

# **ШТС** ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

**8/2021**



**ЛАУРЕАТ ФЕСТИВАЛЯ «ЗОДЧЕСТВО-2020»  
ПРОЕКТ ХРАМА В ЧЕСТЬ СЯТИТЕЛЯ СПИРИДОНА  
ТРИМИФУНТСКОГО, МИНСК, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ**

*Поздравляем читателей с Днем строителя!*



www.scadsoft.com  
www.scadhelp.ru

## МАГNUM

### Нормативный расчет несущих элементов конструкций из холодногнутых профилей

Программа **МАГNUM** предназначена для выполнения конструктивных расчетов и проверок несущих элементов стальных конструкций, выполненных из холодногнутых профилей, на соответствие требованиям СП 260.1325800 или EN 1993.

В программе **МАГNUM** реализованы проверочные расчеты несущих элементов стержневых конструкций, для которых пользователем назначены тип и размеры сечения. В том случае, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, в программе также реализована и возможность подбора профиля по сортаменту.

### ВОЗМОЖНОСТИ

Расчетные режимы реализуют все нормативные проверки несущих элементов из холодногнутых профилей на прочность, устойчивость и деформативность. Они охватывают:

- **Сопротивление сечений** – сплошные, составные и сквозные сечения из холодногнутых профилей при действии в них произвольных сочетаний усилий (включая бимоменты и моменты стесненного кручения);
- **Фермы** – конструктивные схемы шарнирно-стержневых систем покрытий, наиболее часто используемые в практике проектирования ЛСТК, с использованием составных или сквозных сечений из U-, C- и  $\Sigma$ -образных холодногнутых профилей, а также корытных профилей и составных сечений из спаренных холодногнутых уголков;
- **Балки** – однопролетные балки составных и сквозных сечений из U-, C- и  $\Sigma$ -образных холодногнутых профилей с различными условиями опирания;
- **Неразрезные балки** – многопролетные балочные конструкции с составными и сквозными сечениями из U-, C- и  $\Sigma$ -образных холодногнутых профилей;
- **Неразрезные прогоны** – многопролетные балки из холодногнутых профилей, работающие в качестве прогонов покрытия (в том числе, как элементы горизонтальных ветровых ферм) из C- и Z-образных профилей;
- **Стойки** – колонны составных и сквозных сечений из U-, C- и  $\Sigma$ -образных холодногнутых профилей.

### Справочные и вспомогательные режимы:

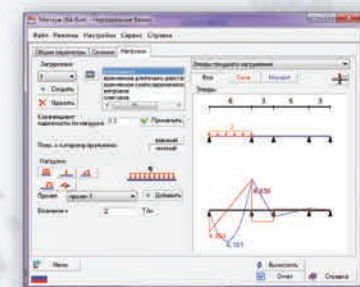
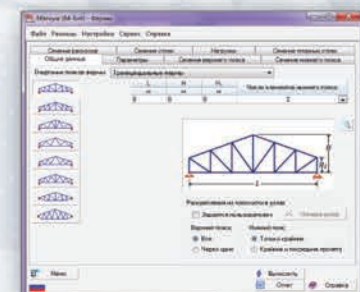
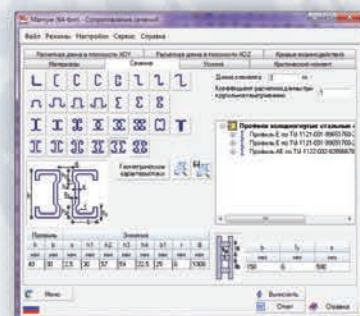
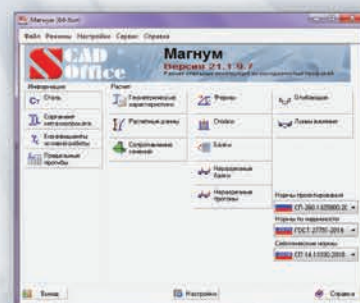
- **Сталь** – просмотр значений нормативного и расчетного сопротивления сталей, используемых для несущих элементов из холодногнутых профилей;
- **Сортамент металлопроката** – просмотр сортовентов холодногнутых профилей;
- **Кoeffициенты условий работы** – просмотр и выбор значений коэффициентов условий работы для конструкций и несущих элементов из холодногнутых профилей;
- **Предельные прогибы** – просмотр нормативных ограничений на прогибы;
- **Огибающие** – определение невыгодных сочетаний многих нагрузок, которые действуют на изгибаемые элементы, строятся огибающие эпюры M и Q;
- **Линии влияния** – построение линий влияния в многопролетных неразрезных балках;
- **Геометрические характеристики** – вычисление геометрических характеристик поперечных сечений из холодногнутых профилей;
- **Расчетные длины** – вычисление расчетных длин стержневых элементов конструкций в зависимости от их условий закрепления.

### ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Результаты вычислений могут быть представлены в виде иллюстрированного отчета, создаваемого автоматически. Отчет передается в любое приложение Windows, ассоциированное с форматом RTF (например, MS Word или Open Office).



ООО "АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ"



**СОУЧРЕДИТЕЛИ:**

Российское общество инженеров строительства, Российская инженерная академия

**СОДЕРЖАНИЕ****СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ**

Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения  
*Еремеев П. Г., Ведяков И. И.* \_\_\_\_\_ **4**

Проектирование теплозащиты малоэтажных зданий с учетом конструктивной неоднородности ограждений  
*Лихненко Е. В., Жаданов В. И., Аркаев М. А., Украинченко Д. А.* \_\_\_\_\_ **11**

**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

Проведение изысканий на застроенных территориях, в стесненных условиях и снижение геотехнических рисков  
*Абелев М. Ю., Чунюк Д. Ю., Левченко А. П., Аверин И. В.* \_\_\_\_\_ **18**

Струйная цементация для устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах  
*Алексеев А. Г., Зорин Д. В., Алексеенко В. А.* \_\_\_\_\_ **27**

Проектные решения фундаментов в условиях островного распространения многолетнемерзлых грунтов Магадана  
*Гулый С. А.* \_\_\_\_\_ **33**

Волновая теория удара для контроля процесса погружения забивных свай  
*Филиппов К. А., Чуркин А. А., Гаврютина А. В., Мухин А. А.* \_\_\_\_\_ **41**

Свайная оболочка «Reline» – эффективная защита при морозном пучении грунтов  
*Алявдин Д. В., Беляков В. М., Левин А. Д.* \_\_\_\_\_ **51**

**АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**

Методологические особенности подготовки документов территориального планирования в современных условиях  
*Митягин С. Д.* \_\_\_\_\_ **59**

**НА НАШЕЙ ОБЛОЖКЕ**

Проект храма в честь святителя Спиридона Тримифунтского в Минске (*Информация*) \_\_\_\_\_ **69**

Благоустройство правобережной набережной Енисея в Красноярске (*Информация*) \_\_\_\_\_ **70**

**СПОНСОРЫ и ПАРТНЕРЫ**

Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы, РААСН, НИУ МГСУ, Комитет Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства, Моспроект-2 им. М. В. Посохина, ЦНИИПромзданий, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

