climatic zones // *Proceedings of ECEE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering*. Cham, 2020. P. 253-263. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3\_22
4. **Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan, Rizwan Ahmed Memon.** Comparative analysis of building insulation material properties and performance // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 131. P. 110038. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
5. **Ярцев В.П., Струлев С.А., Мамонтов А.А.** Обоснование выбора теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций каркасно-щитового здания // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 1 (10). С. 15-20.
6. **Мамонтов С. А., Киселева О.А.** Влияние старения на структуру и свойства пенополистирола // *Пластические массы*. 2011. № 5. С. 3-5.
7. **Фокин К.Ф.** Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
8. **Mihlayanlar E., Dilmaç Ş., Güner A.** Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity // *Materials & Design*. 2008. Vol. 29(2). P. 344-352. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.032>
9. **Егорова, Е.И., Коптенармусов В.Б.** Основы технологии полистирольных пластиков. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. 272 с.
10. **Аношин Н.М., Аракелян А.С., Беноганян Н.В. [и др.]**. Решение задач в области энергоэффективности. Екатеринбург: Изд-во «Аграф». 2019. 214 с.



Поступила в редакцию 23.08.2022

Одобрена после рецензирования 02.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

## REFERENCES

1. **Zaborova, D.D. & Musorina, T.A.** (2022) Environmental and energy-efficiency considerations for selecting building envelopes, *Sustainability*, 14(10), pp. 5914 [online]. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14105914>
2. **Ivantsov, A.I.** (2018) Comparative longevity of enclosing structures depending on climatic conditions and architectural and constructive characteristics of buildings, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 022077. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022077.
3. **Gamayunova, O., Musorina, T., Petrichenko, M. & Goremikins, V.** (2020) Warming of panel houses in various climatic zones, *Proceedings of EECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham.*, pp. 253-263. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3\_22.
4. **Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan & Rizwan Ahmed Memon** (2020) Comparative analysis of building insulation material properties and performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110038 [online]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
5. **Yarcev, V.P., Strulev, S.A. & Mamontov, A.A.** (2015) Justification of the choice of heat-insulating materials for protecting designs of the frame and panel board building, *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*, 1(10), pp. 15-20 (in Russian).
6. **Mamontov, S.A. & Kiseleva, O.A.** (2011) The influence of the ageing process on the structure and characteristics of the polysterene foam, *Plasticheskie massy*, (5), pp. 3-5 (in Russian).
7. **Fokin, K.F.** (1973) *Construction heat engineering of enclosing parts of buildings*. M.: Stroyizdat (in Russian).
8. **Mıhlayanlar, E., Dilmaç, Ş. & Güner, A.** (2008) Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity. *Materials & Design*. 29(2), pp. 344-352 [online]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.032>
9. **Egorova, E.I. & Koptenarmusov, V.B.** (2005) *Fundamentals of polystyrene plastics technology*. St. Petersburg: HIMIZDAT (in Russian).
10. **Anoshin, N.M., Arakelyan, A.S. Benogonyan, N.V. & [et al.]**. (2019) *Solving problems in the field of energy efficiency*. Yekaterinburg: Publishing house "Agraf" (in Russian).

Received 23.08.2022

Approved after reviewing 02.09.2022

Accepted 15.09.2022





RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_16

# The potential of the ambient air and the functionality of heat and mass transfer of the freon circuit of the air heat pump

**S.V. Fedosov<sup>1</sup>, I.A. Zaitseva<sup>2</sup>, V.N. Fedoseev<sup>2</sup>, V.A. Emelin<sup>2</sup>**

Sergey V. Fedosov

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

*fedosov-cademic53@mail.ru*

Irina A. Zaitseva

<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

*75zss@rambler.ru*

Vadim N. Fedoseev

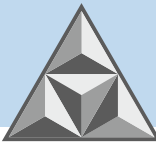
<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

*4932421318@mail.ru*

Victor A. Emelin

<sup>2</sup>Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

*emelin.viktor@inbox.ru*



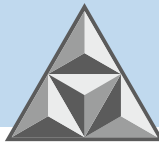
*Air is one of the most promising sources of extraction of scattered thermal energy from the surrounding space. An energy-saving and environmentally efficient technology for obtaining dissipated thermal energy from the ambient air and converting it into a form of energy convenient for use is an air heat pump (AHP), which can extract heat even at -30 °C. The heat pump does not create thermal energy, but pumps it from the environment for heating buildings, water or air. This process takes place only with the supply of external energy (usually electricity) to the heat pump. The electricity consumed by the AHP compressor is only used to move the freon in a closed circuit consisting of copper tubes with different cross sections. Determination of the volume of incoming air to the evaporator of the air heat pump is a particularly important parameter for controlling the processes of heat and mass transfer and improving the performance of the air heat pump system (AHPS). This knowledge allows us to substantiate the establishment of computational mathematical models for predicting the required thermal power (performance) of a heat pump.*

**Key words:** air heat pump, heat energy transfer, air consumption

**For citation:**

**Fedosov, S.V., Zaitseva, I.A., Fedoseev, V.N. & Emelin, V.A. (2022)** The potential of the ambient air and the functionality of heat and mass transfer of the freon circuit of the air heat pump, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 16-28 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_16



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.039.534

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_16

# Потенциал окружающего воздуха и функциональные возможности теплообмена фреонового контура воздушного теплового насоса

**С.В. Федосов<sup>1</sup>, И.А. Зайцева<sup>2</sup>, В.Н. Федосеев<sup>2</sup>, В.А. Емелин<sup>2</sup>**

Сергей Викторович Федосов

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Москва, Российская Федерация  
*fedosov-academic53@mail.ru*

Ирина Александровна Зайцева

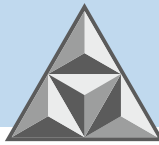
<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация  
*75zss@rambler.ru*

Вадим Николаевич Федосеев

<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация  
*4932421318@mail.ru*

Виктор Александрович Емелин

<sup>2</sup>Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация  
*emelin.viktor@inbox.ru*



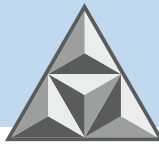
*Одним из наиболее перспективных источников извлечения рассеянной тепловой энергии из окружающего пространства является воздух. Энергосберегающей и экологически эффективной технологией получения рассеянной тепловой энергии из окружающего воздуха и преобразования ее в удобную для использования форму энергии является воздушный тепловой насос (АНР), который может извлекать тепло даже при температуре  $-30$  °С. Тепловой насос не создает тепловую энергию, а перекачивает ее из окружающей среды в помещение для обогрева и нагрева воды или воздуха. Этот процесс происходит только при подаче внешней энергии (обычно электроэнергии) на тепловой насос. Электроэнергия, потребляемая компрессором АНР, расходуется только на перемещение фреона по замкнутому контуру, состоящему из медных трубок различного поперечного сечения. Определение объема поступающего воздуха в испаритель воздушного теплового насоса является особенно важным параметром для управления процессами тепло- и массообмена и повышения производительности системы воздушного теплового насоса (АНРPS). Эти знания позволяют нам обосновать создание вычислительных математических моделей для прогнозирования требуемой тепловой мощности (производительности) теплового насоса.*

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, передача тепловой энергии, расход воздуха

**Для цитирования:**

**Федосов С.В., Зайцева И.А., Федосеев В.Н., Емелин В.А.** Потенциал окружающего воздуха и функциональные возможности тепломассообмена фреонового контура воздушного теплового насоса // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 16-28. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_16



## INTRODUCTION

Improving the energy efficiency of heat pump technologies using alternative types of energy is now becoming the main task of implementing the strategy of energy, resource conservation and environmental safety. On the one hand, the development and application of innovative structural materials and devices allows to expand the range of power and scope of application of air heat pumps, on the other hand, to ensure their higher comprehensiveness design and increase operational productivity [1-4].

## THE EXPERIMENTAL PART

The potential of the ambient air, which can be effectively used by an air heat pump into useful heat (heating, hot water supply), is inexhaustible.

It is known that the heat transfer coefficient in calm air ranges from 4 to 5 W/(m<sup>2</sup>·K), and with intensive air blowing of heat transfer surfaces, it can reach up to 30-40 W/(m<sup>2</sup>·K) [5].

The question arises: how this amount of thermal energy from the surrounding air could be achieved?

The authors formulated a scientific and practical task: to calculate the volume (flow rate) of air that comes from the surrounding space to determine the required amount of thermal energy at the outlet of an air heat pump.

However, the idea of the necessity of engineering calculations of the ambient air potential arose on the basis of the idea of energy conversion put forward by P.K. Oshchepkov, whose hypothetical method of obtaining energy based on the movement and concentration of heat energy scattered in the surrounding space<sup>1</sup>.

The electricity consumed by the compressor of the air heat pump is not spent directly on heating, but is spent on "concentration" and "transfer" of scattered energy from a low-potential heat source. These physical phenomena are formed in the air heat pump, on the one hand, by a retracting fan, and using low-potential energy from the combination of electromagnetic waves of the surrounding air arising in this process and when the aggregate state of the working fluid (freon) of the freon circuit changes, which the compressor provides, giving some of its thermal energy [6-9].

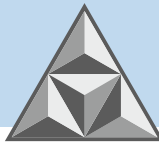
As a rule, it is rather difficult to estimate how much the heat pump transfers "scattered" heat from the air.

Firstly, because of the inconstancy of the parameters of air itself, e.g. change of its heat capacity when the temperature changes, etc. Air, as a low-temperature heat source, has the following properties: high heat capacity; maximum high and constant temperature; easy availability of heat without disturbing the natural state of the source; absence of impurities that can damage the pump elements [10-12].

Secondly, the operation of the air-source heat pump is based on the thermodynamic cycle of the freon circuit, the efficiency of which is largely determined by a rational choice of working fluid (refrigerant) and the ratio of the thermal properties of the refrigerant, both in the liquid and in the vapour phase [13].

Thirdly, the hydromechanical characteristics of the flows of the liquid and gas (steam) phases, and the process of two-phase nonequilibrium flows in which the evaporation and condensation of the refrigerant occurs, are very important. Naturally, in order to realize the effective operation of the freon circuit, it is necessary to establish working conditions for its phase transition from a liquid state

<sup>1</sup> Energy conversion [online]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki>



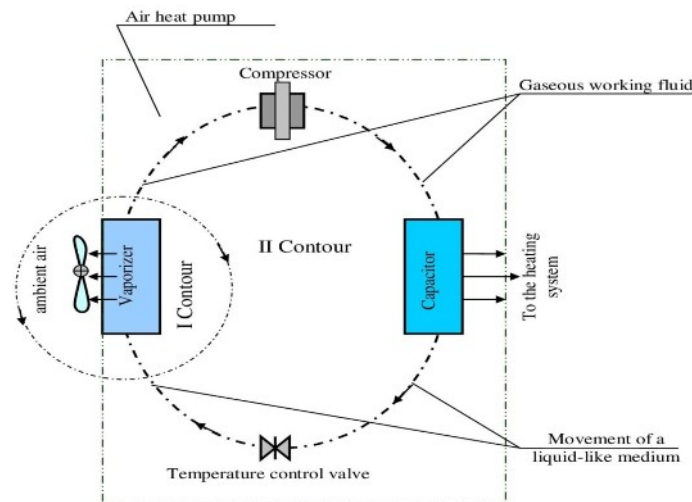
to a vapor state through the heat exchange process of the two-phase system of the working fluid "liquid - steam" located inside the evaporative pipes of the heat exchanger interacting with the ambient air enveloping the bundle of pipes of the evaporator of the air heat pump [14].

Heat pumps with an air source by "air-air" and "air-water" systems can be used to extract the dissipated heat energy of the ambient air, depending on which working medium is used to distribute heat in the building's communications - air or water (Table 1).

**Table 1.** Characteristics of VTN system types

| Type of air heat pump system    | "air-air"   | "air-water"               |
|---------------------------------|---|---------------------------|
| Appointment                     | Heating (cooling) of indoor air, air purification | Heating, hot water supply |
| Coolant temperature (water)     | +20 ... +35°C                                     | +40 ... - 65°C            |
| Coefficient of Performance(COP) | 3.5 and more                                      | 2 and more                |

Considering the process of transferring the scattered thermal energy from the ambient air into the system of the air heat pump circuit, we found it technologically consisting of two circuits: the first circuit is the "ambient air – evaporator", the second circuit is the freon circuit – "ambient air – freon (working fluid)"(Fig. 1).



**Fig. 1.** The system of pumping (transferring) heat energy from the ambient air in the contour of the evaporative-condensing unit air heat pump

As an example, the passport characteristics and operating conditions of the Meeting MD20D monoblock air heat pump, with a power of 7 kW, with an operating mode of A10/W30 (Fig. 2) were taken, where A – atmospheric – ambient air with a temperature of +10 °C, W – the temperature of the coolant (water) +30 °C (for underfloor heating) [15].

In accordance with the graph in Fig. 2, we assume that the structure of the ambient heat energy flow affecting the evaporator will correspond to the following configuration shown in Fig. 3.

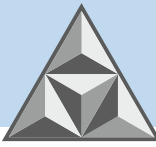
The heat pump has two energy sources – the energy of the electric motor of the compressor of the air heat pump ( $Q_{el,motor}$ ) and the scattered thermal energy of the ambient air ( $Q_{air}$ ).

Table 2 shows the technical characteristics and design parameters of the air heat pump and compressor.

#### The first contour

For the primary circuit, the calculation of the volume ( $V_{air}^1$ ) of air drawn in by the fan and supplied to the evaporator of the freon circuit in air-source heat pump operating mode can be represented as follows:

1. The capacity or heat output of the air-source heat pump ( $Q_{COP}$ ) is determined on the basis of a



given conversion efficiency (COP) corresponding to the operating conditions of the A10/W30 air-source heat pump and the electricity consumption of the air-source heat pump ( $Q_{el}$ ) according to the formula:

$$Q_{COP} = Q_{el} \cdot COP.$$

2. The difference between the required heat energy received by the air-source heat pump and its electrical power consumption will indicate how much energy needs to be taken from the dissipated air ( $Q_{air}$ ) by the traction fan, feeding it to the evaporator:

$$Q_{air} = Q_{COP} - Q_{el}.$$

3. The temperature pressure ( $\Delta t$ ) as the difference between the freon boiling point ( $t_{boil}$ ) determined by the thermodynamic tables [16] and the operating temperature at the evaporator ( $t_{ev}$ ), calculated experimentally, is

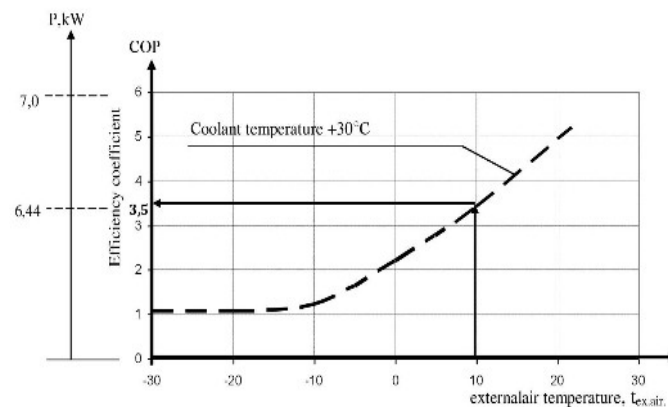
$$\Delta t = t_{ev} - t_{boil}.$$

4. It is known [5] that when air with a volume ( $V_{air}$ ) of 1 m<sup>3</sup> is heated by 1 °C, it gives off energy ( $Q_{air}$ ) of 1kJ or 0.278 W/h. Then at a given temperature pressure ( $\Delta t$ ), the heat flux energy density ( $q$ ), W/h per 1 m<sup>3</sup>, can be obtained from the air volume:

$$q = Q_{1m^3} \cdot \Delta t.$$

**Table 2.** Technical characteristics of the air heat pump and compressor and calculation of their performance

| Indicator  | Meaning  |
|--|--|
| 1. Operating mode of the air heat pump   | A10/W30  |
| 2. Thermal power of the air heat pump according to the technical characteristics, kW | 7  |
| 3. Electric power consumption of the air heat pump ( $Q_{el}$ ), kW/h                | 1.84   |
| 4. Conversion factor (COP)   | 3.5  |
| 5. Evaporator temperature ( $t_{vap}$ ), °C  | +10  |
| 6. Compressor  | Lanhai QXR - 44  |
| 7. The rotation speed of the compressor electric motor ( $n$ ), tur/min              | 2480   |
| 8. The volume described by the compressor piston in one revolution ( $V_{pis}$ )     | 44.2cm <sup>3</sup> =44.2·10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>  |
| 9. Performance of the air heat pump ( $Q_{COP}$ ), kW/h (=1.3×1.4)                   | 1.84·3.5=6.44  |
| 10. The energy of the scattered air, ( $Q_{air}$ ), W/h (=1.9-1.3)                   | 6.44 - 1.84= 4.6kW/h=4600W/h   |
| 11. Hourly compressor capacity (Pc), l/h (=1.8×1.7×60)                               | 44.2·10 <sup>-6</sup> ·2480·60=0.109616 m <sup>3</sup> /min=<br>=109616 cm <sup>3</sup> /min =109.616 l/min·60 min=<br>=6577 l/h |



**Fig. 2.** Dependence of the efficiency coefficient (COP) of the air heat pump – 7 kW on the ambient temperature according to the technical characteristics

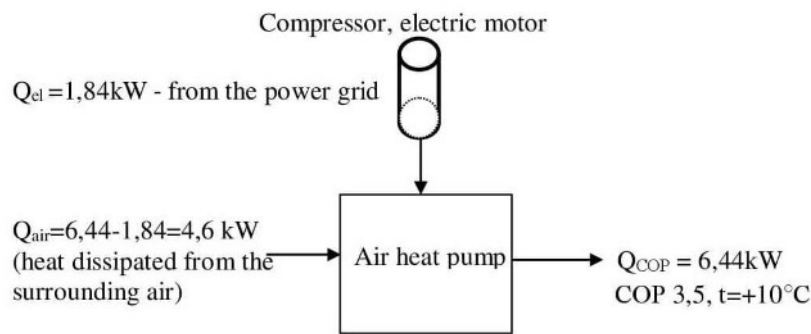
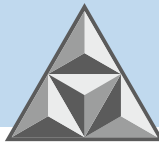


Fig. 3. Configuration of energy flows affecting the thermodynamic process of an air heat pump

5. At a given ambient temperature of +10 °C, the amount of ambient air required to produce (pumping) the heat output ( $Q_{air}$ ) of the air-source heat pump (in our example 4.6 kW (see Table 2) through the air-evaporator circuit will be ( $V_{air}^1$ ), m<sup>3</sup>/h:

$$V_{air}^1 = Q_{air}/q.$$

#### The second contour

The system of influence of the energy of the freon contour under considering consist of evaporator, compressor, condenser, thermostat. Here is an algorithm for calculating the volume (flow rate) of air in the operating mode of a freon circuit, with the compressor as the main energy carrier. On the basis of the initial data (area, volume of the building, heat loss value and heat output of the air-source heat pump) we select the tabulated acceptable compressor with a capacity of 7 kW.

1. Within one hour, the compressor capacity ( $P_c$ ), capable of pumping the refrigerant circuit from the evaporator to the condenser through the mains at the given compressor nameplate parameters, motor speed ( $n$ , rpm) and volume described by the piston per revolution ( $V_{pis}$ ), will be the actual volume of gaseous freon drawn in per compressor motor revolution:

Hourly compressor capacity (the actual volume of the sucked-in gaseous freon per revolution of the compressor motor ( $V_c$ ) per hour, l/h ( $=l.8 \times l.7$ ))

$$P_c = V_{pis} \cdot n \cdot 60 \text{ min.}$$

2. The volume of vaporous freon ( $V_f^1$ ), m, with a mass ( $m$ ) of 1 kg, with a vapor saturation density ( $\rho$ ), kg/m<sup>3</sup>, is taken according to thermodynamic tables [16] at its boiling point and can be determined by the formula:

$$V_f = m/\rho.$$

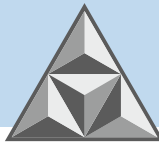
3. The mass of freon ( $m_f$ , kg/h) can be represented as the ratio of the hourly capacity of the compressor ( $V_{hf}$ ) and the volume of vaporous freon ( $V_f$ ):

$$m_f = P_c/V_f.$$

4. Based on the values of the latent heat of vaporization ( $r$ ) of freon, taken according to thermodynamic tables [16] at the boiling point, the mass of freon ( $m_f$ ), we determine the amount of heat ( $Q_f$ , W/h) released by the freon main on the superheated steam line, according to the formula:

$$Q_f = r \cdot m_f \cdot 0.278.$$





5. The volume (flow rate) of air in the second circuit,  $\text{m}^3/\text{h}$ , is:

$$V_{\text{air}}^2 = Q_i/q.$$

6. The total volume (flow) of air,  $\text{m}^3/\text{h}$ , is equal to:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{air}}^1 + V_{\text{air}}^2.$$

The scheme for calculating the indicators of the volume of air in the I and II contours is shown in Fig. 4.

The results of air volume calculations for various refrigerants used in an air source heat pump are presented in Table 3.

**Table 3.** Air flow rates for various refrigerants

| Indicators   | R22     | R32     | R143a   | R404a   | R407c   | R410a   | R507a   | R290    |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1. $t_{\text{boil}}, ^\circ\text{C}$                                       | -40.8   | -51.7   | -47.6   | -46.5   | -43.6   | -51.6   | -46.7   | -42.2   |
| 2. $\Delta t, ^\circ\text{C}$  | 50.8    | 61.7    | 57.6    | 56.5    | 53.6    | 61.6    | 56.7    | 52.2    |
| 3. $q, \text{W}/\text{m}^3$<br>( $=0.278 \cdot l.2$ )                      | 14.12   | 17.15   | 16.01   | 15.71   | 14.90   | 17.12   | 15.76   | 14.51   |
| 4. $V_{\text{air}}^1, \text{m}^3$<br>( $=4600 \text{ W}/\text{h} / l. 3$ ) | 325.72  | 268.18  | 287.27  | 292.86  | 308.71  | 268.62  | 291.83  | 316.99  |
| 5. $\rho, \text{kg}/\text{m}^3$  | 4.704   | 2.988   | 4.769   | 5.415   | 4.574   | 4.526   | 5.586   | 3.000   |
| 6. $V_f, \text{m}^3$ ( $=1\text{kg}/.5$ )                                  | 212.59  | 334.67  | 209.69  | 184.67  | 218.63  | 220.95  | 179.02  | 250.00  |
| 7. $m_f, \text{kg}/\text{h}$<br>( $6577 \text{ l}/\text{h} / l.6$ )        | 30.94   | 19.65   | 31.37   | 35.61   | 30.08   | 29.77   | 36.74   | 26.31   |
| 8. $r, \text{kJ}/\text{kg}$  | 234     | 391.60  | 233.1   | 204     | 252.9   | 264.3   | 199.8   | 406.0   |
| 9. $Q_f, \text{W}/\text{h}$<br>( $=c.7 \cdot c.8 \cdot 0,278$ )            | 2012.59 | 2139.42 | 2032.55 | 2019.77 | 2115.04 | 2187.18 | 2040.65 | 2227.00 |
| 10. $V_{\text{air}}^2, \text{m}^3/\text{h}$<br>( $l. 9/l. 3$ )             | 142.53  | 124.75  | 127.14  | 128.57  | 141.95  | 127.76  | 129.48  | 153.48  |
| 11. $V_{\text{tot}}, \text{m}^3/\text{h}$<br>( $=l. 4 + l. 10$ )           | 468.25  | 392.93  | 414.41  | 421.43  | 450.66  | 396.38  | 421.31  | 470.47  |
| 12. $Q, \text{kW}/\text{h}$<br>( $=l.3 \cdot l.8/1000$ )                   | 6.61    | 6.74    | 6.63    | 6.62    | 6.71    | 6.79    | 6.64    | 6.83    |

The diagram of indicators of air volume by refrigerants is shown in Fig. 5.

## RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 shows that, according to contour I (see Fig. 1), the volume of ambient air flow ( $V_{\text{air}}^1, \text{m}^3$ ) drawn in by the fan and supplied to the evaporator lines varies depending on the brand of freon in the range from 268  $\text{m}^3/\text{h}$  for freon R32 to 317  $\text{m}^3/\text{h}$  for freon R290, which corresponds to a thermal energy of 4.6 kW, as shown in Fig. 3.

According to contour II (see Fig. 1), the volume of ambient air flow ( $V_{\text{air}}^2, \text{m}^3$ ), taking into account the density of saturated freon vapor, ranges from 124.75  $\text{m}^3/\text{h}$  for R32 freon to 153.48  $\text{m}^3/\text{h}$  for R290 freon, which corresponds to thermal energy of 2.2 kW, and gives a thermal output of 6.4 kW, as shown in Fig. 3.

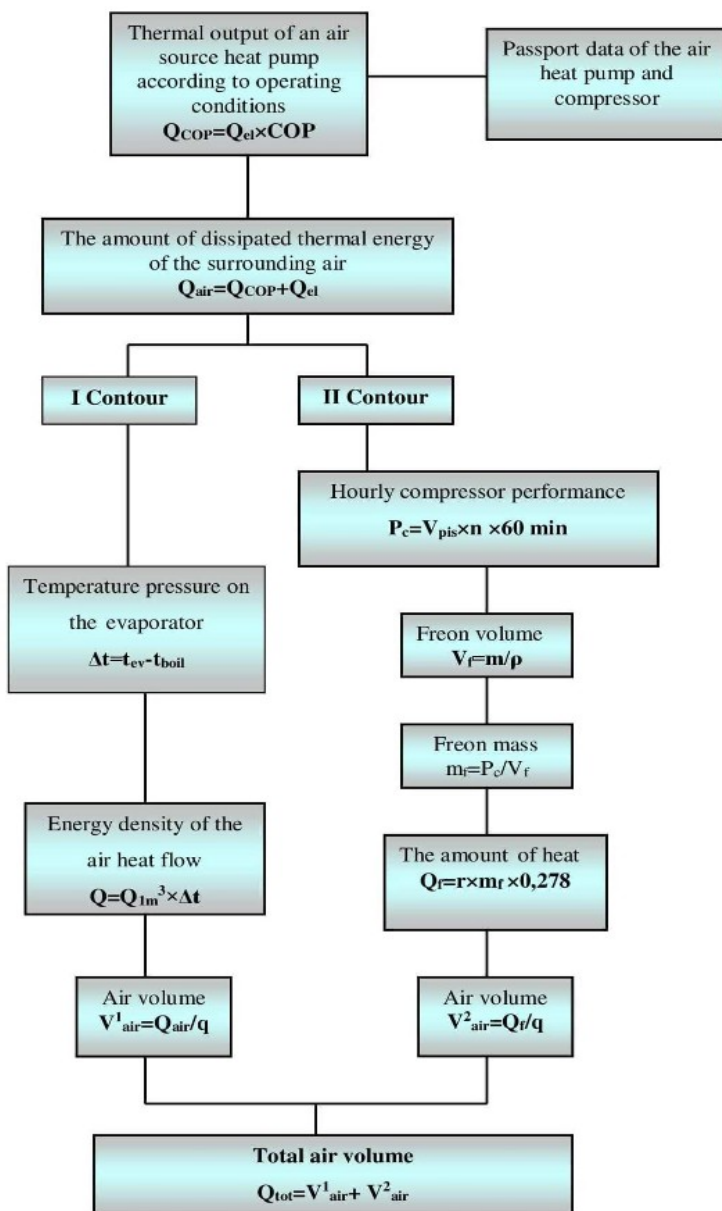


Fig. 4. Air volume calculation scheme of the I and II contours

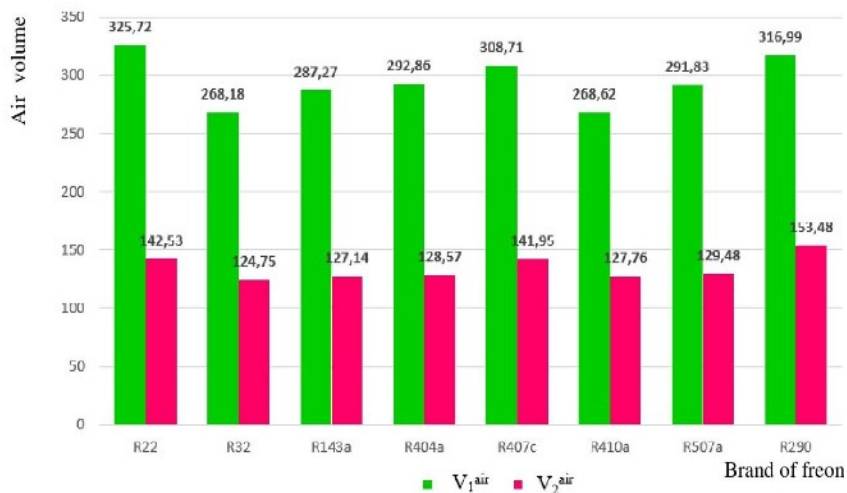
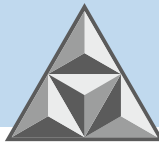


Fig. 5. Diagram of air volume indicators for various refrigerants



The value of the volume index is significantly affected by the thermophysical properties of the working fluid, for example, in the first circuit, the value of the latent heat of vaporization has an advantage, and in the second circuit, the density of the refrigerant. A comparative analysis of the calculation results for selected brands of freons shows the R32 and R410 are preferred; their thermophysical indicators have higher boiling points and latent heat of vaporization; this affects the mass of pumped freon, the price of which is relatively low in compare with other brands. Also, the advantage of these freons is the low values of their environmental safety indicators: ozone depletion potential and global warming potential [17-19].

Thus, the value of the ambient air potential (see Table 3) is largely determined by the performance of the intake fan, which supplies the required air volume to the evaporator, which provides the required heat output of the air source heat pump.

## DISCUSSION QUESTIONS

In general, the amount of dissipated thermal energy received from the surrounding space (air) depends on many related parameters, such as: the power of the compressor and exhaust fan, the characteristics of the freon contour of the heat pump connecting pipelines [20-26]. Therefore, when calculating, it is desirable to take into account the influence of external forces, which allowed the authors to make a number of assumptions.

Firstly, a hypothesis was put forward about the existence of the phenomenon of induced induction of mutually withdrawn energy from the air and some electromagnetic radiation of the freon contour. Their joint vortex magnetic field contributes to the formation of mechanical (ponderomotive) forces, the magnitude of which is not large, but always depending on the pressure force and the operating mode of the devices of the evaporation-condensation unit (evaporator, condenser, thermostatic valve). These flows, acting (enveloping) on the lines and the compressor, add their share of energy when pumping the working fluid (freon) along the circuit, helping to overcome the hydraulic resistance of the refrigerant vapor in the lines. The value of this share of thermal energy in such conditions depends on the very nature of the working fluid (freon) and the physical state of its "radiation".

The energy-mechanical effect of the pressure force on the way from the evaporator to the compressor corresponds to:

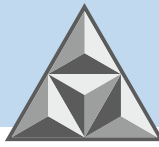
$$P_{FX} = (P_{F2} - P_{F1}) / \Sigma(S_{ev} + S_{c,l}),$$

where  $(P_{F2} - P_{F1})$  – pressure difference after evaporator and compressor.

Preliminary calculations of this force are from 0.20 to 0.25 W of energy. With further research and description of changes in pressure drop ( $P_{F2}$  and  $P_{F1}$ ), it becomes possible to determine the geometric characteristics of the freon circuit line (diameter).

Secondly, there are irreversible losses in the operation of an air source heat pump, which include:

- losses of thermal energy in the connecting pipeline,
- losses to overcome friction in the compressor,
- losses associated with non-ideality of thermal processes occurring in the evaporator and condenser, as well as with non-ideality of thermophysical characteristics of refrigerants obtained experimentally,
- mechanical and electrical losses in the compressor motor, etc,
- air humidity, resistance in lines, heat losses in lines, losses in the electrical network during on/off, roughness in pipelines inside and outside, natural bypass [27, 28].



The authors believe that it is approximately 10% of the volume of air flow. The total volume of air consumption ( $V_{tot}$ ),  $m^3/h$ , is:

$$V_{tot} = (V_{air}^1 + V_{air}^2) \cdot 1.1.$$

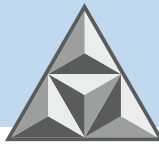
## CONCLUSIONS

The generation and conversion of the energy of the air surrounding the exhaust fan of the air heat pump of the “compressor-freon circuit” system extracts low-potential energy, which generates thermal energy in the freon circuit, heats the working fluid and then transfers thermal power to the coolant through the condenser.

Thus, on the basis of preliminary calculations, the process of extracting thermal energy from the ambient air and with the appropriate modeling of air exchange is shown. In addition, at the inlet to the air heat pump, an analysis of the operation of joint contours I and II and a reflection of thermal and energy-physical phenomena occurring in the compression-freon circuit and the surrounding air space are shown, which makes it possible to calculate and refine the characteristics of heat transfer by modeling this process in order to predict the allowable design parameters of thermal air heat pump performance [29, 30].

## REFERENCES

1. **Zakirov, D.G., Rybin, A.I. & Morozov, B.Z.** (1991) *Environmental resource-saving technology using heat pumps*. M.: Ugol (in Russian).
2. **Vezerishvili, O.Sh. & Meladze, N.V.** (1994) *Energy-saving heat pump systems for heat and cold supply*. M.: Izdatelstvo MEI (in Russian).
3. **Falikov, V.S.** (2001) *Energy saving in systems of heat and water supply of buildings*. M.: GUP VIMI (in Russian).
4. **Filippov, S.V., Dilman, M.D. & Ionov, M.S.** (2011) Efficiency of using heat pumps for heat supply of low-rise buildings, *Teploenergetika*, (11), pp.12-19 (in Russian).
5. **Mikheev, M.A.** (1956) *Fundamentals of heat transfer*. M.: Gosenergoizdat (in Russian).
6. **Zakirov, D.G. & Rybin, A.A.** (2015) *Use of low potential heat*. M.: Izdatelstvo "Rusayns"(in Russian).
7. **Sokolov, E.Ya. & Brodyansky, V.M.** (1984) *Energy bases of heat transformation and cooling processes*. M.: Ergoatomizdat (in Russian).
8. **Zakirov, D.G., Fayzrakhmanov, R.A., Mukhamedshin, M.A., Nikolaev, A.V. & Ryumkin, A.A.** (2018) Development and implementation of technologies for the use of low-grade heat, *Tekhnologii I tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*, 1(94), pp. 85-91 (in Russian).
9. **Bubalis, E. & Makarevicius, V.** (1990) *Energy transfer processes in heat pumps*. Vilnyus: Izdatelstvo Mokslas (in Russian).
10. **Dubrovin, I.V.** (1960) Influence of the temperature factor on heat transfer, *Teploenergetika*, (11), pp. 69-74 (in Russian).
11. **Mitskevich, A.I.** (1965) *Efficiency of heat transfer surfaces. Heat and mass transfer*. Minsk: Nauka I tekhnika(in Russian).
12. **Yudin, V.F. & Tokhtarova, L.S.** (1971) Influence of thermal conductivity of ribs and coolant on heat transfer of finned bundles during transverse washing, *Teploenergetika*, (9), pp. 66-68 (in Russian).
13. **Kalnin, I.M., Bykov, A.V. & Tsirlin, B.L.** (1978) Choice of thermodynamic cycles and working substances for heat pumps, *Tezisy dokladov II Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po kholodilnomu mashinostroyeniyu*. M.: TsINTIkhimneftemash (in Russian).

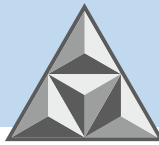


14. **Arkharov, A.M. & Shishov, V.V.** (2014) Analysis of low-temperature refrigeration cycles using the entropy-statistical method, *Kholodilnaya tekhnika*, (8), pp. 50-53 (in Russian).
15. Meeting heat pump operating instructions [online]. Available at: <https://solar-dom.com/upload/iblock/41e/41eafa9b94953cd1039a298cc805c807.pdf> (in Russian).
16. GOST R ISO 17584–2015. Properties of refrigerants (in Russian).
17. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Zaitseva, I.A.** (2020) Analysis and selection of environmentally safe refrigerants for building heat supply systems with air heat pumps, *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii. Regionalnoye prilozheniye*, 1(61), pp. 120-129 (in Russian).
18. **Akulich, D.A. & Timofeev, B.D.** (2017) Transfer of refrigeration centrifugal machines and compressor equipment to ozone-safe refrigerants in Belarus, *Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda*, (2), pp. 50-52. DOI: 10.21047/1606-4313-2017-16-2-50-52 (in Russian).
19. **Zakirov, D.G.** (1995) *Energy saving and environmental safety of small power facilities*. M.: Nedra (in Russian).
20. **Zhelezny, V.P. & Semenyuk, Yu.V.** (2012) *Working bodies of vapor compression refrigeration machines: properties, analysis, application*. Odessa: Feniks (in Russian).
21. **Musaev, A.A., Boyarsky, M.Yu. & Brodyansky, V.M.** (1978) Experimental study of a low-temperature single-stage refrigeration plant operating on a mixture of refrigerants, *Kholodilnaya tekhnika*, (12), pp.10-14 (in Russian).
22. **Lukyanenko, A.V. & Byrdin, A.P.** (2009) Design of physical parameters of condensers of heat pump installations in heat supply systems, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 5(10), pp. 196-200 (in Russian).
23. **Shcherba, V.E. & Bolshtyansky, A.P.** (1983) Analytical calculation of the injection process in a positive displacement compressor, *Izvestiya vuzov. Energetika*, (11), pp. 112-114 (in Russian).
24. **Litovsky, E.I. & Pustovalov, Yu.V.** (1982) *Vapor compression heat pump installations*. M.: Energoizdat (in Russian).
25. **Meshcheryakov, F.E.** (1975) *Fundamentals of refrigeration engineering and refrigeration technology*. M.: Izdatelstvo «Pishchevaya promyshlennost» (in Russian).
26. **Ponomarev, V.N. & Sholokhov, A.V.** (1993) Analysis of the characteristics of the compressor of a heat pump installation: work on various working bodies, *Montazh i spetsialnyye raboty v stroitelstve*, (10), pp. 9-11 (in Russian).
27. **Migai, V.K.** (1963) Influence of non-uniformity of heat transfer along the height of the fin on its efficiency, *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*, (3), pp. 51-57 (in Russian).
28. **Kutateladze, S.S.** (1953) *Heat transfer during condensation and boiling*. L.: Mashgiz (in Russian).
29. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Zaitseva, I.A.** (2020) Multicriteria process of modeling heat and mass transfer in air heat pump systems for the purpose of energy-saving solutions by the method of hierarchy analysis, *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii. Regionalnoye prilozheniye*, 3(63), pp. 98-111 (in Russian).
30. **Tabunshchikov, A.Yu. & Brodach, M.M.** (2002) *Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings*. M.: AVOK-Press.

Received 30.08.2022

Approved after reviewing 16.09.2022

Accepted 20.09.2022



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_29

# Investigation of the resistance of profiled membranes to root-proof and aggressive chemicals

**I.F. Nagaev<sup>1</sup>, D.A. Ilyin<sup>1,2</sup>, I.N. Goglev<sup>1</sup>**

Ildus F. Nagaev

<sup>1</sup>LLC «Technicol-Building systems», Moscow, Russia

*nagaev@tn.ru*

Dmitriy A. Ilyin

<sup>1</sup>LLC «Technicol-Building systems», Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering

*ilin.d@tn.ru*

Il'ya N. Goglev

<sup>1</sup>LLC «Technicol-Building systems», Moscow, Russia

*goglev@tn.ru*



*The article considers the use of profiled membranes in construction as a substitute of concrete preparation for foundation systems, floors on grade and drainage systems (e.g. multipurpose flat roofing, wall drainage). The article discusses the main properties of profiled membranes in terms of their ability to be used in such systems. The article gives examples of sites and construction site conditions. According to them the paper recommends the use of profiled membranes in various systems. The article describes the laboratory tests performed to determine the root-proof of PLANTER profiled membranes. According to the tests of CEN/TS 14416-2014, we placed the profiled membrane samples in special test clay pots with lupine (*Lupinus albus*) seeds for a period of 8 weeks. It is an ordinary time of roof-proof assessment of the material. In order to assess the chemical resistance, we placed PLANTER profiled membrane samples into 15% solutions of  $H_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $NaOH$ .*

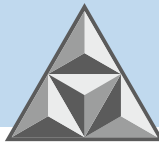
*We found that PLANTER polymer profiled membranes are root-proof (do not allow plant roots to germinate) as well as chemically resistant. This allows us to recommend their using for drainage systems, as waterproofing protection, to replace concrete preparation in foundation systems (or floors on grade).*

**Key words:** concrete, reinforced concrete, corrosion, chlorides, concrete preparation, floors on grade, drainage, polyethylene, profiled membranes, reagents

**For citation:**

**Nagaev, I.F., Ilyin, D.A. & Goglev, I.N. (2022)** Investigation of the resistance of profiled membranes to root – proof and aggressive chemicals, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 29-40 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_29



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.175.5/8

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_29

# Исследование стойкости профилированных мембран к прорастанию корней и агрессивным химическим веществам

**И.Ф. Нагаев<sup>1</sup>, Д.А. Ильин<sup>1,2</sup>, И.Н. Гоглев<sup>1</sup>**

Ильдус Филаритович Нагаев

<sup>1</sup>ООО «Технониколь-Строительные системы», Москва, Российская Федерация

*nagaev@tn.ru*

Дмитрий Анатольевич Ильин

<sup>1</sup>ООО «Технониколь-Строительные системы», Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Москва, Российская Федерация

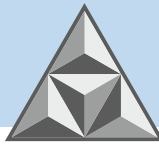
*ilin.d@tn.ru*

Илья Николаевич Гоглев

<sup>1</sup>ООО «Технониколь-Строительные системы», Москва, Российская Федерация

*goglev@tn.ru*





Статья рассматривает применение профилированных мембран в строительстве в качестве замены бетонной подготовки в системах фундаментов, полов по грунту и в дренажных системах (например, дренаж в эксплуатируемых кровлях, пристенный дренаж). Рассмотрены основные свойства профилированных мембран, которые характеризуют возможность их использования в таких системах. Приведены примеры объектов и условий строительных площадок, на которых рекомендуется использование профилированных мембран в различных системах. Проведены лабораторные исследования по определению корнестойкости профилированных мембран PLANTER, по результатам которых получено заключение. В данных испытаниях согласно CEN/TS 14416-2014 образцы профилированной мембраны помещались в специальные испытательные глиняные горшочки с семенами люпина (*Lupinus albus*) на период 8 недель, в течение которых оценивалась корнестойкость материала. Для оценки химической стойкости образцы профилированной мембраны PLANTER помещали в 15%-ные растворы химических веществ ( $H_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $NaOH$ ).

По результатам проведенных испытаний выявлено, что полимерные профилированные мембраны PLANTER обладают корнестойкостью (не позволяют прорасти корням растений), а также химической стойкостью. Это позволяет рекомендовать их для использования в дренажных системах, в качестве защиты гидроизоляции, для замены бетонной подготовки в системах фундаментов (или полах по грунту).

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, коррозия, хлориды, бетонная подготовка, полы по грунту, дренаж, полиэтилен, профилированные мембраны, реагенты

**Для цитирования:**

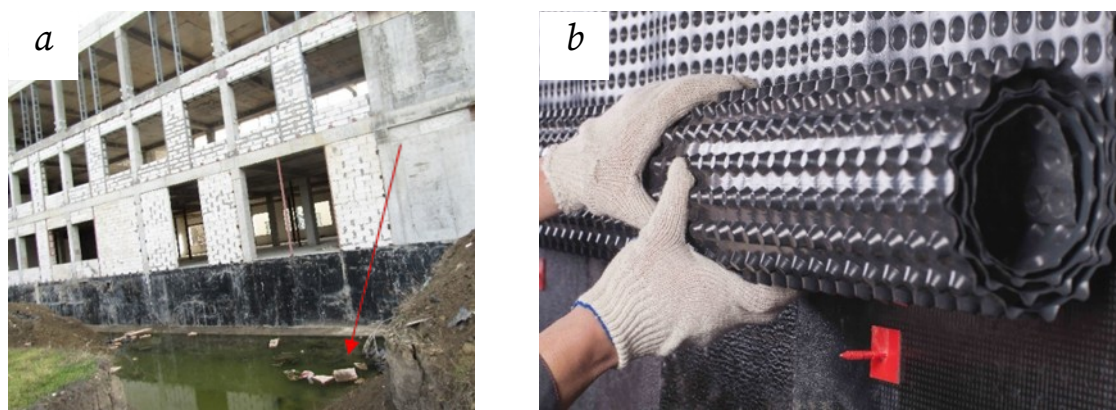
Нагаев И.Ф., Ильин Д.А., Гоглев И.Н. Исследование стойкости профилированных мембран к прорастанию корней и агрессивным химическим веществам // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 29-40. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_29



## INTRODUCTION

The selection of quality materials at the design stage is an important aspect of any construction project. Construction of ordinary buildings and buildings for special purposes (e.g. construction class KS-3, according to GOST 27751-2014) [1, 2] requires the use of modern waterproofing materials such as polymeric membranes (PVC or Thermoplastic Polyolefin Reinforced Membrane (TPRM) [3, 4], BRM (Bitumen Roll Materials) [5], mastic, etc. The backfill soil often contains various rubbish, including sharp objects (broken bricks, concrete scrap, etc., Fig. 1, *a*), which can damage the waterproofing during backfilling. In order to avoid these consequences, according to SP 45.13330.2017 [8], item 11.30, the waterproofing must be protected with sheet or roll-fed materials, such as profiled membranes (Fig. 1, *b*) [6, 7]. If protection is not provided, there is a high probability of damaging the waterproofing layer [8] with further penetration of moisture into the structure, which can initiate the process of corrosion of concrete and reinforcement [9-11].

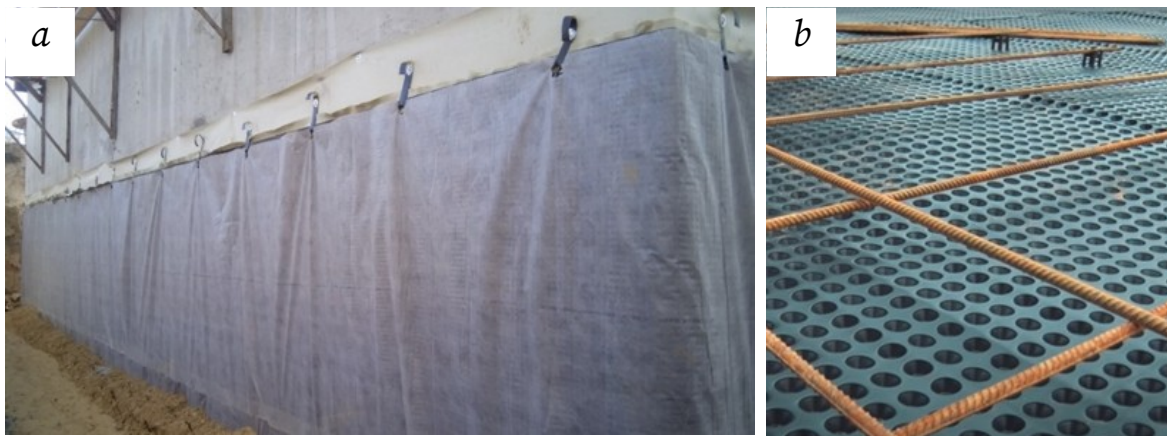
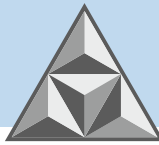


**Fig. 1:** *a* - building rubbish in the backfill soil at various construction sites; *b* - waterproofing protection with profiled membrane

We strongly recommend against allowing moisture to penetrate, as groundwater contains various salts (e.g. chlorides) which can lead to corrosion of the steel reinforcement inside the concrete body and cause the failure of the concrete protective layer [9-11]. According to GOST 31937-2011, Appendix E, Table E.1, item 6, such a defect (as well as preceding defects in item 2, item 5, Table E.1) reduces the bearing capacity and durability of reinforced concrete structures [11, 12]. Repair of reinforced concrete structures in case of such defects is difficult and expensive one [12-15], because it is necessary to completely remove the corroded protective layer of concrete, perform mechanical cleaning and treatment (with corrosion converters) of steel reinforcement surface and restore the protective layer with special repair compositions [12-15]. Large construction projects require the extra Scientific and Technical Construction Support Activities (STSS) [16], which can be performed in order to monitor the quality of work in progress and prevent concrete corrosion/damage of the waterproofing.

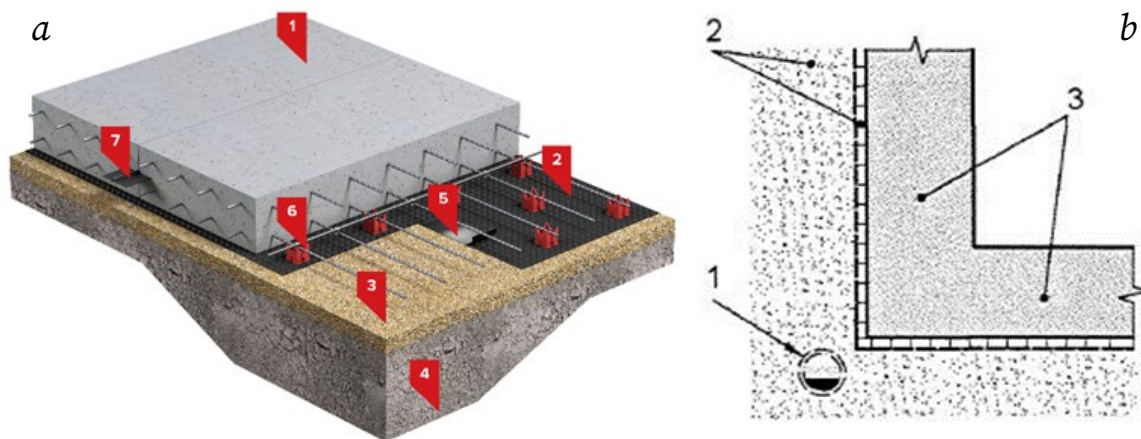
In addition to protecting waterproofing, profiled membranes can be used in drainage systems (e.g., double-layer profiled membranes with a layer of filtering geotextile (Fig. 2, *a*, 3, *b*), and as a replacement for concrete floors on grade (see Fig. 2, *b*, 3, *a*), in landscaping, etc.

The profiled membranes based on High-Density Polyethylene (HDPE, PVP, LPP) are the most common ones. Polyethylene is produced on a large-scale; the polymer is chemically resistant and has great physical and mechanical properties allowing its implementation in many areas of construction [17, 18].



**Fig. 2.** Example of using profiled membranes «PLANTER» manufactured by TECHNOMICOL Corp: *a* - at the wall drainage system in combination with waterproofing of PVC-polymer membranes; *b* - as a capillary cutoff for floors on grade

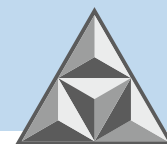
When used as a capillary moisture barrier in ground-supported floor structures and as a substitute for concrete preparation, profiled membranes can be classified as secondary concrete protection in terms of their characteristics (Fig. 2, *b*, 3, *a*). 3.6 GOST 31384-2017, item 4.4 of SP 229.1325800.2014, item 5.1.2 and item 5.3.4 of SP 28.13330.2017), to a subset of facing insulation coatings (item 9.3 GOST 31384-2017, item 5.1.2 and item 5.3.4 of SP 28.13330.2017), which make the contact of concrete with aggressive mediums difficult. These materials must be highly resistant to aggressive media (item 9.14 GOST 31384-2017) [19]. Flooring regulations, e.g. in SP 29.13330.2011 [20], item 10.4, recommend the use of capillary-retaining layers of geosynthetic materials in the construction of floors on grade.



**Fig. 3.** Example of using profiled membranes: *a* - as a replacement for concrete preparation in a slab foundation; *b* - in a wall drainage system in combination with a drainage pipe, according to SP 250.1325800.2016

Design and construction of drains normative documents are one of the special protection measures, according to item 4.5 of GOST 31384-2017), in particular, SP 250.1325800.2016 item 4.2.5, item 7.6.2.8, provide for drainage membranes, which can be used in various systems (see Fig. 2, *a*, 3, *b*), for example for a wall drain [21]. Materials used in various types of soils should demonstrate high rates of physical and mechanical properties, in particular, for root - proof. (item 5.2 and item 5.3.5 of SP 28.13330.2017, item 6.4 of GOST 31384-2017), durability and resistance to various aggressive factors.