---

**Б. В. ГУСЕВ**, главный редактор,  
доктор технических наук, член-корреспондент РАН  
(Москва)

**М. И. БАЛЪЗАННИКОВ**, доктор технических наук (Самара)

**М. И. БОГДАНОВ**, кандидат геолого-минералогических наук  
(Москва)

**Т. БОК**, доктор технических наук (Мюнхен, Германия)

**М. БОЛТРИК**, доктор технических наук (Белосток, Польша)

**И. И. ВЕДЯКОВ**, доктор технических наук (Москва)

**А. А. ВОЛКОВ**, доктор технических наук,  
член-корреспондент РААСН (Москва)

**И. Е. ГОРЯЧЕВ**, кандидат технических наук (Москва)

**В. В. ГРАНЁВ**, доктор технических наук (Москва)

**А. Н. ДМИТРИЕВ**, доктор технических наук (Москва)

**В. Т. ЕРОФЕЕВ**, доктор технических наук,  
академик РААСН (Саранск)

**Б. Т. ЖУМАГУЛОВ**, доктор технических наук  
(Астана, Казахстан)

**О. Н. ЗАЙЦЕВ**, доктор технических наук (Симферополь)

**М. А. КИОРИНО**, доктор технических наук,  
академик Туринской академии наук (Турин, Италия)

**В. И. КОЛЧУНОВ**, доктор технических наук,  
академик РААСН (Курск)

**Е. В. КОРОЛЁВ**, доктор технических наук (Санкт-Петербург)

**А. А. КУСАИНОВ**, доктор технических наук  
(Алматы, Казахстан)

**В. В. ЛАРИОНОВ**, доктор технических наук (Москва)

**В. Е. ЛЕВКЕВИЧ**, доктор технических наук (Минск, Беларусь)

**С. И. ЛЁВКИН**, доктор менеджмента (Москва)

**С. Д. МИТЯГИН**, доктор архитектуры,  
член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

**В. МЕЩЕРИН**, доктор технических наук  
(Дрезден, Германия)

**В. Л. МОНДРУС**, доктор технических наук,  
член-корреспондент РААСН (Москва)

**А. Я. НАЙЧУК**, доктор технических наук  
(Брест, Беларусь)

**П. П. ОЛЕЙНИК**, доктор технических наук (Москва)

**М. М. ПОСОХИН**, академик Международной академии архитектуры,  
академик РААСН (Москва)

**О. Г. ПРИМИН**, доктор технических наук (Москва)

**В. И. РЕСИН**, доктор экономических наук,  
академик РААСН (Москва)

**В. И. ТЕЛИЧЕНКО**, доктор технических наук,  
академик РААСН (Москва)

**В. Р. ФАЛИКМАН**, доктор материаловедения  
(Москва)

**О. И. ФЕДОСЕЕВА**, заместитель главного редактора  
(Москва)

---

Журнал включен в Перечень изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Журнал входит в базы данных eLibrary.ru, ВИНТИ РАН, Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, Ulrich's Periodicals Directory, индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ). Плата за аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

### Редакция журнала

127434 Москва,  
Дмитровское шоссе, 9, стр. 2, офис 337  
☎: 8 (499) 609-02-39  
E-mail: pgs@inbox.ru, www: pgs1923.ru

АВТОРЫ ОПУБЛИКОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НЕСУТ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ТОЧНОСТЬ ПРИВЕДЕННЫХ ФАКТОВ, ЦИТАТ, СОБСТВЕННЫХ ИМЕН И ПРОЧИХ СВЕДЕНИЙ. РЕДАКЦИЯ МОЖЕТ ПУБЛИКОВАТЬ СТАТЬИ, НЕ РАЗДЕЛЯЯ ТОЧКУ ЗРЕНИЯ АВТОРА. ЗА СОДЕРЖАНИЕ РЕКЛАМНЫХ ОБЪЯВЛЕНИЙ РЕДАКЦИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НЕ НЕСЕТ. ПЕРЕПЕЧАТКА МАТЕРИАЛОВ ЖУРНАЛА БЕЗ ПИСЬМЕННОГО СОГЛАСИЯ РЕДАКЦИИ НЕ ДОПУСКАЕТСЯ.