We examine these properties using as an example PLANTER profiled membranes (Table 1).

**Table 1.** Physical and mechanical characteristics of PLANTER profiled membranes

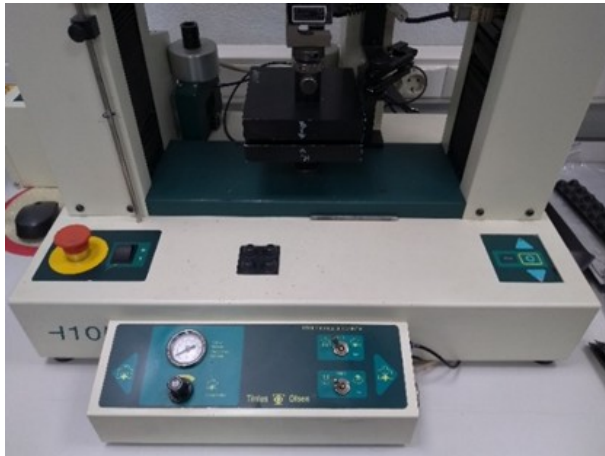
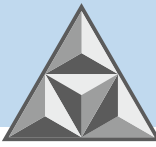
| Name of parameter  | Unit of measure          | Criterion | Value (for the brand)        |     |       | Test method                         |
|--|--------------------------|-----------|------------------------------|-----|-------|-------------------------------------|
|  |                          |           | Standard                     | Eco | Extra |                                     |
| Thickness of sheet   | mm                       | -         | 0.55                         | 0.5 | 0.8   | GOST EN 1849-2-2011                 |
| Protrusion height  | mm                       | -         | 8.5                          | 8.5 | 8.5   | GOST EN 1849-2-2011                 |
| Weight   | g/m <sup>2</sup>         | at least  | 550                          | 450 | 800   | GOST EN 1849-2-2011                 |
| Compressive strength (at deformation >75%)   | kPa (kN/m <sup>2</sup> ) | -         | 280                          | 200 | 550   | STO 72746455-3.4.2-2014 (item 7.3)  |
| Compressive strength (determined at maximum load in the deformation zone of the sample up to 50 %) | kPa (kN/m <sup>2</sup> ) | -         | 130                          | 80  | 310   | STO 72746455-3.4.2-2014 (item 7.3)  |
| Maximum tensile force, method A:   | N/50 mm                  | at least  | 280                          | 200 | 450   | GOST 31899-2-2011 (EN 12311-2:2000) |
| alongside the roll   |                          |           |                              |     |       |                                     |
| across the roll  |                          |           |                              |     |       |                                     |
| Relative elongation at maximum tensile force   | %                        | at least  | 20                           | 20  | 18    | GOST 31899-2-2011 (EN 12311-2:2000) |
| Static crushing resistance, method B   | kg                       | at least  | 20                           |     |       | GOST EN 12730-2011                  |
| Flexibility on a 5 mm radius bar at low temperature  | °C                       | maximum   | - 45                         |     |       | GOST 2678-94                        |
| Water absorption by mass   | %                        | maximum   | 1                            |     |       | GOST 2678-94                        |
| Water resistance at a pressure of at least 0.001 MPa for 24 hours                                  | -                        | at least  | no sign of water penetration |     |       | GOST 2678-94                        |
| Dimensional changes at 80 °C   | %                        | maximum   | 2.0                          | 2.0 | 2.0   | GOST EN 1107-2-2011                 |
| alongside the roll   |                          |           |                              |     |       |                                     |
| across the roll  |                          |           |                              |     |       |                                     |

Depending on the brand, the strength tests of PLANTER profiled membranes (see Table 1, Fig. 4) show that, they can withstand loads (in terms of tensile strength) from 200 to 550 kPa (Fig. 5). Due to this, the use of profiled membranes as a waterproofing protection and substitute for concrete under-floor cavity preparation (floors on grade) is reasonable and recommended in various normative documents (e.g. in SP 29.13330.2011).

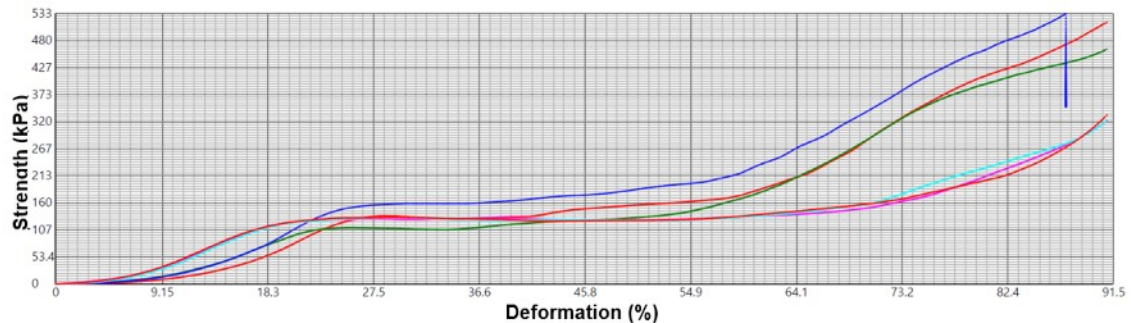
#### Application for profiled membranes

The main objects for the application of profiled membranes are: large residential complexes (replacement of concrete preparation, drainage on stylobates/roofs (Fig. 6, a) and wall drainage/waterproofing protection in foundation structures (see Fig. 2, a)), transport tunnels (waterproofing protection and drainage), large industrial and agricultural facilities (ground-supported floors, Fig. 6, b). Various fasteners and accessories are used to fix the profiled membranes (Fig. 7).

It is important to remember that, although profiled membranes are similar to waterproofing coatings, they are not a completely waterproofing membranes, but can only protect against capillary moisture penetration.



**Fig. 4.** Example of testing a sample of a profiled membrane with a size of 10x10 cm for compression



**Fig. 5.** Example of a graph for determining the compressive strength when testing various samples of PLANTER profiled membranes



**Fig. 6.** Application of profiled membranes at real construction objects: *a* – the green roof of the museum complex; *b* – installation of floors on grade for a large agricultural complex

It is the result of the membrane are usually joined by using bitumen-polymer tapes (see Fig. 7), which cannot fully replace a polymer membrane welder. Thus, the main condition for using a profiled membrane as a substitute for concrete preparation is a low groundwater level at the construction site. If there is a high level of groundwater, the use of profiled membranes is not recommended and it is necessary to arrange concrete preparation.

The use of drainage membranes as part of the drainage system is recommended for facilities located in the area with high groundwater level (see SP 250.1325800.2016 item 4.2.5 and SP 104.13330.2016 item 4.9), floodplains, etc. [22]. Drainage membranes enable the drainage of groundwater and surface water on construction sites, landscaping elements (e.g. soft screeds or pavements), multipurpose flat roofing, etc.

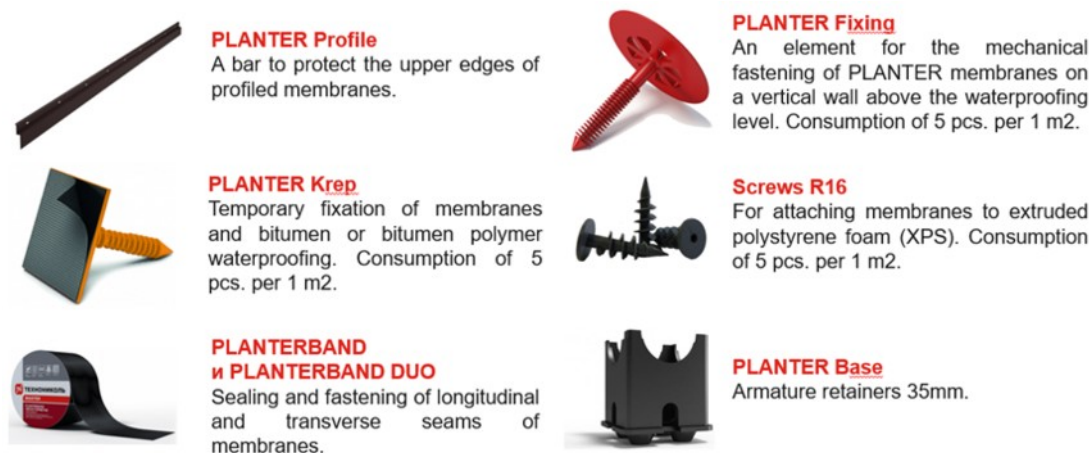


Fig. 7. Accessories for profiled membranes «PLANTER»

As drainage systems, concrete preparations and ground-supported floors are used in groundwater and soil conditions, they should have root - proof and chemical/biological stability in order to ensure an extended effective operation life for the structures. The experimental part of the article deals with tests of PLANTER profiled membranes for chemical resistance and to root - proof, which are of high relevance and directly relate to the durability of buildings and structures.

## EXPERIMENTAL PART AND RESULTS

PART 1. Selected samples of PLANTER profiled membranes with a pre-fixed weight were immersed for chemical resistance tests (according to GOST R 56910-2016/EN 1847:2009) in a test liquid and incubated for a defined period (28 days) at a given temperature. Membrane characteristics were determined before immersing the samples into chemical reagents and the same parameters were subsequently measured after exposure to the corrosive medium.

In the laboratory conditions, we complied with the requirements for standard test:

- temperature - 23 °C;
- atmosphere pressure - 740 mm Hg;
- relative humidity - 65%.

Samples of the profiled PLANTER membrane were placed into solutions of aggressive substances:

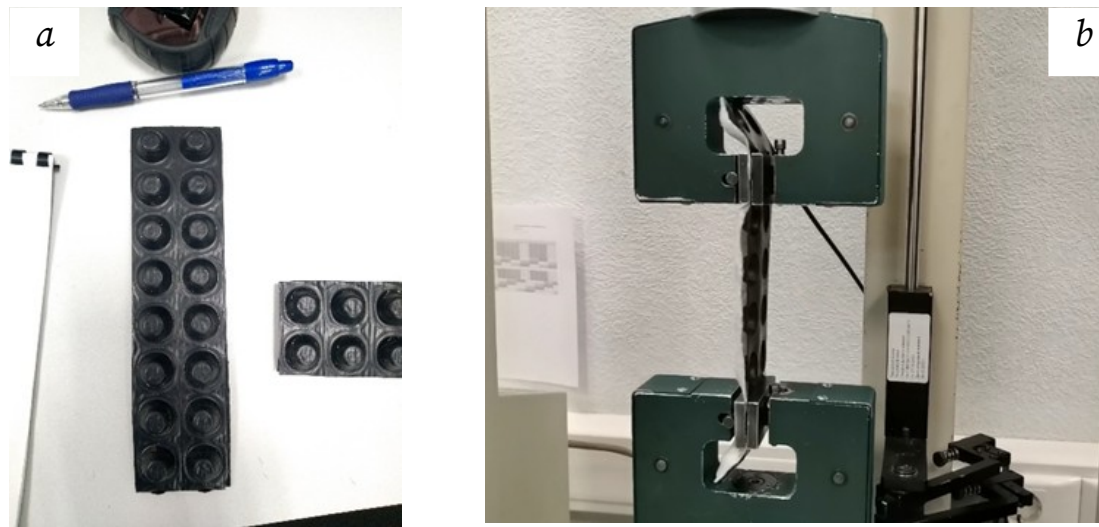
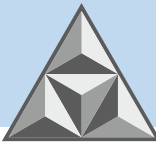
- 15% sulphuric acid solution ( $H_2SO_4$ );
- 15% sodium hydroxide (NaOH) solution;
- 15% sodium sulphate solution ( $Na_2SO_4$ ).

Depending on site conditions, the list of reagents can be modified according to EN ISO 175:2000, e.g. instead of sodium hydroxide (NaOH) a calcium hydroxide ( $Ca(OH)_2$ ) solution can be used to simulate curing concrete conditions.

After removing the samples (Fig. 8, a) from the test fluids, we recorded the presence of visual defects on the samples:

- change of colour;
- appearance of spots;
- appearance of gloss or mattness;
- occurrence of cracks/microcracks;
- appearance of bubbles/deepening/flatting etc.

The change of weight in compare with their original weight and the change in strain and strength characteristics (e.g. tensile/compression strength, Fig. 8, b) are also recorded.



**Fig. 8:** *a* – selected sample of profiled membrane for testing; *b* – determination of tensile strength for profiled membrane sample (200x50 mm)

According to the tests, the physical and mechanical properties of the profiled membrane samples before and after the tests (tensile/compressive strength of the samples) did not change by more than 5%. The change in weight was not more than  $\pm 3.5\%$ . This suggests the high chemical resistance of PLANTER profiled membranes when exposed to aggressive chemicals over a given period.

PART 2. We placed selected samples of PLANTER profiled membranes  $\varnothing 200$  mm into special clay test pots for root - proof tests according to CEN/TS 14416-2014. We piled soil with white lupine (*Lupinus albus*) seeds on top for a period of 8 weeks. Both conventional and enriched soil mixes can be used to speed up flowering of seeds (the substrate is premixed with nodules, grinded roots of old plants, etc.). Early sprouts can appear as early as 7–19 days with the enriched potting soil mixture, so a period of 8 weeks is sufficient to evaluate the root - proof of the materials.

At the time of completion of the tests, we dug up the samples and assessed the extent of root damage (whether the roots had germinated through the material). Root - proof materials can prevent roots germinating completely (Fig. 9, *a*, *b*).



**Fig. 9.** Testing of profiled membranes for resistance to root – proof: *a*, *b* – the sample of the profiled membrane did not allow the roots to germinate

Based on the results of the tests, Table 2 shows the root germination through the test material and its chemical resistance values.

**Table 2.** Test results of PLANTER profiled membranes for root resistance and resistance to aggressive chemicals

| Material/polymer                        | Root - proof according to 8-week results          | Chemical resistance according to 28-day test results |                                     |                           |
|---|---|--|-------------------------------------|---------------------------|
|   |   | Solutions  |                                     |                           |
|   |   | 15% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                   | 15% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 15% NaOH                  |
| <b>PLANTER profiled membrane (HDPE)</b> | The roots have <b>NOT</b> penetrated the material | Withstands the effects of                            | Withstands the effects of           | Withstands the effects of |

## CONCLUSIONS

Thus, by the experimental results, we can conclude the synthetic materials, in particular of PLANTER profiled membranes, are root – proof and chemical resistant. On the basis of the results named above the test reports were issued.

## 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, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (11), pp. 97-98 (in Russian).
3. **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).
4. **Bezrukov, A.V.** (2013) The use of waterproofing materials in the construction of underground parts of buildings and structures, *Gradostoitel'stvo*, 6(28), pp. 69-72 (in Russian).
5. **Fedyuk, R.S. & Kerimov, R.A.** (2022) Waterproofing materials, *Innovatsii. Nauka. Obrazovaniye*, V.50, pp. 2403-2409 (in Russian).
6. **Zhihalkina, V.M.** (2018) Polymer membrane as a multifunctional material, *Obrazovaniye. Nauka. Proizvodstvo. Materialy` X Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem*, pp. 724-728 (in Russian).
7. **Konovalov, V.V. & Kushchev, I.E.** (2014) Profiled membranes «PLANTER», *Novye tehnologii v nauke, obrazovaniyi, proizvodstve. Mezhdunarodniy sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii*, pp. 433-439 (in Russian).
8. **Korol, E.A. & Nikiforova, N.S.** (2018) Features of design and construction of underground structures of shallow laying in difficult ground conditions, *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*, V.1., pp. 25-27 (in Russian).
9. **Rumyantseva, V.E., Goglev, I.N. & Loginova, S.A.** (2019) Application of field and laboratory methods for the determination of carbonization, chloride and sulfate corrosion in the examination of building structures of buildings and structures, *Stroitel'stvo i tehnogennaya bezopasnost`*, (15), pp. 51-58 (in Russian).
10. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Loginova, S.A. & Goglev, I.N.** (2021) Detection of sulphate and chloride corrosion of concrete at the field and laboratory stages of inspection of building and structural constructions, *BST: Buleten` stroitel'noy tekhniki*, 10 (1046), pp. 29-31 (in Russian).
11. **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` Vserossiyskoj nauchno-texnicheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati zaslužhennogo deyatelya nauki Rossiyskoj Federacii, akademika RAASN, doktora texnicheskix nauk, professora Solomatova Vasiliya Il'icha*, pp. 106-111 (in Russian).



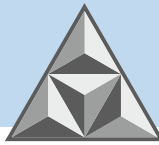


12. **Muradyan, V.A. & Itkina, E.V.** (2021) Assessment of the technical condition and modern methods of strengthening the bowl of a reinforced concrete pool during the development of project documentation for major repairs or reconstruction of capital construction facilities, *Inzhenernyi vestnik Dona*, 6 (78), pp. 289-299 (in Russian).
13. **Rosenthal, N.K.** (2009) Corrosion and repair of reinforced concrete structures, *StrojPROFIL*, 2(72), pp. 22-28 (in Russian).
14. **Alekseev, S.N.** (1976) *Corrosion resistance of reinforced concrete structures in an aggressive industrial environment*. M.: Stroyizdat (in Russian).
15. **Krasnitskaya, A.A. & Shamanov, V.A.** (2019) Aspects of the selection of effective building mixes for the repair and restoration of reinforced concrete tanks for special purposes, *Sovremennye technologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, 2, pp. 334-339 (in Russian).
16. **Levshin, V.V. & Kozelkov, M.M.** (2020) Regulatory and technical base of scientific and technical support of construction, *Vestnik NIC Stroitel'stvo*, 1(24), pp. 78-90 (in Russian).
17. **Le Chan, M.D. & Protsenko, M.Yu.** (2018) Low molecular weight polyethylene and its effect on the properties of road petroleum bitumen, *Izvestiya vuzov: Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvigimost'*, 8(3), pp. 105-111 (in Russian).
18. **Minaev, A.N., Zubova, O.V., Kulik, D.M., Siletsky, V.V. & Lugovoy, V.I.** (2020) The use of ash polymer mixtures in the construction of logging roads, *Izvestiya vyschych uchebnykh zavedeniy. Lesnoy journal*, 3(375), pp.106-116 (in Russian).
19. **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 (in Russian).
20. **Kvitko, A.V. & Shendrik, V.A.** (2021) On the issue of the causes of defects in structural elements of structures, *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport*, 4, pp. 52-59 (in Russian).
21. **Monakhov, S.A.** Hydraulic protection system of the underground part of the structure, *Patent for an invention RU2743226 C1* (in Russian).
22. **Murashov, A.O. & Abramov, M.A.** Methods of protecting buildings and structures from groundwater, *Semdesyat chetvertaya vserossiyskaya nauchno-technicheskaya konferenciya studentov, magistrantov i aspirantov vyschych uchebnykh zavedeniy s mezhdunarodnim uchastiem. Sbornik materialov konferencii: v 2 ch. Yaroslavl*, pp. 436-439 (in Russian).

Received 23.08.2022

Approved after reviewing 02.09.2022

Accepted 15.09.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 66.018.8:620.193.4

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_41

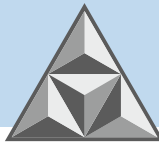
# Взаимосвязь изменений структурно-фазового состава и прочности гидрофобизированного бетона при воздействии хлоридсодержащей среды

**В.С. Коновалова**

Виктория Сергеевна Коновалова

Ивановский государственный политехнический университет

*kotprotiv@yandex.ru*



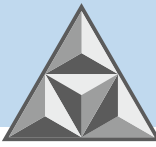
Связь между структурой цементного камня и механикой его разрушения устанавливается посредством изучения структурно-фазовых изменений в цементном камне под воздействием сильноагрессивной хлоридсодержащей среды. Для обеспечения объемной гидрофобизации цементного камня бетона предложено вводить в цементную смесь на стадии изготовления стеарат кальция в количестве 0.5 и 0.7 % мас. Изменение физико-механических характеристик образцов цементного камня фиксировали после 6 месяцев воздействия на них двухпроцентного раствора  $MgCl_2$ . Из структурных составляющих исследованной марки портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н низкоосновные гидросиликаты кальция, портландит и этtringит быстрее поддаются разложению при коррозии бетона в жидких хлоридсодержащих средах, что оказывает основное влияние на изменение прочностных характеристик бетона. В результате воздействия жидких хлоридсодержащих сред происходит снижение на 35% прочности на сжатие цементного камня бетона. Введение в цементную смесь гидрофобизатора стеарата кальция приводит к формированию высоко кристаллической структуры при твердении цементного камня бетона. В структуре гидрофобизированного цементного камня повышено содержание гидросиликатов кальция и этtringита, вследствие чего возрастает его прочность. При воздействии агрессивной хлоридсодержащей среды происходит незначительное снижение интенсивности кальцийсодержащих фаз, количество портландита в структуре цементного камня остается прежним. В результате хлоридной коррозии прочность гидрофобизированного бетона понижается на 8%.

**Ключевые слова:** объемная гидрофобизация, гидрофобизированный бетон, хлоридная коррозия, рентгеноструктурный анализ, прочность бетона, структурно-фазовый состав, коррозия бетона

**Для цитирования:**

**Коновалова В.С.** Взаимосвязь изменений структурно-фазового состава и прочности гидрофобизированного бетона при воздействии хлоридсодержащей среды // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 41-55. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_41



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_41

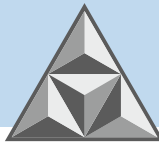
# The relationship of changes in the structural-phase composition and strength of hydrophobized concrete under the influence of a chloride-containing medium

**V.S. Konovalova**

Victoria S. Konovalova

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

*kotprotiv@yandex.ru*



*The relationship between the structure of cement stone and the mechanics of its destruction is established by studying the structural and phase changes occurring in cement stone under the influence of a highly aggressive chloride-containing medium. To ensure volumetric hydrophobization of concrete cement stone, it is proposed to introduce calcium stearate in the amount of 0.5 and 0.7 wt. % into the cement mixture at the manufacturing stage. Studies of changes in the physical and mechanical characteristics of cement stone samples were carried out after 6 months of exposure to an environment of a 2% MgCl<sub>2</sub> solution. Of the structural components of the studied brand of Portland cement CEM I 42.5N, low-base calcium hydrosilicates, portlandite and ettringite are more quickly decomposable during concrete corrosion in liquid chloride-containing media, which has a major effect on the change in the strength characteristics of concrete. As a result of exposure to liquid chloride-containing media, the compressive strength of concrete cement stone decreases by 35%. When the calcium stearate hydrophobizer is introduced into the cement mixture, a highly crystalline structure is formed during the hardening of concrete cement stone. In the structure of hydrophobized cement stone, the content of calcium hydrosilicates and ettringite is increased, resulting in an increase in strength. After exposure to an aggressive chloride-containing medium, there is a slight decrease in the intensity of calcium-containing phases, the amount of portlandite in the cement stone structure does not decrease. As a result of chloride corrosion, the strength of hydrophobized concrete decreases by 8%.*

**Key words:** volumetric hydrophobization, hydrophobized concrete, chloride corrosion, X-ray structural analysis, concrete strength, structural and phase composition, concrete corrosion

**For citation:**

**Konovalova, V.S. (2022)** The relationship of changes in the structural-phase composition and strength of hydrophobized concrete under the influence of a chloride-containing medium, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 41-55 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022) (in Russian).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_41



## ВВЕДЕНИЕ

В условиях, когда на бетонное изделие оказывает действие агрессивная среда, интенсивность развития процессов коррозии зависит от скорости проникновения в цементный камень агрессивных веществ [1-4]. Эта скорость в значительной степени определяется структурными особенностями цементного камня [5-8].

Наиболее агрессивными водорастворимыми веществами для железобетона являются хлорид-ионы [9-13], также значительное влияние на бетон оказывает карбонизация [14-19]. Поскольку взаимодействие компонентов бетона с агрессивными веществами происходит в жидкой среде, водопроницаемость бетона играет важную роль в развитии процессов коррозионной деструкции [20-23].

Бетон обладает высокой водопроницаемостью для газа и жидкостей благодаря сочетанию пористой микроструктуры и гидрофильной природы компонентов, цементной массы и минеральных заполнителей. Проникновение и перенос воды вызывают разрушение его структуры, что приводит к снижению функциональности и надежности бетонных изделий [2, 11, 24, 25].

Снижение проницаемости бетона является важной дополнительной мерой для предотвращения развития процессов коррозии. Обработка с целью уменьшения пористости поверхности путем введения специальных добавок во время смешивания компонентов бетона приводит к частичному или полному заполнению пор нерастворимыми соединениями, образующимися при взаимодействии добавок с определенными компонентами бетона [26-31]. В этом случае вся бетонная масса приобретает определенную устойчивость к воздействию воды.

Наиболее распространенными средствами, блокирующими поры бетона, являются фторсилкаты и силкаты, силаны и силоксаны, стеараты [32-37], а также модифицированные порошки микрокремнезема и золы [38, 39].

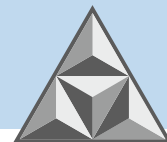
Установлено, что при введении в качестве гидрофобизирующих добавок в бетон стеаратов щелочных и щелочноземельных металлов в начальные сроки прочность на осевое сжатие снижается в 2-5 раз, по сравнению с негидрофобизированными образцами бетона [35, 40, 41]. В дальнейшем при затвердевании прочность бетонов на сжатие значительно увеличивается (в 20-40 раз), однако обоснование такому действию добавок на данный момент отсутствует [26, 42-44].

Поскольку между механикой и структурой разрушения цементного камня существует тесная связь, целью исследований является изучение структурно-фазовых изменений, происходящих в цементном камне при воздействии агрессивных сред.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводили на образцах размерами 10x10x10 см из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н с водоцементным соотношением В/Ц = 0,3, изготовленных из растворов нормальной густоты. Размеры образцов и условия их твердения – температура (20±2) °С и относительная влажность воздуха 50–70% – соответствуют ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний». Перед проведением испытаний образцы выдерживали в течение 28 суток для отверждения в нормальных условиях.

Марка цемента по водонепроницаемости W6 и W8 регулировалась гидрофобизирующей добавкой – стеаратом кальция и перед началом эксперимента определялась согласно



методике, описанной в патенте на изобретение РФ № 2187804 «Способ определения водонепроницаемости цементных материалов». Марке по водонепроницаемости W6 соответствует содержание стеарата кальция в количестве 0.5% от массы цемента, марке по водонепроницаемости W8 – 0.7%.