Журнал зарегистрирован в Госкомпечати РФ. Рег. № 01061

Подписано в печать 20.08.2021 г. Бумага мелованная. Формат 60×88 1/8. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9. Цена 1795 р. Заказ №

## EDITORIAL BOARD

---

**B. V. GUSEV**, Editor-in-Chief,  
DSc, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences  
(Moscow, Russian Federation)

**M. I. BALZANNIKOV**, DSc (Samara, Russian Federation)

**T. BOCK**, Dr.-Ing. (Munich, Germany)

**M. I. BOGDANOV**, PhD (Moscow, Russian Federation)

**M. BOLTRYK**, DSc (Bialystok, Poland)

**M. A. CHIORINO**, DSc, Academician of Turin Academy of Sciences  
(Torino, Italy)

**A. N. DMITRIEV**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**V. T. EROFEEV**, DSc, Academician of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences (Saransk, Russian Federation)

**V. R. FALIKMAN**, Doctor in Materials Science  
(Moscow, Russian Federation)

**O. I. FEDOSEEVA**, Deputy Editor-in-Chief  
(Moscow, Russian Federation)

**I. E. GORYACHEV**, PhD (Moscow, Russian Federation)

**V. V. GRANEV**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**V. I. KOLCHUNOV**, DSc, Academician of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences (Kursk, Russian Federation)

**E. V. KOROLEV**, DSc (St. Petersburg, Russian Federation)

**A. A. KUSSAINOV**, DSc (Almaty, Kazakhstan)

**V. V. LARIONOV**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**V. E. LEVKEVICH**, DSc (Minsk, Belarus)

**S. I. LEVKIN**, Doctor of management (Moscow, Russian Federation)

**V. MECHTCHERINE**, Dr.-Ing. (Dresden, Germany)

**V. L. MONDRUS**, DSc, Corresponding member of the Russian  
Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow,  
Russian Federation)

**S. D. MITYAGIN**, DSc, Corresponding member of the Russian  
Academy of Architecture and Construction Sciences  
(St. Petersburg, Russian Federation)

**A. Y. NAYCHUK**, DSc (Brest, Belarus)

**P. P. OLEJNIK**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**M. M. POSOKHIN**, Academician of the International Academy  
of Architecture, Academician of the Russian Academy of Architecture  
and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**O. G. PRIMIN**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**V. I. RESIN**, DSc, Academician of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences  
(Moscow, Russian Federation)

**V. I. TELICHENKO**, DSc, Academician of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences  
(Moscow, Russian Federation)

**I. I. VEDYAKOV**, DSc (Moscow, Russian Federation)

**A. A. VOLKOV**, DSc, Corresponding member of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russian Federation)

**O. N. ZAITSEV**, DSc (Simferopol, Russian Federation)

**B. T. ZHUMAGULOV**, DSc (Astana, Republic of Kazakhstan)

---

The journal is included into the List of top scientific reviewed journals and publications that publish scientific findings presented in dissertations for PhD and DSc. Bibliographic databases: eLIBRARY, VINITI RAN, Web Science in the form of the Russian Science Citation Index (RSCI), Ulrich's Periodicals Directory as well as indexing in the Russian Science Citation Index (RSCI). Post-graduate students are not charged for manuscript publishing.

### Editorial

office 337, 9, Dmitrovsky highway, building 2,  
Moscow 127434, Russian Federation  
☎: +7 (499) 609-02-39  
E-mail: pgs@inbox.ru, www: pgs1923.ru

**CO-FOUNDERS:**

Russian Society of Civil Construction Engineers, Russian Engineering Academy

**CONTENTS****BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**

- Once Again About the Problem of Protecting Buildings and Structures  
from Progressive Collapse  
*Yeremeyev P. G., Vedyakov I. I.* \_\_\_\_\_ **4**
- Design of Thermal Protection of Low-Rise Buildings Taking  
into Account the Structural Heterogeneity of Enclosing Structures  
*Likhnenko E. V., Zhadanov V. I., Arkaev M. A., Ukrainchenko D. A.* \_\_\_\_\_ **11**