Концентрацию раствора  $MgCl_2$  20 г·л<sup>-1</sup> приняли в соответствии с СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» по таблице В3 приложения В как сильноагрессивную по отношению к бетону. Образцы цементного камня помещали в емкости, заполненные указанной хлоридсодержащей средой. Изменения физико-механических характеристик образцов цементного камня фиксировали после 6 мес. воздействия на них жидкой агрессивной среды.

Прочность бетонных образцов определяли по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Рентгенографический анализ позволяет качественно определить фазовый состав цементного камня. Для проведения исследования с поверхностей образцов цементного камня после их высушивания скалывали кусок, который затем измельчали до мелкодисперсного порошкообразного состояния. Рентгенограммы снимали на порошковом дифрактометре D8 Advance при  $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

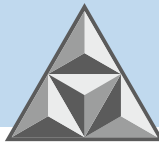
Долговечность бетона – один из важнейших показателей качества строительных конструкций, напрямую связанный с его прочностью. Хорошо известно, что повышение соотношения воды и цемента в бетоне приводит к снижению его прочности и увеличению степени пористости [1, 2, 45, 46]. Бетон с низкой прочностью является более проницаемым и менее долговечным [1, 3, 47, 48]. Однако для реальных железобетонных конструкций решение проблемы долговечности является более сложным, и одного учета прочности недостаточно.

На рис. 1, а приведена рентгенограмма образца из цементного камня, не подвергнувшегося воздействию агрессивной среды.

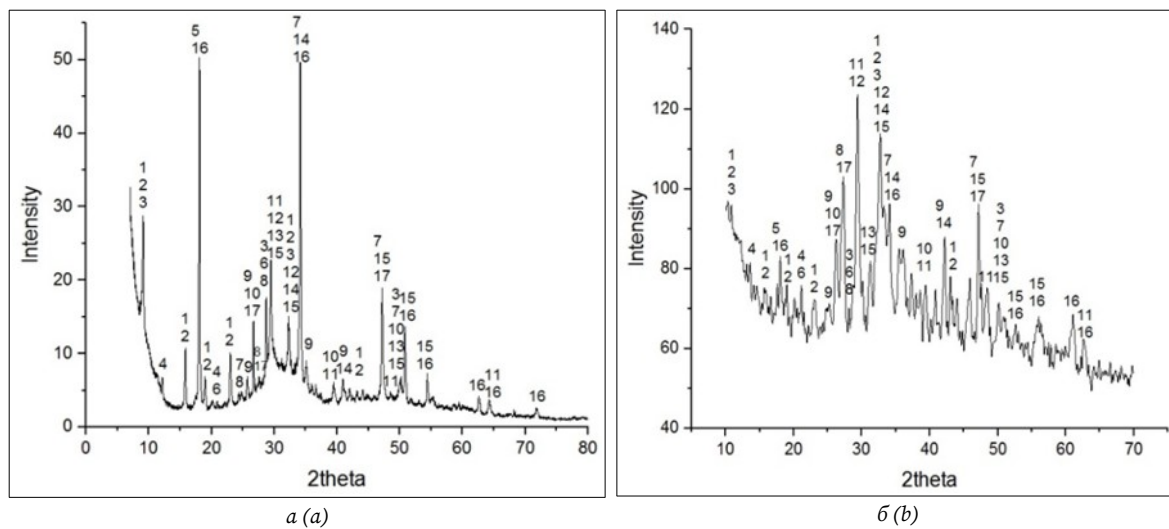
Узкие пики соответствуют высококристаллической структуре исследуемых образцов цементного камня. На рентгенограмме зафиксировано диффузионное гало в области  $2\theta = 29-36$  град., которое характеризует наличие рентгеноаморфных веществ, в частности, гидросиликатов кальция и тоберморитового геля.

В структурно-фазовом составе цементных образцов обнаружены негидратированные фазы цементного клинкера – алит  $C_3S$  и белит  $C_2S$ . Установлено совместное присутствие в цементном камне алита с продуктами его гидратации – низкоосновными C-S-H (I) и высокоосновными C-S-H (II) гидросиликатами кальция. Негидратированный браунмиллерит  $C_4AF$  представлен совместно с гидросиликатами кальция. Эттрингит и таумасит в цементном камне часто присутствуют в виде кристаллической смеси, поэтому на рентгенограммах они представлены совместными пиками. В образцах ярко выражены пики, отвечающие фазе портландита  $Ca(OH)_2$ . В структуре цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н содержится малое количество гипса. Пики низкой интенсивности (3-5%) на рентгенограммах образцов соответствуют продуктам гидратации минерала портландцемента трехкальциевого алюмината  $C_3A$  – восьми, тринадцати и девятнадцативодным гидроалюминатам кальция, а также высокосульфатной форме гидросульфогеррита кальция.

На рис. 1, б приведена рентгенограмма цементного камня после воздействия двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  в течение 6 месяцев. При коррозии цементного камня в жидких хлоридсодержащих средах происходит снижение интенсивности пиков. Это



свидетельствует об уменьшении содержания фазовых составляющих цементного камня вследствие разложения компонентов под воздействием хлорид-ионов.



**Рис. 1.** Рентгенограммы образца цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н до (а) и после воздействия в течение 6 месяцев двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  (б): 1 - таумасит; 2 - этtringит; 3 - С-S-Н (II); 4 - жисмондин; 5 - гиббсит; 6 - гипс; 7 - браунмиллерит; 8 - ксонотлит; 9 - силлиманит; 10 -  $\beta$ -кварц; 11 - кальцит; 12 - алит; 13 - тоберморит; 14 - белит; 15 - С-S-Н (I); 16 - портландит; 17 - кянит

**Fig. 1.** X-ray images of a sample of cement stone from Portland cement grade CEM I 42.5 N before (a) and after exposure for 6 months to a two percent  $MgCl_2$  solution (b): 1 - taumacite; 2 - ettringite; 3 - C-S-H (II); 4 - gismondine; 5 - gibbsite; 6 - gypsum; 7 - brownmillerite; 8 - xonotlite; 9 - sillimanite; 10 -  $\beta$ -quartz; 11 - calcite; 12 - alite; 13 - tobermorite; 14 - belite; 15 - C-S-H (I); 16 - portlandite; 17 - kyanite

Снижение интенсивности и исчезновение на рентгенограмме (см. рис. 1, б) линий, отвечающих продукту гидратации алита и белита – низкоосновному гидросиликату кальция С-S-Н (I), подтверждают данные прочностных испытаний цементных образцов после воздействия агрессивных сред (табл. 1). При хлоридной коррозии этой структурной фазы становится меньше, что приводит к снижению прочности цементного камня.

**Таблица 1.** Изменения прочности образцов цементного камня бетона из портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н под воздействием сильноагрессивной хлоридсодержащей среды

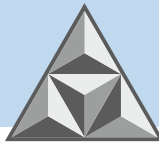
**Table 1.** Changes in the strength of cement stone concrete samples from Portland cement CEM I 42.5 N under the influence of a highly aggressive chloride-containing medium

| Марка бетона по водонепроницаемости | Концентрация $MgCl_2$ в растворе, г/л | Расчетное напряжение разрушения, МПа |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| -                                   | -                                     | 49.8                                 |
|                                     | 20                                    | 32.5                                 |
| W6                                  | -                                     | 58.2                                 |
|                                     | 20                                    | 53.8                                 |
| W8                                  | -                                     | 63.4                                 |
|                                     | 20                                    | 58.3                                 |

В результате коррозии цементного камня в жидких хлоридсодержащих средах на рентгенограмме происходит небольшой сдвиг рефлексов по значениям углов  $2\theta$ , что связано с изменением аморфно-кристаллической структуры. Однако для одних и тех же фаз пики остаются выраженными.

Снижение интенсивности пиков портландита  $Ca(OH)_2$  на рентгенограммах обусловлено его разрушением и вымыванием под воздействием на цементный камень водных агрессивных сред [49]. Вымывание портландита из цементного камня в результате коррозионных процессов приводит к дестабилизации высокоосновных гидратных фаз

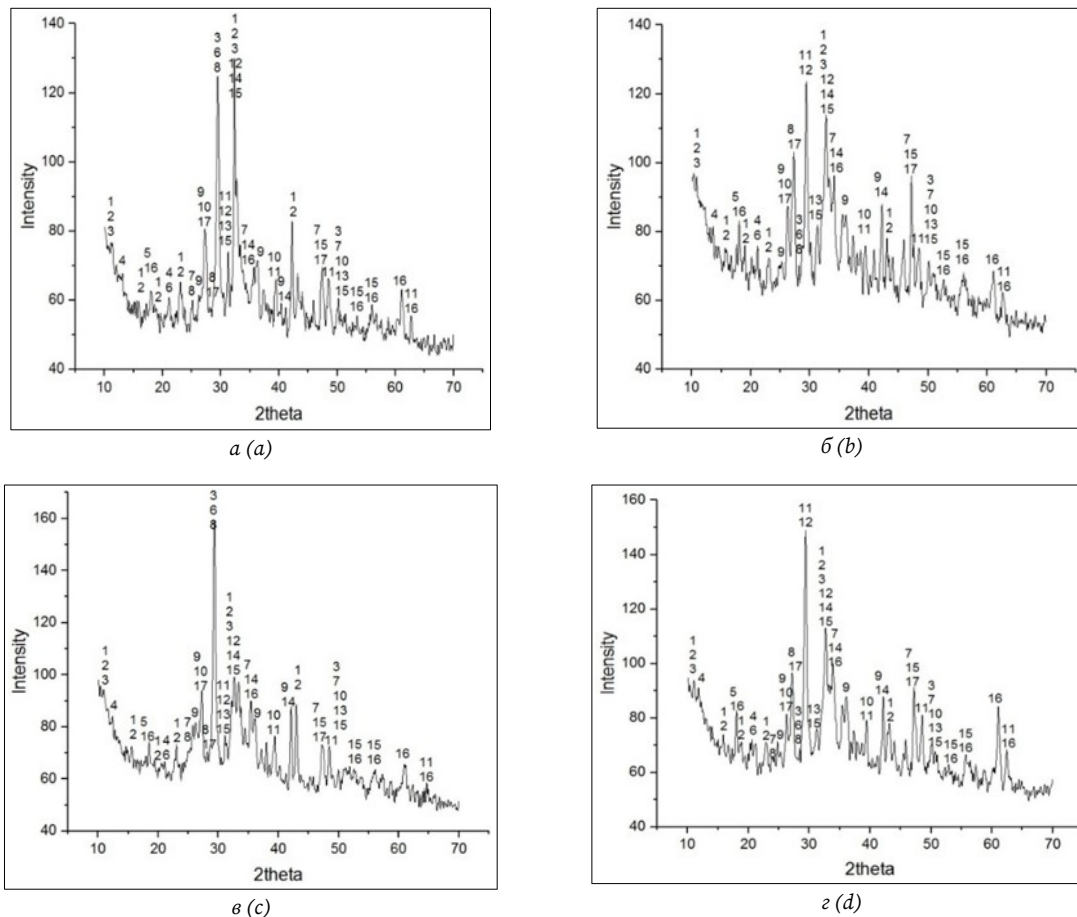




цементного камня. При воздействии двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  площади диффузионных гало уменьшаются; это свидетельствует о том, что рентгеноаморфных фаз в цементном камне становится меньше. Среднее снижение интенсивности линий, характеризующих совместное присутствие тоберморита и тоберморитоподобного гидросиликата кальция C-S-H (I), составило 67%.

При коррозии цементного камня в хлоридсодержащих средах происходит интенсивное уменьшение количества как кристаллических, так и рентгеноаморфных фаз. Так, в результате воздействия двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  на цементный камень происходит значительное снижение интенсивности всех кальцийсодержащих составляющих, что негативно сказывается на прочностных характеристиках (см. табл. 1).

Анализ рентгенограмм (рис. 2) показывает, что в результате введения гидрофобизирующих добавок в цементном камне изменяется соотношение структурных составляющих. В негидрофобизированных образцах (см. рис. 2, *в* и *г*) ярко выраженными являются пики, отвечающие фазе портландита, а в гидрофобизированных образцах (см. рис. 2, *а* и *б*) – гидросиликатам кальция, таумаситу и эттрингиту.



**Рис. 2.** Рентгенограммы образцов до (*а, в*) и после (*б, г*) воздействия на цементный камень двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  (*б, г*): *а, б* – гидрофобизированные образцы, динамика по марке водонепроницаемости W6; *в, г* – негидрофобизированные динамика по марке водонепроницаемости W8; 1 - таумасит; 2 - эттрингит; 3 - C-S-H (II); 4 - жисмондин; 5 - гибсит; 6 - гипс; 7 - браунмиллерит; 8 - ксонотлит; 9 - силлиманит; 10 -  $\beta$ -кварц; 11 - кальцит; 12 - алит; 13 - тоберморит; 14 - белит; 15 - C-S-H (I); 16 - портландит; 17 - кянит

**Fig. 2.** X-ray images of samples before (*a, c*) and after (*b, d*) exposure to cement stone with a two percent  $MgCl_2$  solution (*b, d*): *a, b* - hydrophobized samples, dynamics according to the waterproof grade W6; *c, d* - non-hydrophobized dynamics according to the waterproof grade W8; 1 - thaumacite; 2 - ettringite; 3 - C-S-H (II); 4 - gismondine; 5 - gibbsite; 6 - gypsum; 7 - brownmillerite; 8 - xonotlite; 9 - sillimanite; 10 -  $\beta$ -quartz; 11 - calcite; 12 - alite; 13 - tobermorite; 14 - belite; 15 - C-S-H (I); 16 - portlandite; 17 - kyanite



Узкие пики на рентгенограммах соответствуют кристаллической структуре исследуемых образцов цементного камня. На рентгенограммах зафиксировано диффузионное гало в области  $2\theta = 29-36$  град., которое подтверждает наличие рентгеноаморфных веществ, в частности гидросиликатов кальция и тоберморитового геля. У гидрофобизированных образцов гало менее выражено, вероятно, вследствие влияния стеарата кальция на формирование высококристаллической структуры цементного камня. Повышение интенсивности пиков на рентгенограммах гидрофобизированных образцов свидетельствует о более упорядоченной их кристаллической структуре.

В структурно-фазовом составе цементных образцов обнаружены негидратированные фазы цементного клинкера – алит  $C_3S$  и белит  $C_2S$ . Гидратация этих фаз может быть замедлена при введении гидрофобизатора – стеарата кальция на стадии изготовления цементного теста.

При воздействии двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  на цементный камень происходит снижение интенсивности кальцийсодержащих фаз, что должно негативно отражаться на прочностных характеристиках материала. В частности, в негидрофобизированном цементном камне в результате коррозии происходит значительное уменьшение содержания гидросиликата кальция C-S-H (II) (см. рис. 2, в и 2, г соответственно). С другой стороны, в результате воздействия агрессивной среды не происходит существенное выведение кальция из структуры цементного камня, приготовленного с включением добавки стеарата кальция (см. рис. 2, а и б). Пики портландита остаются выраженными, количество их не изменяется.

Данные определения прочности образцов на сжатие показали (см. табл. 1), что при введении гидрофобизатора она повышается. Это объясняется образованием высококристаллической структуры отвержденного цементного камня. В результате действия агрессивной среды на гидрофобизированные образцы их прочность снижается не столь значительно, как у исходного образца (без добавки). Таким образом, введение гидрофобизатора стеарата кальция в цементную смесь на стадии ее приготовления улучшает структуру бетона и повышает его прочностные характеристики.

Рост расчетного напряжения разрушения связан со структурно-фазовыми превращениями, происходящими в цементном камне под действием агрессивной среды.

## ВЫВОДЫ

При воздействии агрессивных хлоридсодержащих сред происходят изменения в структурно-фазовом составе цементного камня бетона, приводящие к ухудшению его прочностных характеристик. Результаты оценки воздействия двухпроцентного раствора  $MgCl_2$  на цементный камень с использованием рентгеноструктурного анализа указывают на снижение содержания всех кальцийсодержащих фаз. Зафиксировано разложение рентгеноаморфной фазы гидросиликатов кальция и тоберморитового геля из структуры бетона.

Уменьшение массовой доли гидросиликатов кальция и этtringита, а также других кристаллических фаз в цементном камне приводит к снижению на 35% прочности его при сжатии за 6 мес. хлоридной коррозии.

В результате введения стеарата кальция в цементную смесь при твердении происходит образование высококристаллической структуры с повышенным содержанием гидросиликатов кальция, таумасита и этtringита. Прочность гидрофобизированного цементного камня на 20% выше, чем у исходного образца (без добавки).

При воздействии в течение 6 месяцев жидкой хлоридсодержащей среды прочностные



характеристики гидрофобизированного цементного камня изменяются менее интенсивно (прочность на сжатие снижается на 8%).

Таким образом, с использованием методов рентгенофазового анализа установлена взаимосвязь между характеристиками структуры цементного камня и параметрами его прочности. Долговременная прочность и трещиностойкость бетона определяются не только пористостью и степенью гидратации, но и характеристиками дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Степанова В.Ф.** Долговечность бетона. М.: Изд-во АСВ. 2014. 126 с.
2. **Баженов Ю.М.** Технология бетона. М.: Изд-во АСВ. 2011. 524 с.
3. **Шудьяков К.В., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я.** Структурный фактор долговечности бетона // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2020. Т. 20, № 1. С. 46-51. DOI:10.14529/build200105.
4. **Леонович С.Н., Прасол А.В.** Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 94-95.
5. **Stroková V.V., Zhernovsky I.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D.** Structural Transformations of Cement Stone in Conditions of Development of the Biocenosis of a Poultry Enterprise // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 945. P. 269-275. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.269.
6. **Blikharsky Y., Selejdak J., Kopyika N., Vashkevych R.** Study of Concrete under Combined Action of Aggressive Environment and Long-Term Loading // *Materials*. 2021. Vol. 14. P. 6612. DOI: 10.3390/ma14216612.
7. **Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Beskopylny A., Mailyan L.R., Meskhi B.** Increasing the Corrosion Resistance and Durability of Geopolymer Concrete Structures of Agricultural Buildings Operating in Specific Conditions of Aggressive Environments of Livestock Buildings // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 1655. DOI: 10.3390/app12031655.
8. **de Gutiérrez R.M.** Effect of supplementary cementing materials on the concrete corrosion control // *Revista de Metalurgia*. 2003. Vol. 39. P. 250-255.
9. **Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В.** О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // *Строительные материалы*. 2017. № 1-2. С. 82-85.
10. **Смоляго Г.А., Крючков А.А., Дрокин С.В., Дронов А.В.** Исследование аспектов хлоридной коррозии железобетонных конструкций // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 2. С. 22-24.
11. **Москвин В.М.** Коррозия бетона. М.: Госстройиздат. 1952. 342 с.
12. **Sun W., Liu J., Yan J., Dai Y.** Study on the Influence of Chloride Ions Content on the Sea Sand Concrete Performance // *American Journal of Civil Engineering*. 2016. Vol. 4, no. 2. P. 50-54. DOI: 10.11648/j.ajce.20160402.12
13. **Neville A.** Chloride attack of reinforced concrete: an overview // *Materials and Structures*. 1995. V. 28. P. 63. DOI:10.1007/BF02473172
14. **Zhu X., Meng Z., Liu Y., Xu L., Chen Z.** Entire Process Simulation of Corrosion due to the Ingress of Chloride Ions and CO<sub>2</sub> in Concrete // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 2018. Article ID 9254865. DOI: 10.1155/2018/9254865.
15. **Гильмутдинов Т.З., Федоров П.А., Латыпов П.М.** Результаты исследований по ускоренной карбонизации бетона и цементного камня во влажных условиях эксплуатации // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 1. С. 155-162.
16. **Васильев А.А.** Оценка карбонизации и развития ее параметров во времени по сечению бетонов для различных эксплуатационных условий // *Вестник Полоцкого государственного университета*.



- Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. 2021. № 8. С. 43-52.
17. **Ho D.W.S., Lewis R.K.** Carbonation of concrete and its prediction // *Cement and Concrete Research*. 1987. Vol. 17, no. 3. P. 489-504. DOI: 10.1016/0008-8846(87)90012-3.
  18. **Singh N., Singh S.P.** Reviewing the Carbonation Resistance of Concrete // *Journal of materials and engineering structures*. 2016. Vol. 3. P. 35-57.
  19. **Cho H.-C., Ju H., Oh J.-Y., Lee K.J., Hahm K.W., Kim K.S.** Estimation of Concrete Carbonation Depth Considering Multiple Influencing Factors on the Deterioration of Durability for Reinforced Concrete Structures // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 2016. Article ID 4814609. DOI: 10.1155/2016/4814609.
  20. **Zhang R., Liu P., Ma L., Yang Z., Chen H., Zhu H.X., Xiao H., Li J.** Research on the Corrosion/Permeability/Frost Resistance of Concrete by Experimental and Microscopic Mechanisms Under Different Water-Binder Ratios // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2020. Vol. 14. P. 10. DOI: 10.1186/s40069-019-0382-8.
  21. **Goncharova N.I.** The Capillary Permeability of Concrete in Salt Media // *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2021. Vol. 11, no. 103. P. 917-921. DOI: 10.15863/TAS.2021.11.103.107.
  22. **Bamforth P.B.** The water permeability of concrete and its relationship with strength // *Magazine of Concrete Research*. 1991. Vol. 43, no. 157. P. 233-241. DOI: 10.1680/MACR.1991.43.157.233.
  23. **Li X., Xu Q., Chen S.** An experimental and numerical study on water permeability of concrete // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. P. 503-510. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.184.
  24. **Zhang Y., Xu S., Fang Z., Zhang J., Mao C.** Permeability of Concrete and Correlation with Microstructure Parameters Determined by <sup>1</sup>H NMR // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 2020. Article ID 4969680. DOI: 10.1155/2020%2F4969680.
  25. **Villar M.V., Martín P.L., Romero F.J., Gutiérrez-Rodrigo V., Barcala J.M.** Gas and water permeability of concrete // *Geological Society, London, Special Publications*. 2015. Vol. 415. P. 59-73. DOI: 10.1144/SP415.6.
  26. **Хигерович М.И., Байер В.Е.** Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. М.: Стройиздат. 1979. 126 с.
  27. **Дергунов С.А., Рубцова В.Н., Орехов С.А.** Гидрофобизация минеральных систем // *СтройПРОФиль*. 2009. № 6 (76). С. 17-20.
  28. **Массалимов И.А., Янахметов М.Р., Чуйкин А.Е., Массалимов Б.И., Уракаев Ф.Х., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М.** Гидрофобизация плотного и мелкозернистого бетонов полисульфидными растворами // *Нанотехнологии в строительстве*. 2016. Т. 8, № 5. С. 85-99. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-85-99.
  29. **Петров Н.А., Конесев Г.В., Давыдова И.Н.** Отрицательные и положительные последствия обработки буровых растворов жидкостями гкж-10 (11, 11н) // *Нефтегазовое дело*. 2006. № 2. 7 с. URL: [https://www.studmed.ru/neftegazovoe-delo-2006-01\\_2e771048ae6.html?ysclid=l7efqu2n64601291978](https://www.studmed.ru/neftegazovoe-delo-2006-01_2e771048ae6.html?ysclid=l7efqu2n64601291978)
  30. **Cappellesso V.G., dos Santos Petry N., Dal Molin D.C.C., Masuero B.** Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete // *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2016. Vol. 1. P. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
  31. **Skutnik Z., Sobolewski M., Koda E.** An Experimental Assessment of the Water Permeability of Concrete with a Superplasticizer and Admixtures // *Materials*. 2020. Vol. 13, no. 24. P. 5624. DOI: 10.3390/ma13245624.
  32. **Христофоров А.И., Христофорова И.А., Еропов О.Л.** Бетонная смесь, модифицированная аэросилом и тетраэтоксисилоном // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*. 2011. Т. 4, № 6. С. 704-710.
  33. **Рамачандран В.С.** Добавки в бетон. М.: Стройиздат. 1988. 575 с.
  34. **Dai J.-G., Akira Y., Wittmann F., Yokota H., Zhang P.** Water repellent surface impregnation for

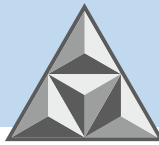


- extension of service life of reinforced concrete structures in marine environments: The role of cracks // *Cement and Concrete Composites*. 2010. Vol. 32. P. 101-109. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.11.001.
35. **Мороз М.Н., Петухов А.В., Калашников В.И.** Мелкозернистые бетоны на карбонатно-глиношлаковых вяжущих, гидрофобизированных стеаратом цинка // *Молодой ученый*. 2014. № 13. С. 59-61.
36. **Dong B., Wang F., Abadikhah H., Hao L.Y., Xu X., Khan S.A., Wang G., Agathopoulos S.** Simple Fabrication of Concrete with Remarkable Self-Cleaning Ability, Robust Superhydrophobicity, Tailored Porosity, and Highly Thermal and Sound Insulation // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2019. Vol. 11. P. 42801-42807. DOI: 10.1021/acsami.9b14929.
37. **Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е., Кокшаров С.А., Ахмадулина А.С., Соколова Ю.А.** Применение механомагнитоактивированных водных растворов жидкого стекла для модифицирования мелкозернистых композитов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 6 (366). С. 58-65.
38. **Wong H.S., Barakat R., Al Hilali A., Saleh M., Cheeseman C.R.** Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash // *Cement and Concrete Research*. 2015. Vol. 70. P. 9-20. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.01.005.
39. **Mora E., González G., Romero P., Castellón E.** Control of water absorption in concrete materials by modification with hybrid hydrophobic silica particles // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 221. P. 210-218. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.086.
40. **Мороз М.Н., Калашников В.И., Петухов А.В.** Морозостойкость гидрофобизированных бетонов // *Молодой ученый*. 2014. № 19. С. 222-225.
41. **Zhu Y.-G., Kou S.-C., Poon C.-S., Dai J.-G., Li Q.-Y.** Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete // *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 35, no 1. P. 32-38. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2012.08.008.
42. **Трофимова И.А.** Аналитический обзор исследований физико-механических свойств бетонов с объемной гидрофобизацией // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 4 (231-232). С. 77-82.
43. **Несветаев Г.В., Козлов А.В., Филонов И.А.** Влияние некоторых гидрофобизирующих добавок на изменение прочности цементного камня // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 2 (25). С. 134.
44. **Al-Kheetan M.J., Rahman M.M., Chamberlain D.A.** Development of hydrophobic concrete by adding dual-crystalline admixture at mixing stage // *Structural Concrete*. 2018. Vol. 19, no. 5. P. 1504-1511. DOI: 10.1002/suco.201700254.
45. **Бутт Ю.М., Окорочков С.Д., Сычев М.М., Тимашев В.В.** Технология вяжущих веществ. М.: Высшая школа. 1965. 620 с.
46. **Gjorv O.E.** Durability of Concrete Structures // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2011. Vol. 36. P. 151-172. DOI: 10.1007/s13369-010-0033-5.
47. **Iffat S.** Relation Between Density and Compressive Strength of Hardened Concrete // *Concrete Research Letters*. 2015. Vol. 6, no. 4. P. 182-189.
48. **Nie Q., Zhou C., Shu X., He Q., Huang B.** Chemical, Mechanical, and Durability Properties of Concrete with Local Mineral Admixtures under Sulfate Environment in Northwest China // *Materials*. 2014. Vol. 7, no. 5. P. 3772-3785. DOI: 10.3390/ma7053772
49. **Konovalova V.S.** Influence of chloride-containing media on the protective properties of concrete // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 95. P. 260-265. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6\_39.

Поступила в редакцию 28.08.2022

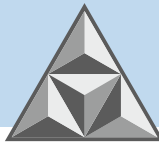
Одобрена после рецензирования 02.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

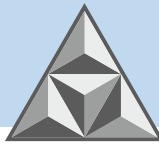


## REFERENCES

1. **Stepanova, V.F.** (2014) *Durability of concrete*. M.: Izd-vo ASV (in Russian).
2. **Bazhenov, Yu.M.** (2011) *Technology of concrete*. M.: Izd-vo ASV (in Russian).
3. **Shuldyakov, K.V., Trofimov, B.Ya. & Kramar, L.Ya.** (2020) Structural factor of concrete durability, *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i rkhitektura*, 20(1), pp. 46-51. DOI: 10.14529/build200105 (in Russian).
4. **Leonovich, S.N. & Prasol, A.V.** (2013) Reinforced concrete under conditions of chloride corrosion: deformation and destruction, *Stroitel'nye materialy*, 5, pp. 94-95 (in Russian).
5. **Strokovaya, V.V., Zhernovskiy, I.V., Nelyubova, V.V. & Rykunova, M.D.** (2019) Structural Transformations of Cement Stone in Conditions of Development of the Biocenosis of a Poultry Enterprise, *Materials Science Forum*, 945, pp. 269-275. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.269.
6. **Blikharskiy, Y., Selejdak, J., Kopsiika, N. & Vashkevych, R.** (2021) Study of Concrete under Combined Action of Aggressive Environment and Long-Term Loading, *Materials*, 14, p. 6612. DOI: 10.3390/ma14216612.
7. **Shcherban', E.M., Stel'makh, S.A., Beskopylny, A., Mailyan, L.R. & Meskhi, B.** (2022) Increasing the Corrosion Resistance and Durability of Geopolymer Concrete Structures of Agricultural Buildings Operating in Specific Conditions of Aggressive Environments of Livestock Buildings, *Applied Sciences*, 12(3), p. 1655. DOI: 10.3390/app12031655.
8. **De Gutiérrez, R.M.** (2003) mEffect of supplementary cementing materials on the concrete corrosion control, *Revista de Metalurgia*, 39, pp. 250-255.
9. **Rozenal, N.K., Stepanova, V.F. & Chekhny, G.V.** (2017) About maximum admissible content of chlorides in concrete, *Stroitel'nye materialy*, 1-2, pp. 82-85 (in Russian).
10. **Smolyago, G.A., Kryuchkov, A.A., Drokin, S.V. & Dronov, A.V.** (2014) Investigation of aspects of chloride corrosion of reinforced concrete structures, *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2, pp. 22-24 (in Russian).
11. **Moskvin, V.M.** (1952) *Corrosion of concrete*. M.: Gosstroyizdat (in Russian).
12. **Sun, W., Liu, J., Yan, J. & Dai, Y.** (2016) Study on the Influence of Chloride Ions Content on the Sea Sand Concrete Performance, *American Journal of Civil Engineering*, 4(2), pp. 50-54. DOI: 10.11648/j.ajce.20160402.12.
13. **Neville, A.** (1995) Chloride attack of reinforced concrete: an overview, *Materials and Structures*, 28, P. 63. DOI:10.1007/BF02473172
14. **Zhu, X., Meng, Z., Liu, Y., Xu, L. & Chen, Z.** (2018) Entire Process Simulation of Corrosion due to the Ingress of Chloride Ions and CO<sub>2</sub> in Concrete, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. Article ID 9254865. DOI: 10.1155/2018/9254865.
15. **Gilmudtinov, T.Z., Fedorov, P.A. & Latypov, V.M.** (2016) Results of researches of the accelerated carbonization of concrete and cement stone in normal temperature and moist conditions of the environment, *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 1, pp. 155-162 (in Russian).
16. **Vasiliev, A.A.** (2021) Assessment of carbonization and development of its parameters during time crossed concrete for different operating conditions, *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, 8, pp. 43-52 (in Russian).
17. **Ho, D.W.S. & Lewis, R.K.** (1987) Carbonation of concrete and its prediction, *Cement and Concrete Research*, 17(3), pp. 489-504. DOI: 10.1016/0008-8846(87)90012-3.
18. **Singh, N. & Singh, S.P.** (2016) Reviewing the Carbonation Resistance of Concrete, *Journal of materials and engineering structures*, 3, pp. 35-57.
19. **Cho, H.-C., Ju, H., Oh, J.-Y., Lee, K.J., Hahm, K.W. & Kim, K.S.** (2016) Estimation of Concrete



- Carbonation Depth Considering Multiple Influencing Factors on the Deterioration of Durability for Reinforced Concrete Structures, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016. Article ID 4814609. DOI: 10.1155/2016/4814609.
20. **Zhang, R., Liu, P., Ma, L., Yang, Z., Chen, H., Zhu, H.X., Xiao, H. & Li, J.** (2020) Research on the Corrosion/Permeability/Frost Resistance of Concrete by Experimental and Microscopic Mechanisms Under Different Water–Binder Ratios, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14, p. 10. DOI: 10.1186/s40069-019-0382-8.
  21. **Goncharova, N.I.** (2021) The Capillary Permeability of Concrete in Salt Media, *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11(103), pp. 917-921. DOI: 10.15863/TAS.2021.11.103.107.
  22. **Bamforth, P.B.** (1991) The water permeability of concrete and its relationship with strength, *Magazine of Concrete Research*, 43(157), pp. 233-241. DOI: 10.1680/MACR.1991.43.157.233.
  23. **Li, X., Xu, Q., Chen, S.** (2016) An experimental and numerical study on water permeability of concrete, *Construction and Building Materials*, 105, pp. 503-510. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.184.
  24. **Zhang, Y., Xu, S., Fang, Z., Zhang, J. & Mao, C.** (2020) Permeability of Concrete and Correlation with Microstructure Parameters Determined by <sup>1</sup>H NMR, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. Article ID 4969680. DOI: 10.1155/2020%2F4969680.
  25. **Villar, M.V., Martín, P.L., Romero, F.J., Gutiérrez-Rodrigo, V. & Barcala, J.M.** (2015) Gas and water permeability of concrete, *Geological Society, London, Special Publications*, 415, pp. 59-73. DOI: 10.1144/SP415.6.
  26. **Higerovich, M.I. & Bayer, V.E.** (1979) *Hydrophobic plasticizing additives for cements, mortars and concretes*. M: Stroyizdat (in Russian).
  27. **Dergunov, S.A., Rubtsova, V.N. & Orekhov, S.A.** (2009) Hydrophobization of mineral systems, *StroyPROfil*, 6 (76), pp. 17-20 (in Russian).
  28. **Massalimov, I.A., Yanakhmetov, M.R., Chuykin, A.E., Massalimov, B.I., Urakaev, F.H., Uralbekov, B.M. & Burkitbaev, M.M.** (2016) Hydrophobization of dense and fine concrete by polysulfide solutions, *Nanotekhnologii v stroitel'stve*, 8(5), pp. 85-99. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-85-99 (in Russian).
  29. **Petrov, N.A., Konsev, G.V. & Davydova, I.N.** (2006) Negative and positive consequences of treatment of drilling fluids with liquids GKZH-10 (11, 11H), *Neftegazovoe delo*, 2, 7 p. [online]. Available at: [https://www.studmed.ru/neftegazovoe-delo-2006-01\\_2e771048ae6.html?ysclid=17efqu2n64601291978](https://www.studmed.ru/neftegazovoe-delo-2006-01_2e771048ae6.html?ysclid=17efqu2n64601291978) (in Russian).
  30. **Cappellesso, V.G., dos Santos Petry, N., Dal Molin, D.C.C. & Masuero, B.** (2016) Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete, *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1, p. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
  31. **Skutnik, Z., Sobolewski, M. & Koda, E.** (2020) An Experimental Assessment of the Water Permeability of Concrete with a Superplasticizer and Admixtures, *Materials*, 13(24), p. 5624. DOI: 10.3390/ma13245624.
  32. **Khristoforov, A.I., Khristoforova, I.A. & Eropov, O.L.** (2011) Modification of Concrete and Organic Nanoparticles Substances, *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 4(6), pp. 704-710 (in Russian).
  33. **Ramachandran, V.S.** (1988) *Concrete admixtures*. M.: Stroyizdat (in Russian).
  34. **Dai, J.-G., Akira, Y., Wittmann, F., Yokota, H. & Zhang, P.** (2010) Water repellent surface impregnation for extension of service life of reinforced concrete structures in marine environments: The role of cracks, *Cement and Concrete Composites*, 32, pp. 101-109. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.11.001.
  35. **Moroz, M.N., Petukhov, A.V. & Kalashnikov, V.I.** (2014) Fine-grained concrete on carbonate and argil cindery binders, water repellent with zinc stearate, *Molodoj uchenyj*, 13, pp. 59-61 (in Russian).
  36. **Dong, B., Wang, F., Abadikhah, H., Hao, L.Y., Xu, X., Khan, S.A., Wang, G. & Agathopoulos, S.** (2019) Simple Fabrication of Concrete with Remarkable Self-Cleaning Ability, Robust Superhydrophobicity, Tailored Porosity, and Highly Thermal and Sound Insulation, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11,



pp. 42801-42807. DOI: 10.1021/acsami.9b14929.

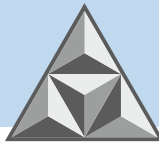
37. **Fedosov, S.V., Akulova, M.V., Slizneva, T.E., Koksharov, S.A., Akhmadulina, A.S. & Okolova, Yu.A.** (2016) Application of mechanic and magnetic activated liquid glass water solutions for fine-grained composites modifying, *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 6 (366), pp. 58-65 (in Russian).
38. **Wong, H.S., Barakat, R., Al Hilali, A., Saleh, M. & Cheeseman, C.R.** (2015) Hydrophobic concrete using waste paper sludge ash, *Cement and Concrete Research*, 70, pp. 9-20. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.01.005.
39. **Mora, E., González, G., Romero, P. & Castellón, E.** (2019) Control of water absorption in concrete materials by modification with hybrid hydrophobic silica particles, *Construction and Building Materials*, 221, pp. 210-218. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.086.
40. **Moroz, M.N., Kalashnikov, V.I. & Petukhov, A.V.** (2014) Frost resistance of water repellent concrete, *Molodoj uchenyj*, 19, pp. 222-225 (in Russian).
41. **Zhu, Y.-G., Kou, S.-C., Poon, C.-S., Dai, J.-G. & Li, Q.-Y.** (2013) Influence of silane-based water repellent on the durability properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Composites*, 35(1), pp. 32-38. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2012.08.008.
42. **Trofimova, I.A.** (2017) Analytical review of research phizic-mechanical properties of concretes with volume hydrophobization, *Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoi akademii budivnictva ta arhiekturi*, 4(231-232), pp. 77-82 (in Russian).
43. **Nesvetaev, G.V., Kozlov, A.V. & Filonov, I.A.** (2013) The influence of some water-repellent additives on the change in the strength of cement stone, *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2(25), 134 p. (in Russian).
44. **Al-Kheetan, M.J., Rahman, M.M. & Chamberlain, D.A.** (2018) Development of hydrophobic concrete by adding dual-crystalline admixture at mixing stage, *Structural Concrete*, 19(5), pp. 1504-1511. DOI: 10.1002/suco.201700254.
45. **Butt, Yu.M., Okorokov, S.D., Sychev, M.M. & Timashev, V.V.** (1965) *Technology of binders*. M.: Vysshaya shkola (in Russian).
46. **Gjørsv, O.E.** (2011) Durability of Concrete Structures, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 36, pp. 151-172. DOI: 10.1007/s13369-010-0033-5.
47. **Iffat, S.** (2015) Relation Between Density and Compressive Strength of Hardened Concrete, *Concrete Research Letters*, 6(4), pp. 182-189.
48. **Nie, Q., Zhou, C., Shu, X., He, Q. & Huang, B.** (2014) Chemical, Mechanical, and Durability Properties of Concrete with Local Mineral Admixtures under Sulfate Environment in Northwest China, *Materials*, 7(5), pp. 3772-3785. DOI: 10.3390/ma7053772.
49. **Konovalova, V.S.** (2021) Influence of chloride-containing media on the protective properties of concrete, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 95, pp. 260-265. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6\_39.

Received 28.08.2022

Approved after reviewing 02.09.2022

Accepted 15.09.2022





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

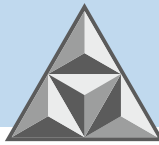
УДК 725.38

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_56

# Неразрушающие георадиолокационные методы мониторинга состояния автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне

**А.М. Кулижников**

Александр Михайлович Кулижников  
ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Российская Федерация  
*Kulizhnikov@rosdornii.ru*



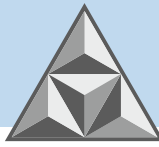
*Решение национальных задач в Арктической зоне Российской Федерации предполагает использование неразрушающих георадиолокационных методов для совершенствования дорожных конструкций при эксплуатации и содержании сети автомобильных дорог. Приведены результаты георадарных обследований автомобильных дорог и разработаны рекомендации по повышению надежности дорожных сооружений. Представлены результаты определения георадиолокационными методами толщины и структуры льда на ледовых переправах. Представлены конструктивные предложения по организации мониторинговых работ за состоянием дорожных конструкций и ледовых переправ.*

**Ключевые слова:** Арктическая зона, георадар, мониторинг, автомобильные дороги, ледовые переправы, ослабленные зоны, толщина, структура, лед

**Для цитирования:**

**Кулижников А.М.** Неразрушающие георадиолокационные методы мониторинга состояния автомобильных дорог и ледовых переправ в Арктической зоне // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 56-69. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_56



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_56

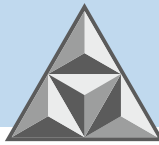
# Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone

**A.M. Kulizhnikov**

Alexander M. Kulizhnikov

FAA "ROSDORNII", Moscow, Russian Federation

*Kulizhnikov@rosdornii.ru*



*The solution of national tasks in the Arctic zone of the Russian Federation involves the use of non-destructive geo-radar methods to improve road structures during the operation and maintenance of the highway network. The results of georadar surveys of highways are presented and recommendations for improving the reliability of road structures are developed. The results of determining the thickness and structure of ice at ice crossings by georadolocation methods are presented. Constructive proposals for the organization of monitoring work on the condition of road structures and ice crossings are presented. Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone.*

**Key words:** Arctic zone, georadar, monitoring, highways, ice crossings, weakened zones, thickness, structure, ice

**For citation:**

**Kulizhnikov, A.M. (2022)** Non-destructive geo-radar methods for monitoring the condition of highways and ice crossings in the Arctic zone, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 56-69 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022) (in Russian).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_56



## ВВЕДЕНИЕ

Национальными задачами в Арктической зоне являются:

- использование Арктической зоны в качестве стратегической ресурсной базы;
- развитие Северного морского пути как национальной единой транспортной коммуникации;

- сбережение уникальной экологической системы в Арктике;
- сохранение Арктики как зоны мира и международного сотрудничества

Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. (утверждена Распоряжением правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р), для решения национальных задач предусмотрено развитие сети автомобильных дорог в Арктической зоне Российской Федерации. При этом повысится транспортная доступность населенных пунктов и перспективных минерально-сырьевых центров – путем связи с объектами узловой транспортной инфраструктуры, в том числе экспортными портами и ключевыми центрами потребления.

Перспективными проектами развития автодорожной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации станут автомобильная дорога Нарьян-Мар – Усинск, межрегиональная автомобильная дорога Колыма – Омсукчан – Омолон – Анадырь, строительство и реконструкция участков автомобильной дороги Сыктывкар – Ухта – Печора – Усинск – Нарьян-Мар.

В то же время на автомобильных дорогах в Арктической зоне возникают проблемы связанные с просадками дорожных конструкций и размывами отдельных участков дорог паводковыми водами.

При решении задач по государственной программе «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года», с учетом расширения ее реальных рамок до 2025 г., большое значение имеет продвижение инновационных технологий в сфере транспорта.

Высокая производительность работ и наличие нормативно-технической документации обуславливают целесообразность применения неразрушающих георадиолокационных методов при мониторинговых обследованиях автомобильных дорог и ледовых переправ.

На сегодняшний день имеется опыт применения инновационных георадиолокационных методов в Арктической зоне на горных предприятиях, гидротехнических сооружениях, котлованах и площадках для строительства, при обнаружении подземных инженерных коммуникаций [1, 2]. В настоящей работе приводятся некоторые результаты обследования автомобильных дорог и ледовых переправ, свидетельствующие об эффективности и целесообразности выполнения мониторинговых наблюдений на дорожных объектах георадиолокационными методами.

### *Опыт выполнения работ ФАУ «РОСДОРНИИ»*

ФАУ «РОСДОРНИИ» с конца XX века успешно применяет инновационные неразрушающие георадарные технологии в дорожной отрасли, которые показали свою эффективность в Арктической зоне по следующим направлениям:

- инженерно-геологические изыскания при прокладке трасс автомобильных дорог, ледовых переправ и трубопроводов, в том числе при оценке грузоподъемности ледовых дорог и ледовых переправ;

- георадарное обследование автомобильных дорог для определения причин разрушений участков автомобильных дорог и назначения эффективных видов работ при реконструкции



и капитальном ремонте;

- контроль качества выполненных дорожно-строительных работ;
- разведка и оценка запасов дорожно-строительных материалов в притрассовых карьерах.

По перечисленным направлениям георадиолокационных работ ФАУ «РОСДОРНИИ» разработаны и введены в действие два межгосударственных [3, 4] и три национальных стандарта [5-7], внесены изменения в СП 78.13330.2012 [8], а также подготовлены и введены в действие пять отраслевых дорожных методик.

ФАУ «РОСДОРНИИ» имеет более чем двадцатилетний опыт применения инновационных георадарных технологий на дорожных объектах Арктического региона в Мурманской и Архангельской областях, Ямало-Ненецком округе, Республиках Коми и Саха (Якутия). Ведение георадиолокационных работ особенно эффективно в зимний период – при короткой продолжительности светового дня, высокой мощности ледяного покрова, а также в сложных грунтово-гидрогеологических условиях, например, при наличии многолетнемерзлых грунтов, подвергающихся оттаиванию в летний период.

Преимущества применения георадара в условиях Арктики очевидны: при относительной диэлектрической проницаемости, равной 2-5, сопротивление пород многолетней мерзлоты очень велико. Это обуславливает малые коэффициенты поглощения и высокую скорость распространения радиоволн, следовательно, большую глубину георадиолокационных исследований георадаром. Одновременно следует отметить, что данные высокопроизводительные неразрушающие методы решают задачу сбережения уникальной экологической системы в Арктике.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении исследований использовали георадары серии «ОКО-2» (разработчик ООО «ЛОГиС») с различной центральной частотой антенных блоков – от низко- (150, 250 и 400 МГц) до высокочастотных (1200 и 1700 МГц). Глубина зондирования применительно к дорожным конструкциям составляла от 0.7 до 12.0 м. Обработку радарограмм выполняли в программном комплексе «Geoscan 32». Исследования проводили на различных участках автомобильных дорог и ледовых переправ в период с 2003 по 2021 г. Отличительной особенностью георадарных работ является непрерывная запись радарограмм по длине профиля.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обследования автомобильных дорог георадарами серии «ОКО» с целью выявления причин просадок насыпей выполнялись ФАУ «РОСДОРНИИ» по государственному контракту с Федеральным дорожным агентством, в том числе на участке автомобильной дороги «Калыма», где определяли геологическое строение (рис. 1) и глубину заложения многолетнемерзлых грунтов, устанавливали местоположение ослабленных зон – участки переувлажненных и разуплотненных грунтов (рис. 2), оценивали грунтово-гидрогеологические условия и определяли причины нарушения устойчивости земляного полотна [9]. Для представления в цифровом виде радарограмма может быть оцифрована в системе координат «время прохождения сигнала, амплитуда и частота электромагнитных колебаний».

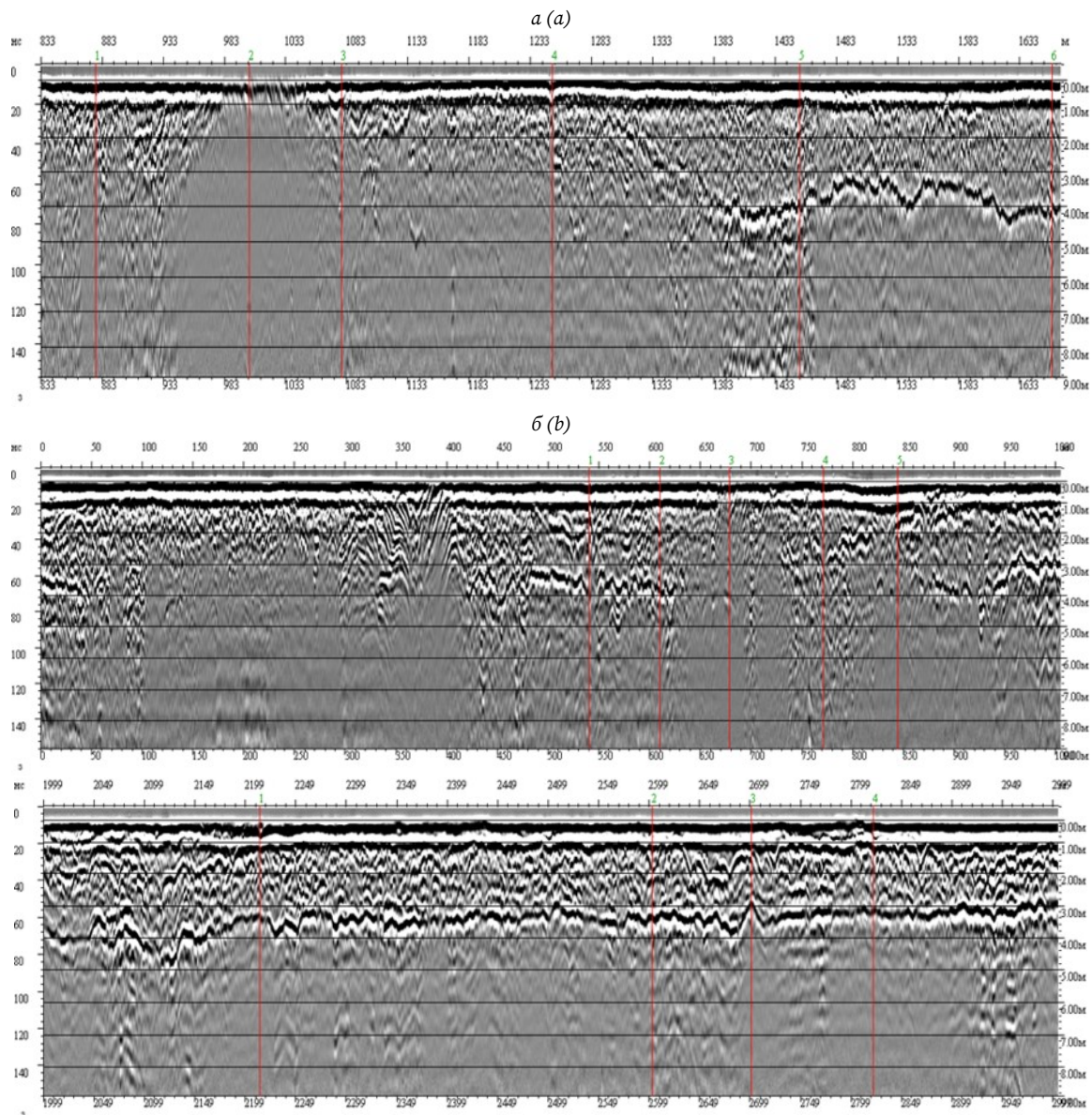
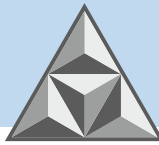
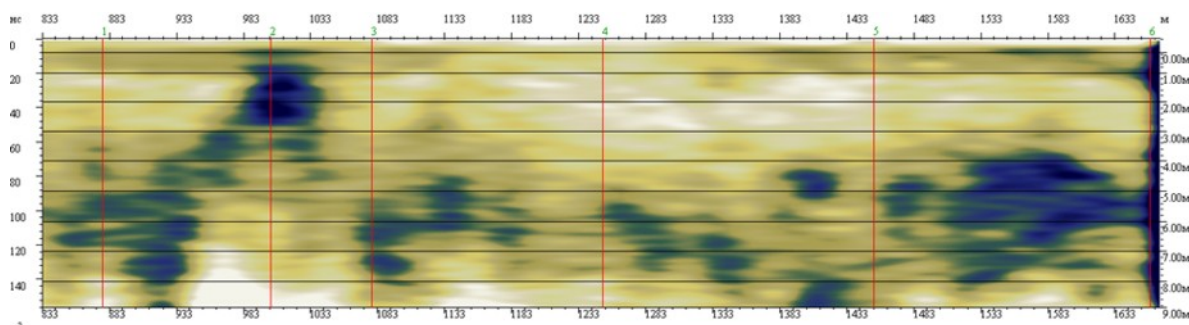


Рис. 1. Георадиолокационный продольный профиль (а) и фрагменты георадиолокационного продольного разреза (б) на участке автомобильной дороги «Колыма»

Fig. 1. The geo-radar longitudinal profile (a) and fragments of the geo-radar longitudinal section (b) on the section of the Kolyma highway

Полученные радарограммы подлежали анализу по амплитудно-частотным характеристикам для выделения ослабленных зон (разуплотненные и переувлажненные грунты, неоднородные включения). Согласно ОДМ 218.3.075-2016 [10], изменение амплитуды отраженного сигнала на глубине контролируемого слоя, по сравнению со средним значением, является критерием выделения участков слоев основания и грунтов земляного полотна, неоднородных по свойствам.

Использование данного атрибута бывает полезно для выделения областей радарограммы с характерным типом записи, отличающимся от соседних областей. Участки повышенной влажности, не имеющие четких отражающих границ, будут иметь высокие значения, превышающие средние в 2-4 раза (в зависимости от частоты антенного блока, типа местности, типа обследуемого грунта и пр.).



**Рис. 2.** Продольный профиль после обработки методом частотного анализа с выделением ослабленных зон (темно-синий фон)

**Fig. 2.** Longitudinal profile after processing by frequency analysis with the allocation of weakened zones (dark blue background)

По результатам проведенных георадарных работ сделаны следующие выводы:

- основные разрушения на автомобильной дороге – просадки грунтов земляного полотна, вызванные потерей несущей способности грунтового основания из-за размораживания мерзлых грунтов и поступления грунтовых (поверхностных) вод;
- долинные прокладка трассы в низине между двумя сопками (по самому низкому месту, куда стекают подземные и поверхностные воды с косогоров), вызывает большие сложности и проблемы при эксплуатации автомобильных дорог;
- на проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не всегда эффективно решены вопросы поверхностного водоотвода: не обеспечивается достаточным количеством труб пропуск воды через тело насыпи на косогорных участках; не выполняется поперечный водоотвод на низинных участках от тела насыпей;
- на проблемных участках (дорожно-климатическая зона I-3) не решен вопрос оптимизации высоты насыпи; на низких насыпях осадки грунтов земляного полотна не зафиксированы, в то время как они выявлены при высоких насыпях; высоту насыпи следует увязывать с толщиной деятельного слоя и характеристиками грунтов.

Большие сложности и проблемы при эксплуатации возникают с участками автомобильных дорог, проходящими в исключительных случаях в выемках, где грунты основания избыточно увлажнены (дорожно-климатическая зона I-2).

### *Рекомендации по результатам обследования автомобильных дорог*

Представляется целесообразным организовать комплексные мониторинговые обследования проблемных участков автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах с помощью георадаров с отбором проб грунтов в разные периоды времени (весна, лето, осень, зима). Для этого необходимо оборудовать стационарные посты наблюдений, построить полигоны, выбрать опытные участки на действующих автомобильных дорогах во всех подзонах I дорожно-климатической зоны. Мониторинговые обследования позволят сделать выводы по причинам потери дорожными конструкциями несущей способности и разработать мероприятия по повышению устойчивости грунтов земляного полотна, а также увеличению сроков службы дорожных конструкций.

По заданию Федерального дорожного агентства, разработан проект ОДМ «Методические рекомендации по конструированию и расчету дорожных одежд и земляного полотна при проектировании автомобильных дорог в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов»

На основе анализа результатов проведенных обследований, анкетирования дорожной общественности и выявления причин разрушений проблемных участков автомобильных





дорог на многолетнемерзлых грунтах установлено, что обеспечение надежности дорожных конструкций в указанных условиях рассматривают и учитывают на трех стадиях:

- стадии проектно-изыскательских работ;
- стадии строительства (реконструкции, капитального ремонта) автомобильных дорог;
- стадии эксплуатации дорог.

На стадии проектно-изыскательских работ надежность дорожных конструкций обеспечивается за счет:

- детального анализа мерзлотно-грунтовых условий на стадии инженерных изысканий;
- прокладки трассы автомобильной дороги по благоприятным грунтовым-гидрогеологическим условиям местности, при проектировании по цифровой модели местности с учетом пространственного моделирования мерзлотно-грунтовых условий и движения подземных вод;
- принятия расчетных характеристик материалов дорожной одежды и грунтов с учетом теории надежности и сроков их службы в дорожных конструкциях;
- назначения высоты насыпи исходя из следующих условий: предотвращения оттаивания или частичного ограничения оттаивания мерзлого основания, снеготранспортируемости, морозного пучения, предотвращения переливания наледей через насыпь;
- проектирования комплексной системы осушения дорожных конструкций при воздействии поверхностных и талых подземных вод;
- проектирования дорожных конструкций с сохранением мерзлоты с требуемой надежностью и заданным коэффициентом прочности.

На стадии строительства (реконструкции) автомобильных дорог надежность достигается за счет:

- выполнения дорожно-строительных работ в рекомендуемый в проекте организации строительства температурный временной период;
- контроля за применяемыми грунтами и дорожно-строительными материалами;
- наличия опыта строительства (реконструкции) автомобильных дорог в условиях многолетнемерзлых грунтов;
- авторского надзора проектной организации за реализацией принятых решений;
- контроля качества работ в процессе строительства (реконструкции) всех элементов дорожной конструкции.

На стадии эксплуатации автомобильных дорог надежность обеспечивается за счет:

- опережающей информации с метеостанций о состоянии условий движения (туманы, метели, гололед, наледи, снежные лавины и т.д.) и рекомендуемых режимах движения;
- своевременной уборки снега с проезжей части;
- своевременной ликвидации наледей и гололеда с проезжей части;
- ликвидации неровностей, вызванных морозным пучением и просадками земляного полотна;
- регулярного выполнения ремонтных работ.

Установлено, что при разработке рекомендуемых конструкций должны соблюдаться следующие положения:

- дорожные конструкции должны проектироваться с учетом назначения и категории автомобильной дороги, теплового и механического взаимодействия земляного полотна,



дорожных одежд и естественных оснований;

- дорожные конструкции должны учитывать инженерно-геологические и мерзлотно-грунтовые условия района строительства;
- учет условий района строительства должен основываться на взаимосвязи дорожно-климатического районирования, принципов проектирования, типа местности по условиям увлажнения, наличия разновидностей грунтов и дорожно-строительных материалов;
- должны использоваться инновационные технологии и материалы.

Понятие типовых конструкций дорожных одежд и земляного полотна, применяемое ко II-V дорожно-климатическим зонам, в общепринятом смысле не может быть распространено на I дорожно-климатическую зону. Здесь под типовыми конструкциями дорожных одежд и земляного полотна понимают рекомендуемые (принятые за основу) конструкции, которые должны быть скорректированы на основе выполнения проектно-изыскательских работ, учитывающих специфику природно-климатических, мерзлотных и грунтово-гидрогеологических условий.

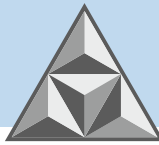
Разработана научно-техническая программа «Исследование водно-теплового режима дорожных конструкций в различных природно-климатических зонах», целью которой является увеличение сроков службы автомобильных дорог за счет системного подхода к изучению и учету особенностей водно-теплового режима дорожных конструкций, мерзлотных и грунтово-гидрогеологических условий. Данная программа предусматривает выполнение мониторинговых исследований на полигонах, стационарных постах наблюдения, опытных участках автомобильных дорог. Предусмотрена организация региональных центров в Хабаровске, Якутске, Иркутске, Красноярске, Чите, Архангельске. На сегодняшний день такой центр организован в Якутске.

По результатам мониторинговых работ предполагается выполнить дорожно-климатическое районирование, оценить изменение климата и мерзлотные условия, найти адаптированные конструктивные решения на потепление климата, определить расчетные характеристики грунтов, мощность деятельного слоя, возможные просадки грунтов в различных грунтово-гидрогеологических условиях, оценить эффективность инновационных решений в дорожных конструкциях по сохранению многолетнемерзлых грунтов, изменение стоков ливневых и талых вод с учетом потепления климата, разработать дорожные конструкции в разных подзонах.

Наряду с традиционными методами обследований предусматривается применение георадиолокационных технологий, которые могут быть полезны для оценки глубины оттаивания в поперечном профиле полосы отвода, мощности деятельного слоя в дорожных конструкциях, оценки структуры (льдистости) многолетнемерзлых грунтов, изменения положения уровня поверхностных (грунтовых) вод, анализа режима движения подземных вод. Итог проведения мониторинговых работ – прогнозирование и предупреждение преждевременного разрушения дорожных конструкций.

### *Результаты работ по обследованию ледовых переправ*

Георадиолокационные работы по договору с Федеральным дорожным агентством проводились ФАУ «РОСДОРНИИ» для определения толщины ледяного покрова на семи ледовых переправах [11]. Они были осуществлены зимой 2015 г. на территории Архангельской обл. в Приморском, Холмогорском и Виноградовском районах (расстояние между наиболее удаленными друг от друга переправами  $\approx 300$  км). Длина ледовых переправ 580–1700 м, их ширина 20–50 м. Запись радарограмм выполняли в прямом и обратном направлениях, на каждой ледовой переправе бурили 1-2 заверочных лунки.



Структура льда при выполнении георадиолокационных измерений георадарами серии «ОКО» с различной центральной частотой (от 150 до 1700 МГц в зависимости от толщины льда) определена преимущественно при использовании наземных методов выполнения работ со льда (рис. 3).



Рис. 3. Дорожная лаборатория с различными антенными блоками (АВ-1700, АВ-400Р, АВ-1700R и АВ-400) на ледовых переправах

Fig. 3. Road laboratory with various antenna units (AB-1700, AB-400R, AB-1700R and AB-400) on ice crossings

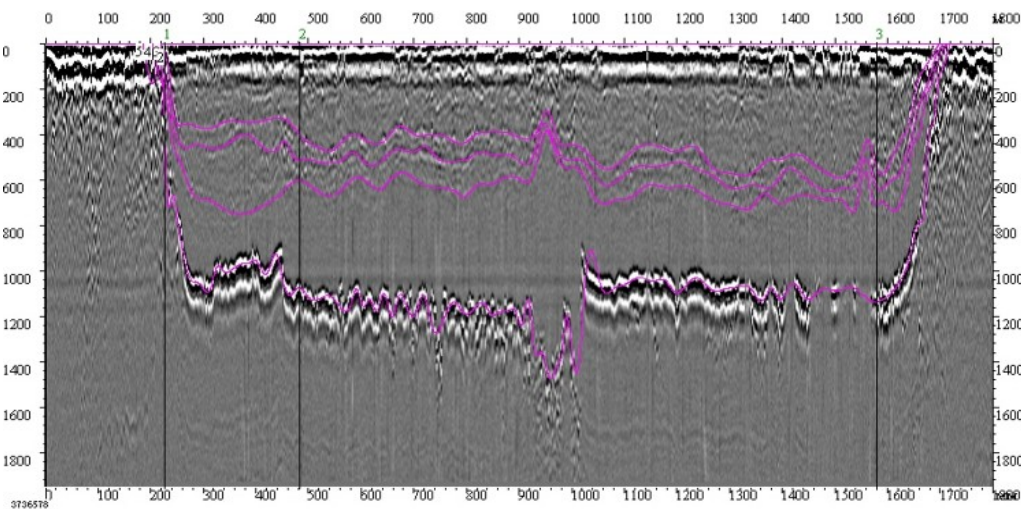
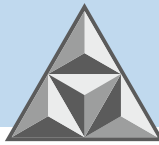


Рис. 4. Границы послойного намораживания льда (просматривается минимум три границы) и нижний слой естественного льда на ледовой переправе через р. Северная Двина

Fig. 4. The boundaries of layer-by-layer ice freezing (at least three boundaries are visible) and the lower layer of natural ice at the ice crossing over the river. Northern Dvina

При анализе полученных радарограмм выделены линии синфазности, разделяющие естественный и намороженный лед (рис. 4). Как правило, естественный лед имеет плотную структуру, в то время как в намороженном льде различают линии синфазности, разделяющие послойное намораживание.

По детальному анализу радарограммы в слое льда (в увеличенном масштабе) определяли



наличие вертикальных трещин и их глубину (рис. 5). При этом фиксировали местоположение вертикальных трещин: сквозные или локальные (наблюдаются в типе льда: естественный или намороженный).

По результатам исследований разработана, утверждена и введена в действие ОДМ 218.4.030-2016 «Методические рекомендации по оценке грузоподъемности ледовых переправ» [12].

Аппаратная база георадиолокационного оборудования в 2010-2020-х гг. развивается довольно активно. Так, в 2017 г. партнер ФАУ «РОСДОРНИИ» – ООО «Логис» разработал и оценил применение в районе Тикси нового ледомера «ЛД-400» (рис. 6), обеспечивающего оперативное определение толщины льда, мониторинга состояния ледовых переправ, локализации неоднородностей, зон трещиноватости, др. дефектов внутри ледяного массива.

Основные технические характеристики ледомера «ЛД-400»: диапазон измерения толщины льда – от 0.05 до 5.00 м; разрешающая способность ГРЛ по толщине – не хуже 0.15 м; диапазон рабочих температур от минус 50 до +50 °С.

При температуре воздуха минус 40 °С с использованием такого ледомера была измерена толщина морского соленого льда ( $\pm 1.7$  м) и обеспечена проводка транспорта с тяжелыми грузами.

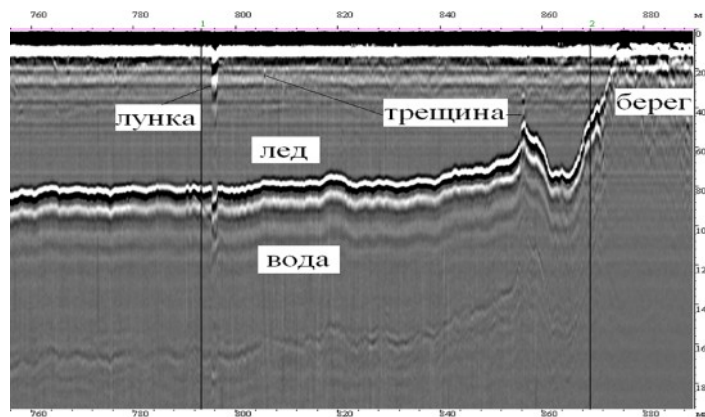


Рис. 5. Фрагмент радарограммы с определением местоположения трещин во льду  
Fig. 5. A fragment of a radar image with the location of cracks in the ice



Рис. 6. Общий вид ледомера "ЛД-400"  
Fig. 6. General view of the ice meter "LD-400"

### Рекомендации по результатам обследования ледовых переправ

Опытно-экспериментальные мониторинговые работы показали, что георадиолокационными методами может быть определена толщина льда и оценена



структура ледового покрытия по всей длине и ширине переправы.

По результатам работ с учетом обобщенного опыта для выполнения георадиолокационных измерений выданы следующие рекомендации:

- толщину льда – определять с использованием высокочастотных и среднечастотных антенных блоков (АБ-1700, АБ-400Р, АБ-400) с центральной частотой 400–2000 МГц;
- глубину водного потока – определять с использованием антенных блоков низкой частоты 25–100 МГц (например, Питон-3);
- структуру льда, наличие трещин – определять с использованием высокочастотных антенных блоков с центральной частотой 1000–2000 МГц (АБ-1700, АБ-1700Р).

По результатам измерений получены пределы изменения диэлектрической проницаемости льда от 2.85 до 3.25 – в зависимости от температуры льда, химического состава замерзшей воды и центральной частоты антенных блоков. Для практического применения наиболее подходящими являются значения диэлектрической проницаемости в диапазоне 3.15–3.21.

Установлено, что по радарограммам, записанным георадаром, может быть определена структура льда: толщины естественного, намороженного и снегового льдов; наличие неоднородностей и трещин во льду. Перечисленные показатели оказывают существенное влияние на грузоподъемность ледовых переправ.

Толщина льда оценивается в зависимости от глубины водного потока, скорости течения воды и имеет наименьшие значения вблизи от берега.

## ВЫВОДЫ

Георадиолокационные технологии целесообразно использовать в Арктической зоне с разработкой нормативно-технической документации по следующим направлениям:

- мониторинг на полигонах, стационарных постах наблюдения, опытных участках автомобильных дорог за состоянием транспортных сооружений (в том числе ледовых дорог и ледовых переправ) с применением георадиолокационных методов, дополненных использованием спутниковых систем позиционирования (ГНСС), тепловизионными съемками, электротомографией, цифровым моделированием лазерным сканированием;
- разработка адаптированных и устойчивых дорожных конструкций автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос к сезонному оттаиванию грунтов с учетом изменения климата;
- определение толщины льда, деградации ледяного массива, структуры льда, местоположений неоднородностей, зон трещиноватости и других дефектов внутри ледяного массива для изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации ледяных дорог;
- разработка мероприятий по обеспечению устойчивости ледяных дорог и ледовых переправ, наращиванию ледяного покрова и продлению сроков их службы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Дьяков А.Ю., Максимов Д.А. Опыт применения георадарных подповерхностных исследований в западной части Российского сектора Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики 2016. № 1(107). С. 39-49.
2. Данилкин А.А., Калашник А.И., Запорожец Д.В., Максимов Д.А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Кавдорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 7. С. 344-352.
3. ГОСТ 32836-2014. ДАОП. Изыскания автомобильных дорог. Общие требования.



4. ГОСТ 32868-2014. ДАОП. Требования к проведению инженерно-геологических изысканий.
5. ГОСТ Р 59120-2021. ДАОП. Дорожная одежда. Общие требования.
6. ГОСТ Р 58349-2019. ДАОП. Дорожная одежда. Методы измерения толщины слоев дорожной одежды.
7. ГОСТ Р 58948-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания.
8. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85.
9. **Кулижников А.М.** Исследование дорожных конструкций на многолетнемерзлых грунтах // Дороги и мосты: сб. ст. / ФГУП РОСДОРНИИ. 2009. № 2(22). С. 89-110.
10. ОДМ 218.3.075-2016. Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации. М., 2018.
11. **Кулижников А.М.** Георадиолокационные обследования ледовых переправ // Инженерные изыскания. 2016. № 8. С. 22-29.
12. ОДМ 218.4.030-2016. Методические рекомендации по оценке грузоподъемности ледовых переправ. М., 2019.

Поступила в редакцию 26.08.2022

Одобрена после рецензирования 05.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

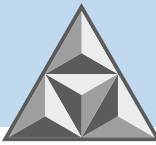
## REFERENCES

1. **Mel'nikov, N.N., Kalashnik, A.I., Zaporozhec, D.V., D'yakov, A.Yu. & Maksimov, D.A.** (2016) Experience in the application of GPR subsurface research in the western part of the Russian Arctic sector, *Problemy Arktiki i Antarktiki*, (1), pp. 39-49 (in Russian).
2. **Danilkin, A.A., Kalashnik, A.I., Zaporozhec, D.V. & Maksimov, D.A.** (2014) Monitoring of the condition of the enclosing dam in the mining zone of the technogenic deposit of the Kavdorsky GOK, *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'*, (7), pp. 344-352 (in Russian).
3. GOST 32836-2014. *Public roads. Surveys of highways. General requirements* (in Russian).
4. GOST 32868-2014. *Public roads. Requirements for conducting engineering and geological surveys* (in Russian).
5. GOST P 59120-2021. *Public roads. Travel clothes. General requirements* (in Russian).
6. GOST P 58349-2019. *Public roads. Travel clothes. Methods of measuring the thickness of layers of road pavement* (in Russian).
7. GOST P 58948-2020. *Public roads. Winter automobile roads and ice crossings. Technical rules of the device and content* (in Russian).
8. SP 78.13330.2012. *A set of rules. Highways. Updated version of SNiP 3.06.03-85* (in Russian).
9. **Kulizhnikov, A.M.** (2009) Investigation of road structures on permafrost soils, *Dorogi i mosty: sb. st. / FGUP ROSDORNII*, (2), pp. 89-110 (in Russian).
10. ODM 218.3.075-2016. *Recommendations for quality control of road construction works by georadolocation* (in Russian).
11. **Kulizhnikov, A.M.** (2016) Geo-radar surveys of ice crossings, *Inzhenerye izyskaniya*, (8), pp. 22-29 (in Russian).
12. ODM 218.4.030-2016. *Methodological recommendations for assessing the carrying capacity of ice crossings* (in Russian).

Received 26.08.2022

Approved after reviewing 05.09.2022

Accepted 15.09.2022



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.001.891

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_70

# Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 3

**А.И. Мохов<sup>1</sup>, Л.А. Мохова<sup>2</sup>**

Андрей Игоревич Мохов

<sup>1</sup>Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация,  
*andrey.i.mokhov55@gmail.com*

Лариса Александровна Мохова

<sup>2</sup>Российский новый университет, Москва, Российская Федерация  
*mokhova.larisa@gmail.com*



*В третьей части работы приведен результат анализа применения инфографических моделей, разработанных в первой и второй частях. Модели в данной статье отнесены к процессу формирования устойчивого развития территории современным университетом в процессе организации реализации национальных проектов России для целей комплексного развития строительства и экономики Российской Федерации. Согласованность целей развития университета с программой реализации национальных проектов позволит гармонизировать взаимодействие всех экономических агентов экономики территории, ориентированных на ее устойчивое развитие.*

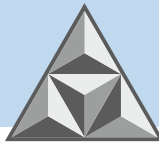
**Ключевые слова:** комплексное развитие, модели экономики, комплексотехника, национальные проекты, территориальное развитие, цифровая экономика, экономическая деятельность

**Для цитирования:**

**Мохов А.И., Мохова Л.А.** Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 3 // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 70-86. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_70





RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_70

# Modeling the research direction in the construction of a modern university: part 3

**A.I. Mokhov<sup>1</sup>, L.A. Mikhova<sup>2</sup>**

Andrey I. Mokhov

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

*andrey.i.mokhov55@gmail.com*

Larisa A. Mikhova

<sup>2</sup>Russian New University, Moscow, Russia

*mikhova.larisa@gmail.com*



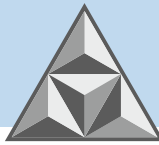
*The third part of the paper presents the result of the analysis of the use of infographic models developed in the first and second parts. The models in this article are attributed to the process of formation of sustainable development of the territory by a modern university in the process of organizing the implementation of national projects of Russia for the purposes of integrated development of construction and the economy of the Russian Federation. The consistency of the university's development goals with the program of implementation of national projects will allow to harmonize the interaction of all economic agents of the territory's economy focused on its sustainable development.*

**Key words:** integrated development, economic models, complex engineering, national projects, territorial development, digital economy, economic activity

**For citation:**

**Mokhov, A.I., Mikhova, L.A. (2022)** Modeling the research direction in the construction of a modern university: part 3, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 70-86 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022) (in Russian).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_70



## ВВЕДЕНИЕ

Комплексное развитие экономики связано, в первую очередь, с современным определением экономики как объекта исследования. В работе [1] такой объект предлагают рассматривать как «...объединение трех относительно самостоятельных, хотя и тесно взаимодействующих, а местами и переплетающихся подсистем – экономической науки (теории), экономической политики (принятия экономических решений) и хозяйственной практики (совокупности действующих экономических объектов, процессов, проектов и их хозяйственных результатов)». Этот объект исследования может быть представлен на рис. 1, формирующим наглядное описание экономики как целостной системы с включением предложенных взаимодействующих подсистем.



Рис. 1. Экономика как объект исследования

Fig. 1. Economics as an object of research

Это относится как к традиционной экономике, так и цифровой ипостаси. Рассмотрим место цифровой экономики в составе экономики традиционной.

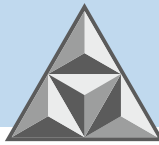
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наглядное представление экономики связано с созданием ее модели<sup>1</sup>. Моделирование представляет собой процесс упрощения объекта, при этом исследователь может расширить спектр результатов исследования за счет особенностей средств моделирования. Рассмотрим инфографические модели [2, 3] представления экономических систем, приведенные на рис. 2, 3. На рис. 2 показана инфографическая модель, за основу которой взята модель экономики, фиксирующая объединение осознанных «возможностей» и «потребностей» людей [4]. Приведенное изображение включает сферы производства<sup>2</sup> и потребления с характерными для них деятельностью и жизнедеятельностью, обозначенных фигурами

Экономика выступает в роли объединяющей среды, обеспечивающей обмен ресурсами между представителями производителей и потребителей и согласующей взаимодействие производителя и потребителя за счет сближения их видений в процессе взаимообмена ресурсом. На рис. 3 приведена инфографическая модель, за основу которой взята модель «компетенций цифровой экономики», опубликованная на сайте Integral-russia.ru [6]. По авторскому видению, компетенции цифровой экономики находятся на пересечении областей информационных технологий, управления и экономики.

1 Понятие модели подразумевает совокупность представлений, понятий или выводов, которые в нашем сознании связываются с рассматриваемым явлением, и, позволяет не только объяснить наблюдаемые факты, но и прогнозировать их.

2 Заметим, что промышленные предприятия наиболее продвинуты в цифровой трансформации [5]

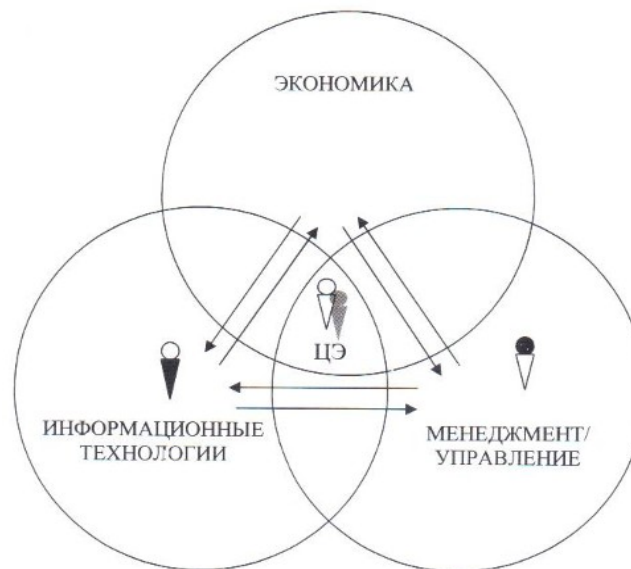


Область «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» включает большие данные, блокчейн, облачные технологии, когнитивные вычисления и т.д. Область «МЕНЕДЖМЕНТ/УПРАВЛЕНИЕ» объединяет компетенции в управлении активами, функциями, процессами, людьми, ресурсами, а также содержит проектный подход.



**Рис. 2.** Инфографическая модель экономики, фиксирующая функцию объединения производителя и потребителя в процессе обмена ресурсами

**Fig. 2.** An infographic model of the economy that captures the function of combining producer and consumer in the process of resource exchange



**Рис. 3.** Инфографическая модель объединения трех сфер деятельности в формировании цифровой экономики

**Fig. 3.** Infographic model of combining three spheres of activity in the formation of the digital economy

Область «ЭКОНОМИКА» содержит макроэкономику, микроэкономику, бизнес-модели, маркетинг. Включение механизма обмена ресурсом между производителем и потребителем, приведенного на рис. 2, позволяет получить инфографическую модель объединения трех сфер деятельности в формировании цифровой экономики, показанную на рис. 3. Такая



модель раскрывает суть происходящих изменений в экономике, отражает их связь с технологиями, описывает экономические влияния, такие как изменение поведения пользователей, изменение отношений между потребителями и производителями и другие аспекты.

Приведенные двойные стрелки, обозначают коммуникации, сопровождающие взаимодействие участников формирования экономических отношений. В настоящее время появилось множество новых цифровых инструментов общения, которые позволяют организовать взаимодействия на новых принципах. Взаимодействие меняется на всех уровнях – между людьми, компаниями, государством и бизнесом и т.д. Инструменты общения – социальные сети, мессенджеры, корпоративные цифровые платформы, сервисы электронного правительства, среды для совместной работы и многое другое. Авторы данной работы причисляют к инструментам общения даже интернет вещей. Таким образом, цифровые инструменты значительно расширяют наши представления об управлении процессами, людьми, компаниями и взаимодействиями вообще.

Новые бизнес-модели, опирающиеся на новые формы взаимодействий и организации труда, находят всё более широкий круг применений. В каких-то областях новые экономические модели вытесняют старые, но, как правило, в большинстве случаев их появление заставляет участников углублять свою специализацию и, в конечном счёте, старые и новые модели находят способ органичного сосуществования. Отметим, что цифровая экономика на сегодняшний день еще не стала определяющей силой развития мировой экономики<sup>3</sup>. Полагаем, что это связано с существенными изменениями традиционного социально-экономического пространства, которые требуют весомого обоснования для людей, проживающих и трудящихся на территории страны. Воздействие такого обоснования должно оказать столь глубинное воздействие на видение стейкхолдеров, участвующих в процессе переустройства, чтобы изменить их нормы деятельности и жизнедеятельности. В психологии такое воздействие определяется как интеллектуализация<sup>4</sup>. В [7] термин «интеллектуализация» приобрел кросс-дисциплинарное расширение и определен как «... отбор, накопление, хранение и потребление государственных, общественных и частных информационных данных, осуществление и защита интеллектуальных прав физических и юридических лиц, интегрирование и комплексирование информационных систем для создания и обеспечения услугами организаций и граждан».

Соответственно территория, техническое перевооружение которой сопровождается интеллектуальной перестройкой видения жизнедеятельности со стороны потребителей и пользователей продукции территории, может быть определена как «интеллектуальная территория». Процесс интеллектуализации территориального сообщества этих экономических агентов связан с применением высоких социальных технологий<sup>5</sup>, сформированных на основе комплексного подхода. А в позиции производителя, ориентированного на создание среды взаимодействия производителей и потребителя продукции интеллектуальной территории может выступить университет, определяющий образовательный уровень ее экономических агентов

Кроме того, привлекательность проектов «интеллектуальной территории» для построения рационального ее функционирования должна быть обеспечена основательными

3 По данным Всемирного банка, доля цифровой экономики в общем ВВП мира составляет 5,5%.

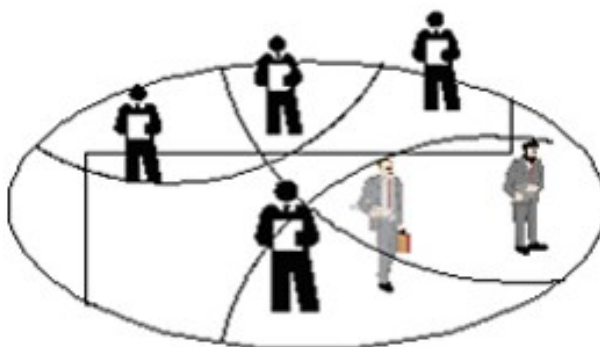
4 Интеллектуализация – это психологический процесс, относимый к механизмам психологической защиты, заключающийся в бессознательной попытке абстрагироваться от своих чувств. URL: [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) Интеллектуализация (психология).

5 Например, описание механизма формирования и применения высоких социальных технологий можно найти в работе [8].



научными исследованиями и подготовкой кадров по соответствующим специальностям.

Рассмотрим на моделях, приведенных на рис. 4-6, как связаны между собой экономические агенты в социально-экономическом пространстве территории и какими способами можно согласовать позиции экономических агентов по отношению к цифровизации территориальной экономики. На рис. 4 и 5, взятых из работы [1], приведены изображения социально-экономического пространства, построенного с точки зрения институциональной парадигмы, т.е. с учетом правил, традиций, норм и т.п., которых придерживаются экономические агенты. Причем, по словам автора рисунков, линии на них символизируют условные разделительные границы между институтами. Заметим, что в рис. 4 введенные автором внутренние границы области, имеющей общую внешнюю границу, не позволяют соблюсти целостность рассматриваемого социально-экономического пространства. Если пространство, построенное с точки зрения концепции неоклассики, рассматривается как совокупность взаимодействующих агентов (физических или юридических лиц) и представляет системную целостность, то для случая институтов взаимодействие между ними отсутствует в силу различий в нормах исследования, определяющих разделительные границы как реальные и требующих дополнительного согласования норм.

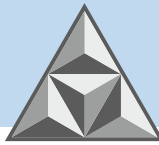


**Рис. 4.** Социально-экономическое пространство с точки зрения институциональной парадигмы [1]

**Fig. 4.** Socio-economic space from the point of view of the institutional paradigm [1]

Рис. 5 содержит предложенное автором работы [1] изображение социально-экономического пространства, построенного с точки зрения эволюционной парадигмы. При формировании изображения автор опирался на динамическое представление о структуре социально-экономического пространства-времени, показанного с точки зрения эволюционной теории (вертикальная ось – время). При этом социально-экономические образования рассматривались как комплексы, носящие черты технологических, экономических, социальных, институциональных, биологических и иных систем. Представленные на рисунке «трубки» – экономические системы, объединяющие на определенный или неопределенный промежуток времени агентов, институты и др. По наполнению этих «трубок» определяют развитие экономических систем, основанное на взаимодействии внутренних подсистем и на влиянии внешних систем и сред. В работе [4] (Мохов А.И., 2016) применение комплексного подхода позволило дополнить изображение социально-экономического пространства, представленного на рис. 4, набором институтов и экономических агентов, сняв ограничения внешней границы за счет включения в состав исследуемого пространства институтов в их комплексной целостности.

В результате получена модель комплексного взаимодействия институтов, которая может



быть преобразована в инфографическую модель для решения задачи комплексного развития экономики. Эта инфографическая модель взаимодействия институтов территории представлена на рис. 6.

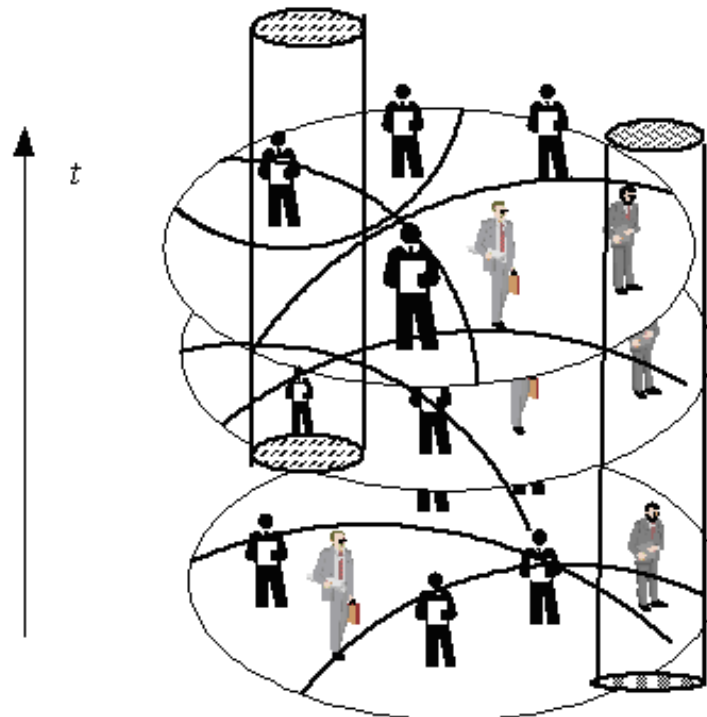


Рис. 5. Социально-экономическое пространство-время с точки зрения системной парадигмы [1]

Fig. 5. Socio-economic space-time from the point of view of the system paradigm [1]

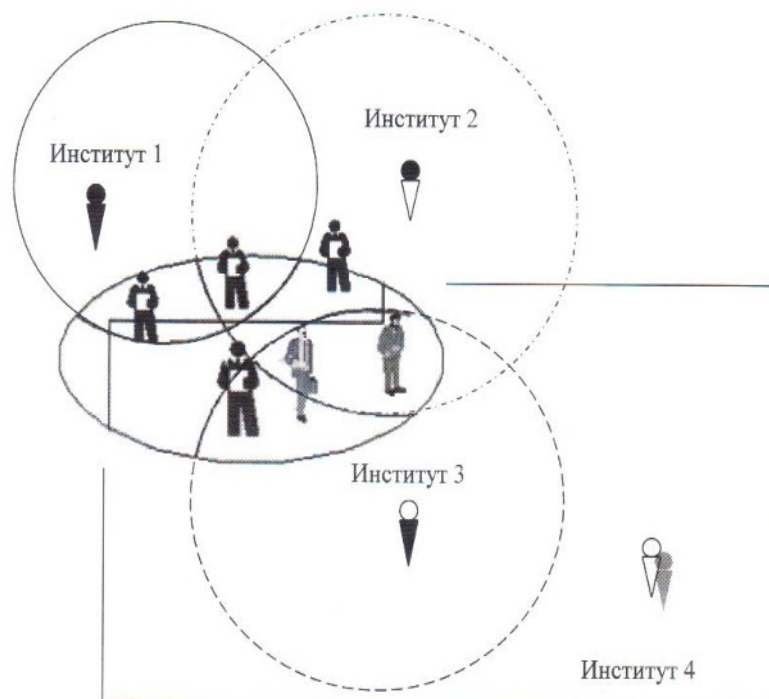
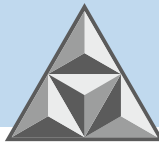


Рис. 6. Социально-экономическое пространство-время с точки зрения системной парадигмы [1]

Fig. 6. Socio-economic space-time from the point of view of the system paradigm [1]



Заметим, что социально-экономическое пространство-время, представленное на рис. 5 при замене системной парадигмы на комплексную, задает логику изменения границ между институтами территории. При комплексном объединении границы исчезают за счет интеграции отдельных институтов в целостное объединение с институтом, имеющим с ними общую среду обмена функциональными ресурсами деятельности и жизнедеятельности. Так, на рис. 6 институт 4 (сформированный цифровой экономикой), находится во взаимодействующей позиции (имеет пересечения) по отношению к институтам 2 и 3, соответствующим деятельности потребителя и производителя, включенных в обмен функциональным ресурсом с производителем и потребителем соответственно. Интеграция институтов представляется возможной на основе договоренности между принадлежащими разным институтам экономическими агентами. Такая договоренность в рамках управления проектами переустройства экономики показана на рис. 7.

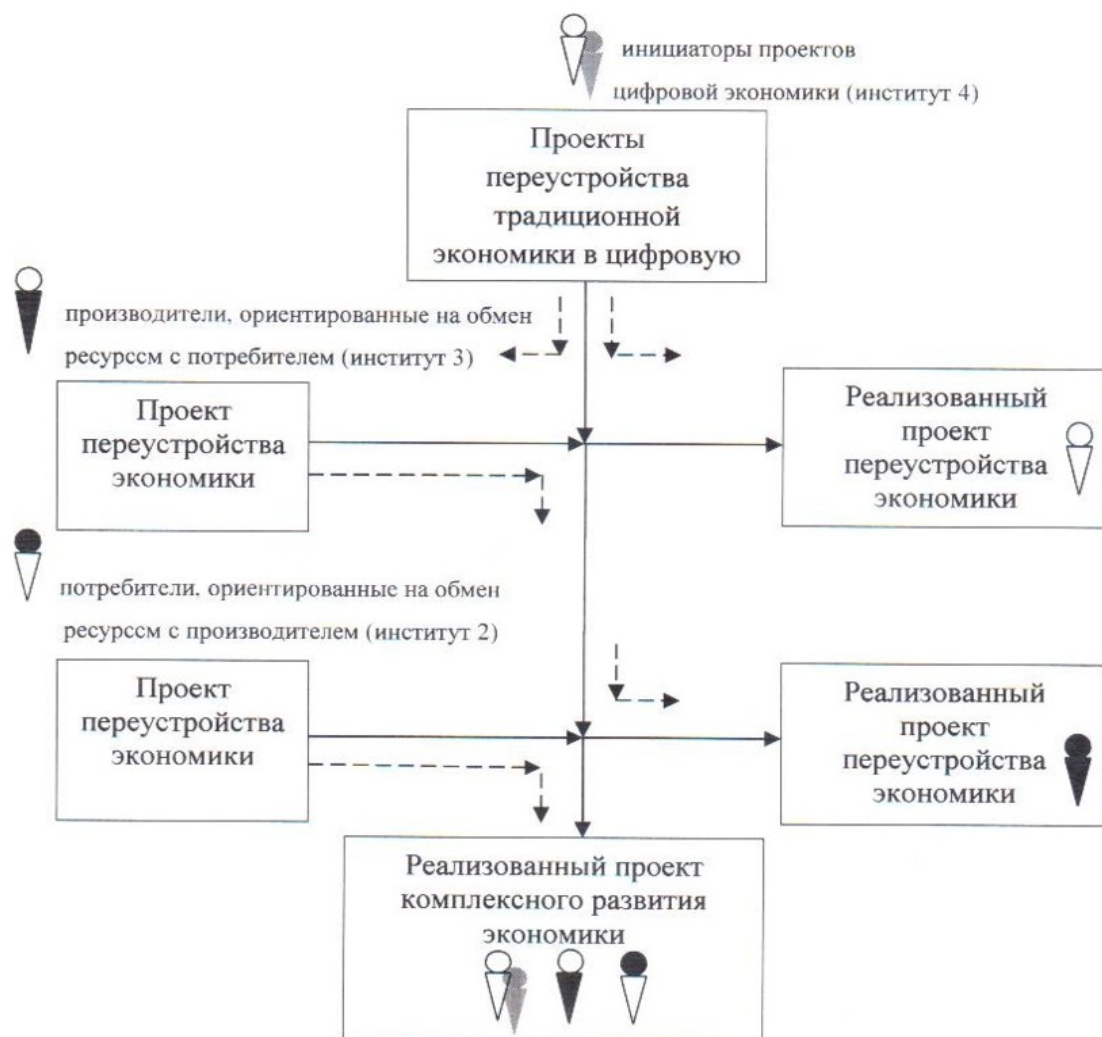


Рис. 7. Инфографическая модель процесса переустройства экономики в рамках реализации проектов комплексного развития экономики

Fig. 7. Infographic model of the process of economic restructuring in the framework of the implementation of integrated economic development projects

Основой такой договоренности может стать цифровая платформа. Под цифровой платформой [9] будем понимать систему алгоритмизированных взаимоотношений значимого количества участников рынка, объединенных единой информационной средой. Причем система приводит к снижению транзакционных издержек за счет применения пакета





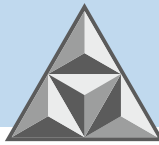
цифровых технологий и изменения системы разделения труда. Цифровая платформа естественным образом фиксирует и запоминает все транзакции. Экономические процессы, реализованные на базе цифровой платформы, оказываются прозрачны и поддаются анализу. При значительной платформизации естественным образом оцифровывается и становится прозрачной вся экономика страны: формируется многоуровневая цифровая модель экономики государства, детализированная до каждой отдельной транзакции.

При этом цели института 4 (например, электронное правительство) и институтов 2 (например, новые производственные технологии) и 3 (например, блокчейн) могут быть объединены в общественно-государственно-частное партнерство [10].

Приведенные инфографические модели показывают, что реализация переустройства традиционной экономики в цифровую экономику связана с реализацией проектов развития традиционной экономики. Эти проекты, сопровождающие и активизирующие процесс реализации проекта цифровой экономики, приобретают статус «средств» его обоснования и внедрения за счет конкретной ориентации целей проектов на потребителя.

Для определения степени воздействия деятельности университета на повышение уровня капитализации территории рассмотрим его место в структуре модели комплексного объекта капитализации территории (КОКТ) [11]. Инфографическая модель модернизации КОКТ приведена на рис. 8. Модель КОКТ представлена объединением трех моделей: СОПТ – системой организации переустройства территории, КОПТ – комплексным объектом переустройства территории, СИТ – системой инвестиций в переустройство территорий. Место, определенное для университета в структуре модели КОКТ, находится также в составе модели комплексного объекта переустройства территорий (КОПТ), в состав которого включен элемент, ограниченный пунктирной линией и охватывающий все слои модели с надписью «университет». Выбранное местоположение университета идентифицирует его выпускников и сотрудников с полным набором участников переустройства территорий в каждом из слоев модели, начиная от самой территории с ее географическим положением, природными ресурсами, климатом, человеческими ресурсами и др. и заканчивая потребителем продукции территории. Как было показано выше, деятельность университета определяет образовательный уровень экономических агентов территории, формируемый для практического обоснования и подтверждения применения полученных знаний студентами. Тем самым в модели КОПТ университет формирует новые проекты комплексного развития территории и обеспечивает заполнение рабочих мест для осуществления соответствующих видов деятельности в слоях модели, кадрами, подготовленными им для реализации инновационной деятельности.

Комплексное переустройство территории является многоцелевым проектом, свойства которого определяются не только пространственным осуществлением и территориальной привязкой, но и обладают возможностью изменять (переустраивать) функционирование всех слоев модели КОКТ, надстроенных над слоем «территория». С другой стороны, все проекты, реализуемые в каждом отдельном слое, КОПТ, влекут за собой изменения в смежных слоях модели, выполняющих роль «инфраструктуры» по отношению к этому слою. В этом случае реализованный проект становится средством формирования внешней среды для слоя модели, получившего «внутреннее» изменение. Степень воздействия реализованного проекта на внешнюю среду будет зависеть от готовности этой среды к функциональным изменениям, внесенным проектом при его осуществлении. Такая деятельность университета призвана согласовать цели развития университета с целями программы реализации национальных проектов России. Рассмотрим, как новые проекты комплексного развития строительства и экономики Российской Федерации, организуемые современным университетом, позволяют



задействовать экономических агентов территории в реализации национальных проектов России.

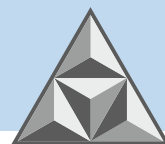
Согласно [12], двенадцать национальных проектов могут быть представлены в следующей последовательности: 1. Образование; 2. Здравоохранение; 3. Демография; 4. Культура; 5. Безопасные и качественные автомобильные дороги; 6. Жильё и городская среда; 7. Экология; 8. Наука; 9. Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы; 10. Производительность труда и поддержка занятости; 11. Международная кооперация и экспорт; 12. Цифровая экономика.



**Рис. 8.** Инфографическая модель модернизации комплексного объекта капитализации территории (КОКТ)  
**Fig. 8.** Infographic model of modernization of a complex object of capitalization of the territory (COCT)

Задействованность экономических агентов территории в перечисленных проектах приведена в табл. 1.

Ценным для дальнейших рассуждений важен строительный проект «умный город», являющийся системным ресурсом сферы цифровой экономики.



Отдельные аспекты проекта «умный город» в России в статусе частных разработок обсуждался научной общественностью достаточно долго [13] в рамках реализации Федеральной целевой программы «Электронная Россия». Например, Строительной гильдией Московской торгово-промышленной палаты в 2009 г. была принята Концепция построения интеллектуально-информационных систем и телекоммуникационной инфраструктуры объекта «Интеллектуальный район ИР». Проект пока не получил статус ведомственного пилотного проекта при этом был оформлен паспортом [14], и стандартом [15]. В стандарте «умного города» рассмотрены следующие аспекты: городское управление; инновации для городской среды; интеллектуальные системы общественной безопасности; инфраструктура сетей связи; умное ЖКХ; умный городской транспорт; интеллектуальные системы экологической безопасности; туризм и сервис.

**Таблица 1.** Распределение национальных проектов по элементам КОПТ

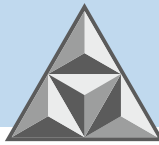
**Table 1.** Distribution of national projects by COPT elements

| Элементы КОПТ  | Нацпроекты |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. Потребитель продукции территории<br>1   | +          | + | + | + | + | + | + | + | + |    |    |    |
| 2. Продукция территории (традиционная и инновационная)<br>2  | +          | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  |
| 3. Оборудование зданий, сооружений территории<br>3   | +          | + | + | + |   | + | + | + | + | +  |    | +  |
| 4. Технологическая платформа территории<br>4   | +          | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |    | +  |
| 5. Здания и сооружения территории<br>5   | +          | + | + | + | + | + | + | + | + | +  |    | +  |
| 6. Инженерные и транспортные сети и системы коммуникации зданий и сооружений на территории<br>6      | +          |   |   |   | + | + | + | + | + | +  |    | +  |
| 7. Территория (географическое положение, природные ресурсы, климат, человеческие ресурсы и др.)<br>7 | +          | + | + | + | + | + | + | + |   | +  |    | +  |

Примечание: Знаком «+» отмечено наличие интересов в реализации проекта в слое модели комплексного объекта переустройства территорий (КОПТ).

На рис. 9 приведена инфографическая модель процесса переустройства традиционной экономики в цифровую экономику на основе реализации проектов «интеллектуальный город».

Рассмотрим значимость реализации проекта «умный город» для осуществления проекта «Цифровая экономика». Создание «умного города» сводится к обеспечению городского хозяйства сквозными технологиями, совпадающими с перечисленными выше технологиями «цифровой экономики»: большие данные, нейротехнологии, искусственный интеллект, системы распределённого реестра (блокчейн), новые производственные технологии,



промышленный интернет, робототехника, сенсорика, беспроводная связь, виртуальная и дополненная реальности [16]. Переустройство города в «умный город», диктующее существенные изменения традиционного социально-экономического пространства города, требуют весомого обоснования для людей, проживающих и трудящихся на его территории. Без согласования услуг «умного города» с нормами потребления этих услуг со стороны жителей интеллектуального города будет потеряна устойчивость функционирования города. Соответственно «умный» город, техническое перевооружение которого сопровождается интеллектуальной перестройкой видения жизни города со стороны потребителей и пользователей продукции городского хозяйства, может быть определен как «интеллектуальный» город.

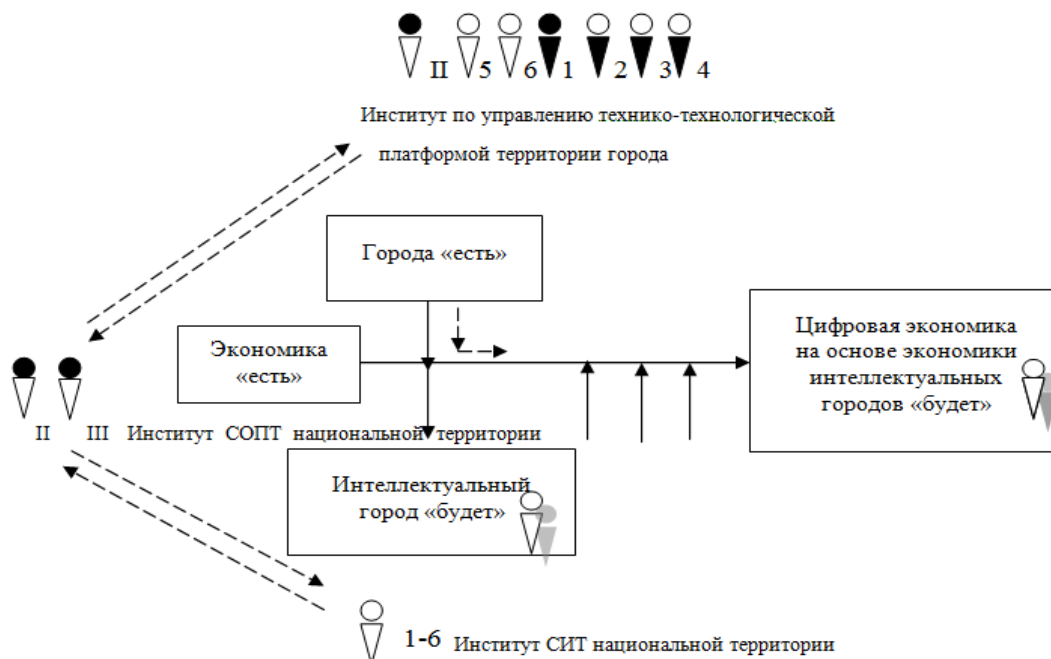


Рис. 9. Инфографическая модель процесса переустройства традиционной экономики в цифровую экономику  
Fig. 9. Infographic model of the process of transformation of the traditional economy into a digital economy

Особенность приведенной модели заключается в объединении целей систем управления национальных, федеральных и муниципальных проектов с применением комплексотехники в рамках реализации национального проекта «Цифровая экономика».

## ВЫВОДЫ

Поскольку сквозные технологии «умного города» на сегодняшний день структурированы в большей мере, объединение городов на принципах цифровизации позволит ускорить трансформацию «аналоговой» формы экономики в «цифровую» [17]. Сквозные информационно-коммуникационные технологии при создании типового комплекта городских служб в процессе реализации проектов «умного города» станут основой для формирования норм применения комплексов таких технологий в России. Таким образом, обмен опытом переустройства городов на территории страны в «интеллектуальные города» будет содействовать реализации национального проекта «Цифровая экономика». Как было показано в [18], основную роль в таком преобразовании экономики призван сыграть современный университет.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Клейнер Г.Б.** Новая теория экономических систем и ее приложения // *Вестник РАН*. 2011. Т. 81, № 9. С. 794-811.
2. **Чулков В.О.** Инфография. Курс лекций. М.: МИСИ, 1991. Кн.1 и 2. Ч. 1 и 2.
3. **Чулков В.О.** Инфография – метод и средство формирования и исследования функциональных систем // *Вестник Международной академии наук. Русская секция*. 2008. №1. С. 46-51.
4. **Мохов А.И.** Модели «новой теории экономических систем» в условиях применения комплексного подхода // *Вестник РАЕН*. 2016. Т. 16, № 2. С. 69-75.
5. **Максимова А.В., Мохов А.И.** Инновационное развитие технологической инфраструктуры и компетенций персонала промышленных предприятий в условиях их цифровой трансформации // *Ускорение процессов цифровизации российской промышленности на основе развития и эффективного использования инновационного человеческого капитала / под ред. М.Я. Веселовского, М.А. Измайловой*. М.: Изд-во «Научный консультант», 2020. С. 95-125.
6. **Кешелова А.В., Хагет И.Л.** Цифровые инструменты цифровой экономики: базовые вопросы и определения. URL: <http://integral-russia.ru/2019/09/10/tsifrovye-instrumenty-tsifrovoj-ekonomiki-bazovye-voprosy-i-opredeleniya/>
7. **Мохов А.И.** Россия на этапе интеллектуализации // *Цивилизация знаний: инновационный переход к обществу высоких технологий: тр. Девятой Междунар. науч. конф. (Москва, 25-26 апреля, 2008 г.)*. Ч. I. М.: РосНОУ, 2008. С.179-182.
8. **Мохов А.И., Молодцов О.В., Горбунов Д.Б.** Образовательный ресурс для достижения целей интеллектуализации предпринимательской деятельности // *Отходы и ресурсы*. 2017. Т. 4, № 2. DOI: 10.15862/10RRO217. URL: <http://resources.today/PDF/10RRO217.pdf> (доступ свободный).
9. **Сухарев О.С.** Экономика технологий: типы, функции, конкурентоспособность // *Экономическая наука современной России*. 2018. № 2(81). С. 85-101. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-tehnologiy-tipy-funksii-konkurentosposobnost>
10. **Жбанов П.А., Мохов А.И., Мохова Л.А.** Ресурсы общественно-государственно-частного партнерства в реализации проектов эксплуатационного переустройства объектов ЖКХ // *Отходы и ресурсы*. 2014. Т. 1, № 4. URL: <http://resources.today/PDF/03RR0414.pdf> (доступ свободный).
11. **Мохов А.И., Светлаков В.И.** Модель для оценки устойчивого развития территории // *Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 44-го заседания Международной научной школы-семинара им. Академика С.С. Шаталина, г. Воронеж, 4–9 октября 2021 г.* Воронеж: Изд-во «Истоки», 2021. С.380-386.
12. Национальные проекты\_России\_2019–2024. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальные\\_проекты\\_России\\_2019–2024](https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальные_проекты_России_2019–2024)
13. **Башканков С.М.** Мнение эксперта из «сырых глубин» России // *Интеллектуальное здание*. 2005. № 2. С. 16-17.
14. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 октября 2018 г. № 695/пр «Об утверждении паспорта ведомственного проекта Цифровизации городского хозяйства «Умный город». URL: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogo-khozyaystva-umnyu-gorod/>
15. Проект стандарта «Умный город России». URL: <https://russiasmartcity.ru/uploads/attachments/c5e83909-5a0d-41ca-85f7-ba17461851f1/2de77b83e07d01b0ac79972a87603a58.pdf>
16. **Максимова А.В., Мохов А.И., Чельшков П.Д.** Интеллектуальный город как технология цифровой экономики // *Государственное управление и развитие России: глобальные угрозы и структурные изменения: сб. ст. междунар. конференции-сессии*. Т. I. М.: Издат. дом «Научная библиотека», 2020. С. 122-132.



17. **Чельшков П.Д.** Киберфизическая интеграция строительных систем: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. М., 2018. 48 с.
18. **Мохов А.И., Мохова Л.А.** Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 1 // *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2, № 2. С. 64-74. URL: <https://drive.google.com/file/d/135gMjJ874i0FNshumFwY8HtK9fNHk4fo/view>.

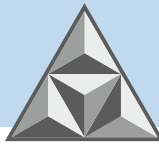
Поступила в редакцию 24.08.2022

Одобрена после рецензирования 05.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

## REFERENCES

1. **Kleiner, G.B.** (2011) The new theory of economic systems and its applications, *Vestnik RAN*, 81(9), pp. 794-811 (in Russian).
2. **Chulkov, V.O.** (1991) *Infography. The course of lectures*. М.: SENT, Book. 1 and 2. Parts 1 and 2 (in Russian).
3. **Chulkov, V.O.** (2008) Infography – method and tools of formation and research you need an integer, *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk. Russkaya sekciya*, (1), pp. 46-51 (in Russian).
4. **Mokhov, A.I.** (2016) Models of the "new theory of economic systems" in the context of the application of an integrated approach, *Vestnik RAEN*, 16(2), pp. 69-75 (in Russian).
5. **Maksimova, A.V. & Mokhov, A.I.** (2020) Innovative development of technology infrastructure and competencies of industrial enterprises personnel in terms of their digital transformation, *M.Ya. Veselovskogo, ed. Uskorenie processov cifrovizacii rossijskoj promyshlennosti na osnove razvitiya i effektivnogo ispol'zovaniya innovacionnogo chelovecheskogo kapitala*. М.: Izd-vo «Nauchnyj konsul'tant», pp. 95-125 (in Russian).
6. **Keshelava, A.V. & Kheyet, I.L.** (2019) *Molestie lacus digital oeconomia: basic quaestions et definitiones* [online]. Available at: <http://integral-russia.ru/2019/09/10/tsifrovye-instrumenty-tsifrovoj-ekonomiki-bazovye-voprosy-i-opredeleniya/> (in Russian).
7. **Mokhov, A.I.** (2008) Russia on the stage of intellectualization, *Civilizaciya znaniy: innovacionnyj perekhod k obshchestvu vysokih tekhnologij: tr. Devyatoj Mezhdunar. nauch. konf. (Moskva, 25-26 aprelya, 2008 g.)*. Ch. I. М., RosNOU, pp.179-182 (in Russian).
8. **Mokhov, A.I., Molodtsov, O.V. & Gorbunov, D.B.** (2017) The Educational resource for achieving the goals of the intellectualization of entrepreneurial activity, *Othody i resursy*, 4(2) [online]. DOI: 10.15862/10RRO217. Available at: <http://resources.today/PDF/10RRO217.pdf> (free access). (in Russian).
9. **Sukharev, O.S.** (2018) Modern life: types of services, competitiveness, *Ekonomicheskaya nauka sovremennoj Rossii*, (2), pp. 85-101 [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-tehnologiy-tipy-funktsii-konkurentosposobnost> (in Russian).
10. **Zhbanov, P.A., Mokhov, A.I. & Mokhova, L.A.** (2014). The resources of the public-a public-private partnership in the implementation of the projects operational reconstruction of housing and communal services facilities // *Othody i resursy*, 1(4) [online]. Available at: <http://resources.today/PDF/03RR0414.pdf> (free access) (in Russian).
11. **Mokhov, A.I. & Svetlakov, V.I.** (2021) Model for assessing sustainable development boundaries, *Sistemnoe modelirovanie social'no-ekonomicheskikh processov: trudy 44-go zasedaniya Mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly-seminara im. Akademika S.S. Shatalina, g. Voronezh, 4–9 oktyabrya 2021 g.* Voronezh: Izd-vo «Istoki», pp. 380-386 (in Russian).
12. **Bashkankov, S.M.** (2005) The opinion of the experts from the "bright deep" of Russia, *Intellektual'noe zdanie*, (2), pp 16-17 (in Russian).
13. Wikipedia (2020) *National Projects of Russia 2019–2024* [online]. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальные\\_проекты\\_России\\_2019–2024](https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальные_проекты_России_2019–2024) (in Russian).

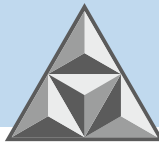


14. Minstroyrf.gov.ru. (2018) *Order of the Ministry of Construction and Housing and Common Works of the Russian Federation N. 695/pr dated October 31, 2018 "On Approval of the Passport of the departmental Digitalization project of the urban economy "Smart City"* [online]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/gorodskaya-sreda/proekt-tsifrovizatsii-gorodskogo-khozyaystva-umnyy-gorod/> (in Russian).
15. Russiasmartcity.ru (2018) *Draft standard for "Smart city of Russia"* [online]. Available at: <https://russiasmartcity.ru/uploads/attachments/c5e83909-5a0d-41ca-85f7-ba17461851f1/2de77b83e07d01b0ac79972a87603a58.pdf> (in Russian).
16. **Maksimova, A.V., Mokhov, A.I. & Chelyshkov, P.D.** (2020). Intellectual capital, as a technology of the digital economy, *Public management and development of Russia: global threats and the device changes: a collection of international articles. conference-sessions. Vol. I. M.: Izdat. dom «Nauchnaya biblioteka»*, pp. 122-132 (in Russian).
17. **Chelyshkov, P.D.** (2018). *Cyberphysical integration of custom*. PhD. Mosk. gos. stroit. un-t (in Russian).
18. **Mokhov A.I. & Mokhova, L.A.** (2021) Modeling research role in the construction of this university: part 1, *Smart composites in construction*, 2(2), pp. 64-74 [online]. Available at: <https://drive.google.com/file/d/135gMJj874i0FNshumFwY8HtK9fNHk4fo/view> (in Russian).

Received 24.08.2022

Approved after reviewing 05.09.2022

Accepted 15.09.2022



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_87

# Architectural features of workshop no. 8 at the Dagdiesel Caspian Factory, Republic of Dagestan, the Russian Federation

**D.A. Lichak<sup>1</sup>, N.A. Lichak<sup>2</sup>**

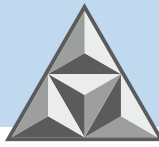
Dmitry A. Lichak

<sup>1</sup>Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia  
*d\_lichak@mail.ru*

Nataliya A. Lichak

<sup>2</sup>Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia  
*lichakna@ystu.ru*





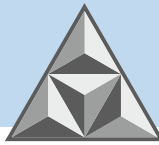
*Increasing international tensions in Europe in the early 1930s, with the extensive militarisation of foreign countries, forced the Soviet leadership to take drastic measures to strengthen its own maritime borders comprehensively. The article examines the history and architectural features of the unique factory building of the assembly and testing workshop no. 8 at the Dagdiesel Factory in Caspian, which stands out among the buildings of the enterprise for its courage and originality in terms of solving construction problems. The article reveals the reasons and prerequisites necessitating the establishment of the future flagship of the Republic's Naval Industry on the Caspian coast. Original elements of the site of the assembly and testing workshop no. 8 of the Dagdiesel Factory define the specific features of Kaspiysk city.*

**Key words:** industrialisation, "Dagdiesel" Factory, assembly and testing workshop No. 8, naval architecture, Caspian, 1930s

**For citation:**

**Lichak, D.A. & Lichak, N.A. (2022)** Architectural features of workshop no. 8 at the Dagdiesel Caspian Factory, Republic of Dagestan, the Russian Federation, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 87-96 [online]. Available at: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_87



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 908

DOI: 10.52957/27821919\_2022\_3\_87

# Архитектурные особенности цеха № 8 Каспийского завода «Дагдизель», Республика Дагестан, Российская Федерация

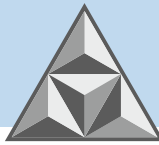
**Д.А. Личак<sup>1</sup>, Н.А. Личак<sup>2</sup>**

Дмитрий Алексеевич Личак

<sup>1</sup>Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль,  
Российская Федерация  
*d\_lichak@mail.ru*

Наталья Алексеевна Личак

<sup>2</sup>Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация  
*lichakna@ystu.ru*



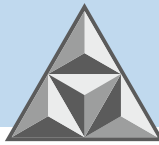
*Усиление международной напряженности в Европе в начале 1930-х гг. в связи с широкой милитаризацией зарубежных стран заставило советское руководство принимать кардинальные меры по всестороннему укреплению собственных морских границ. Рассматривается история создания и архитектурные особенности уникального заводского корпуса сборочно-испытательного цеха № 8 Каспийского завода «Дагдизель», выделяющегося среди возведенных объектов предприятия смелостью и оригинальностью решения строительных задач. Раскрываются причины и предпосылки, обусловившие необходимость создания на каспийском побережье будущего флагмана военно-морской индустрии республики. Оригинальные элементы объекта сборочно-испытательного цеха № 8 завода «Дагдизель» стали определять смысловое содержание города Каспийска.*

**Ключевые слова:** индустриализация, завод «Дагдизель», сборочно-испытательный цех № 8, военно-морская архитектура, Каспийск, 1930-е гг.

**Для цитирования:**

**Личак Д.А., Личак Н.А.** Архитектурные особенности цеха № 8 каспийского завода «Дагдизель», Республика Дагестан, Российская Федерация // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 87-96. URL: [http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3\\_2022](http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022).

**DOI:** 10.52957/27821919\_2022\_3\_87



## INTRODUCTION

In the USSR the 1930s were a time of rapid industrialisation. I.V. Stalin, in his speaking at a meeting of economic executives in February 1931, noted: "We are 50-100 years behind the advanced countries. We have to run that distance in 10 years. Either we do it, or we are going to get crushed" [1].

The Soviet industrial policy priorities were set so that the state became competitive in the military sphere. The Defence industry provided the country with the weapons and combat vehicles. The main aim of military industrialisation in the Soviet Union was to steer the country's course towards scientific and technological progress. The significant effort was needed to make a gap for achieving the military and industrial activity.

The exploitation of the USSR's ocean space was the most important task. This was necessary for the development of the country's economy and the strengthening of its military-strategic position on sea borders. The industrialisation plans included re-equipping the entire technological production of the Soviet country, taking into account the technical development of Germany, France, the USA and other countries [2-4].

### THE NEED FOR A NAVAL MILITARY TEST BASE IN THE USSR

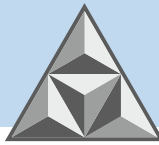
Due to increasing international tensions in Europe in the late 1920s and early 1930s, the Soviet leadership was forced to take drastic measures to comprehensively strengthen their own Armed Forces following the extensive militarisation of Germany and Italy, the deployment of Japan's large-scale aggression against China and the expansion of its army to the Far Eastern borders [5].

In the 1930s the Soviet government was focused on the construction of specialised factories for the production of military weapons. The starting point was the "Directives for the preparation of the first five-year plan for the development of the national economy of the USSR" issued at the 15th Congress of the CPSU(b) in 1927 and the Resolution "On the state of national defence" (1929). The documents contained the provisions and guidelines for the radical technical reconstruction of the army, aviation and navy. Along with modernizing the existing weapons, the USSR Revolutionary Military Council and the People's Commissariat for Military and Naval Affairs had a goal to obtain prototypes and ensure the mass introduction of modern weapons into the army as soon as possible. In January 1931, the USSR Revolutionary Military Council revised the previously approved construction plan for 1931-1933 and formalized the guidelines for the scientific development of the first five-year plan of the development of the military industry.

The study of the history of the military industrialization of the autonomous republics of the USSR is relevant at the present stage; however, it does not study enough. In the 1920s and 1930s the prospects of the industrial development of the Dagestan ASSR, the largest and most multinational republic of the USSR, were very bright. Dagestan had a large undeveloped foothill area with an access to the sea. Between 1927 and 1933, 1.163 industrial factories were founded in Makhachkala, Derbent, Khasavyurt, Dagestan Ogniy and other settlements.

### CONSTRUCTION OF ASSEMBLY AND TEST WORKSHOP NO. 8 AT DAGDIESEL FACTORY IN THE DAGESTAN ASSR

However, during the period under study, the construction of one of the country's industrial giants, the Dagdizel factory, on the Caspian Sea coast in Dagestan ASSR, began. But the area 20 km



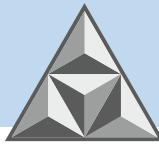
south of Makhachkala was covered by the swamps, named "Turalinskaya Zemlya", unsuitable for construction. In 1931, however, the drainage work began. The proximity to the sea and to the railway has made it possible to supply building material for the rapid construction of more than 140,000 m<sup>2</sup> of buildings. Geological tests and chemical analysis of the rocks of Mount Turali have shown that it is a single monolith, and the stone remains granite in structure. The stone reserves made it possible to build not only a factory and an artificial bay attached to it, but also a larger workers' settlement [6]. The secrecy of the project required a change in the name of the factory. Until 1937 it was called Dvigatelstroy, then Factory no. 182 (Mailbox No. 1), Dagdiesel [7].

The construction of large-scale military-industrial production in the Dagestan ASSR with the support of I.V. Stalin and G. K. Ordzhonikidze was a significant success in the economic sphere and in solving the human resources problems of the region and the country as a whole. Young enthusiasts came to the construction site and were involved in the implementation of the technological plans. However, the high level of activity of the workers could not compensate for the shortcomings of the management system, the weakened attention of the management of the factories to the material supply and living conditions of the specialists employed in production [7]. Despite all the difficulties, the construction of the Dagdiesel factory became a symbol of the 1930s. In a very short time the factory became one of the country's leaders in the production of underwater equipment, along with factories producing naval weapons - Factory no. 175 in Bolshoi Tokmak, Factory no. 19 in Taganrog, Factory no. 239 in Kiev [8]. This has facilitated rapid progress in the application of the latest technical tools in the factory. Dagestan gradually transformed from an agricultural-industrial area into an industrial-agricultural territory.

The factory building for Dagdiesel's assembly and test workshop No. 8 stood out among all the facilities constructed at the factory for its boldness and originality in solving construction problems (Fig. 1). The construction of the workshop building required a great deal of effort and material resources. The underwater part of the array was designed and developed by experienced specialists, P.I. Klimov and M.Y. Sokolov; the above-water part was designed by engineers A.S. Desortsev, G.I. Akhtenstein and P.P. Parfenov.



**Fig. 1.** Modern view of the building of the assembly and testing workshop no. 8 of the Dagdiesel factory, 2022  
(photo by the author)



In 1937, the assembly and testing workshop no. 8 of the Dagdiesel factory began to work. Constructed a few kilometres offshore, workshop no. 8 still amazes and delights even specialists with its boldness and originality (Fig. 2). The test platform, which occupied about 5,000 m<sup>2</sup> and had an observation tower 39 m high (Fig. 3), was built in the sea at a distance of 2.7 km from the shore. There was a lift, taking people up to the observation tower, located on the ninth floor. The main facade was a solid brick surface, bounded by blank reinforced concrete walls of the administrative and household spaces, which went under the water. The floors inside were connected vertically by stairways and horizontally by bars at floor level and concrete window frames.

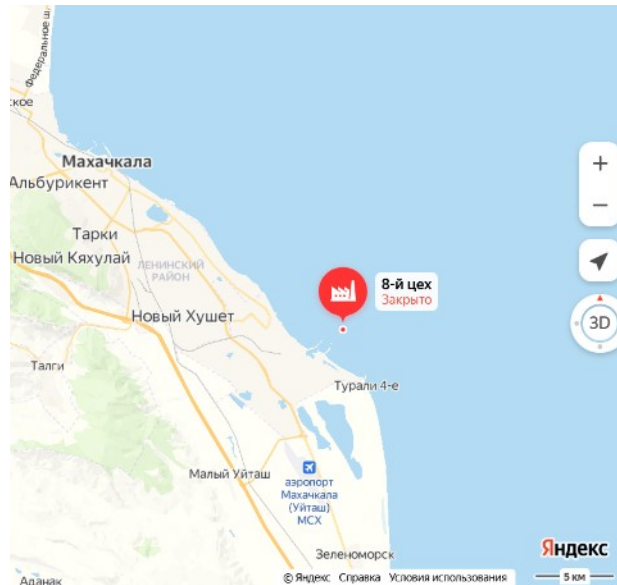
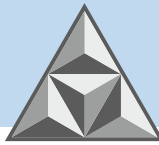


Fig. 2. Location of Dagdiesel's assembly and test workshop no. 8 (Yandex Navigator, 2022)



Fig. 3. Observation tower of Dagdiesel Factory no. 8 (2022, photo by the author)



The building of workshop no. 8 is an example of the art of construction in terms of its clarity, simplicity and conciseness of its architectural forms. A trench with a capacity of 530,000 m<sup>3</sup> was made using the dredgers "Stepan Razin" and "Volgo-Kaspiy no. 6". The underwater part of this pavilion, called the Massive, was built on shore. The large Massive's platform was laid 14.0 m high with 1.5 m thick walls. The complex technical work carried out by the builders of the factory is still astonishing in its scale and uniqueness of implementation [3].

The three floors under the water were used as working and living quarters for the staff who worked on a shift schedule. Every three months, a shift of 20 people arrived at the site (Fig. 4) to test the new equipment.

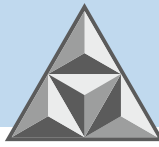


Fig. 4. Assembly and test workshop with access to the sea (2022, photo by the author)

The torpedo hall had an expressive composition that blended harmoniously into the architectural complex of the workshop. The architectural shape of the building was defined by constructivist forms. This unique site contained all the facilities needed for work - the canteen, meeting room, library, hospital ward (Fig. 5) and the director's office with an open balcony.



Fig. 5. Infirmary (2022, photo by the author)



The workers played basketball and volleyball in the middle of the basement in a large gym. Despite the airiness and lightness of the structures and the abundance of glass on the upper floors of the workshop, the building had a monumental appearance and protected the lower floors from water penetration.

The slogan containing the claims to provide the country with motors and engines has become a symbol of the hard work of the workers' and specialists' team on the site. The staff of the "Dvigatel" factory's design department designed and tested the new D-5 and PB-7 torpedoes between 1935 and 1936. The D-5 torpedo was obtained by increasing the diameter of the main car cylinders and the D-4 tank. Engine power increased from 300 to 400 hp. Speed at 4000 m increased by 16%, from 43 to 50 knots. The PB-7 torpedo had an increased tank pressure, longer charge compartment length and reduced (thanks to the wrapping of the tank with wire) weight. It increased the torpedo charge from 250 kg to 500 kg. The torpedo was made and tested on the stand (on the brake). Attaching a tank to any torpedo improved its tactical qualities. In the first quarter of 1937, a prototype was tested at sea [11].

Original elements of the site of the assembly and testing workshop no. 8 of the Dagdiesel Factory defined the secure facility of Kaspiysk. It was only possible to get to the workshop with a special pass. This policy was followed until the end of May 1946. This unique workshop, which occupied the area of a small city quarter, existed until 1966. The scientific progress in military affairs posed a different challenge to the Soviet industrial complex. To test the torpedoes, different conditions were needed - primarily greater depths. The workshop was closed and the station's equipment removed. Today, guides take tourists there by boat, positioning the excursion to the abandoned workshop as a mysterious "Caspian Fort Boyard". From the shore you can see the high observation tower and the walls of the station.

## CONCLUSIONS

In the 1930s, the use of advanced domestic industry brought Soviet military architecture to the highest level. In terms of its architectural and structural design, the workshop no. 8 examined in the article was a large engineering complex. The expressive silhouette of the high observation tower and the horizontal planes of the workshop were visible from the Caspiy shore. The panorama of the factory was accentuated by the vastness of the Caspian Sea. A team of engineers and architects worked on the construction of assembly and test shop no. 8 at the Dagdiesel Factory, using reinforced concrete structures in the lower shell of the shop, supplemented by brickwork on the upper floors.

The construction of the workshop proceeded rapidly: three years later the plant was in operation, and a year later the first tests were conducted. The new version of the factory included a testing facility, a canteen, a meeting room and an infirmary. The working conditions for employees have been designed to meet the necessary temperature, lighting, ventilation and other sanitary and epidemiological standards. In 1942, after the evacuation of the factory to Kazakhstan, operation of the workshop was stopped; after the Second World War it was restored and discontinued in the early 1960s, due to the production of new torpedoes requiring greater depths for testing.





## REFERENCES

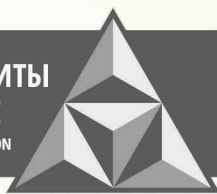
1. **Stalin, I.V.** (1951) On the tasks of business executives: Speech at the First All-Union Conference of Workers of Socialist Industry on February 4, 1931, *Stalin, I.V. Works. Vol. 13.* M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo politicheskoy literatury, pp. 29-42 (in Russian).
2. **Harrison, M.** (1985) *Soviet Planning in Peace and War, 1938-1945.* Cambridge: Cambridge Univ. Press.
3. Development Strategy and Planning: The Soviet Experience, *Max F. Millikan (Ed.), National Economic Planning* [online]. Available at: <https://www.nber.org/books-and-chapters/national-economic-planning/development-strategy-and-planning-soviet-experience>
4. **Manove, M.** (1971) A model of Soviet-Type Economic Planning, *The American Economic Review*, 61(3), pp. 390-406 [online]. Available at: URL: <https://sites.bu.edu/manove/files/2013/05/ManoveSoviet-TypePlanningAER19711.pdf>
5. **Ivanov, V.V.** *Construction of large artillery ships of the Navy of the Soviet Union in the 1930s - early 1940s* [online]. Available at: [http://www.rusnauka.com/17\\_PN\\_2015/Istoria/2\\_195051.doc.htm](http://www.rusnauka.com/17_PN_2015/Istoria/2_195051.doc.htm) (in Russian).
6. **Seferbekov, R.I., Bulatov, B.B., Zul'pukarova, E.M.-G., Gasanova, M.A. & Seferbekov, M.R.** (2021) *Anthropology of Dagestan city: the impact of globalization on the transformation of culture and everyday life of Dagestan citizens in the post-Soviet period.* Makhachkala: Izd-vo DGU (in Russian).
7. **Truzhenikova, L.A. & Aslanbekova, G.G.** (2018) Industrial development of Dagestan in the 1930s (on the example of the Dagdiesel plant), *Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 4, pp. 50-57 [online]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennoe-razvitie-dagestana-v-1930-e-gody-na-primere-zavoda-dagdizel> (in Russian).
8. **Kirilenko, G.V.** (2009) *Declassified city.* M.: Ros. Akademiya nauk (in Russian).
9. **Hanin, L. & Pokorskij, N.** (1998) *Born by the Sea.* Makhachkala: Yupiter (in Russian).
10. *General history of architecture. Vol. 12. Book 1. USSR Architecture*, N.V. Baranova (Ed.) (1975). M.: Strojizdat (in Russian).
11. *Formation of the military-industrial complex of the USSR (1933-1937)* (2011). M.: Terra (in Russian).

Received 29.08.2022

Approved after reviewing 15.09.2022

Accepted 22.09.2022

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



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