**BASES AND FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES**

- Conducting Surveys on Built-Up Areas, In Cramped Conditions  
and Reducing Geotechnical Risks  
*Abelev M. Yu., Chyunyuk D. Yu., Levchenko A. P., Averin I. V.* \_\_\_\_\_ **18**
- Jet-Cementation for the Construction of Foundations on Permafrost Soils  
*Alekseev A. G., Zorin D. V., Alekseenko V. A.* \_\_\_\_\_ **27**
- Design Solutions of Foundations in the Conditions  
of Island Distribution of Permafrost Soils of Magadan  
*Gulyy S. A.* \_\_\_\_\_ **33**
- High Strain Dynamic Testing for the Control of the Process  
of Immersion of Driven Piles  
*Filippov K. A., Churkin A. A., Gavryutina A. V., Mukhin A. A.* \_\_\_\_\_ **41**
- Heat-Shrinkable Polymer Coating "Reline" an Effective Protection  
Against Frost Heaving of Soils  
*Alyavdin D. V., Belyakov V. M., Levin A. D.* \_\_\_\_\_ **51**

**ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES. TOWN PLANNING**

- Methodological Features of the Preparation of Territorial Planning Documents  
in Modern Conditions  
*Mitiagin S. D.* \_\_\_\_\_ **59**

**ON THE COVER**

- The Project of the Church in Honor of St. Spyridon, Bishop of Trimythous,  
in Minsk (*Information*) \_\_\_\_\_ **69**
- Improvement of the Right-Bank Embankment of the Yenisey  
in Krasnoyarsk (*Information*) \_\_\_\_\_ **70**

**SPONSORS and PARTNERS**

Complex of Urban Development Policy and Construction of Moscow, RAACS, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation for Entrepreneurship in the Sphere of Construction, Mosproject-2 named after M. V. Posokhin, TSNIPromzdany, JSC Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions named after V. A. Koucherenko

# Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения

**Павел Георгиевич ЕРЕМЕЕВ**, доктор технических наук, профессор, e-mail: eremeevpg@rambler.ru

**Иван Иванович ВЕДЯКОВ**, доктор технических наук, профессор, e-mail: vedyakov@tsniisk.ru

ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ Строительство», 109498 Москва, 2-я Институтская, 6

**Аннотация.** Рассмотрены причины и механизмы аварий, приводящих к прогрессирующему обрушению строительных конструкций. Выявлены противоречия между требованиями различных нормативных документов по этой проблеме. Показано, что предотвращение прогрессирующего обрушения не может быть решено одинаково для всех типов объектов. Предложены превентивные мероприятия по обеспечению сопротивления конструкций прогрессирующему обрушению без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов. Показано на конкретных примерах проектов, что данную проблему невозможно решить универсальными методами. Выявлена необходимость разработки системы четкой нормативной документации (своды правил и рекомендации) по вопросу учета прогрессирующего обрушения для различных типов зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, аварии строительных конструкций, нормативные документы, превентивные мероприятия.

## ONCE AGAIN ABOUT THE PROBLEM OF PROTECTING BUILDINGS AND STRUCTURES FROM PROGRESSIVE COLLAPSE

**Pavel G. YEREMEYEV**, e-mail: eremeevpg@rambler.ru

**Ivan I. VEDYAKOV**, e-mail: vedyakov@tsniisk.ru

Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, 2-ya Institutskaya ul., 6, Moscow 109428, Russian Federation

**Abstract.** The causes and mechanisms of accidents leading to the progressive collapse of building structures are considered. The contradictions between the requirements of various regulatory documents on the problem of progressive collapse are revealed. It is shown that the prevention of progressive collapse cannot be solved in the same way for all types of objects. Preventive measures are proposed to ensure the resistance of structures to progressive collapse without conditional calculations with the exclusion of key elements from the work. It is shown on concrete examples of projects that this problem cannot be solved by universal methods. The necessity to develop a system of clear regulatory documentation (codes of rules and recommendations) on the issue of accounting for progressive collapse for various types of buildings and structures is revealed.

**Key words:** progressive collapse, failures of building structures, regulatory documents, preventive measures.

В последнее время в АО «НИЦ «Строительство» поступают многочисленные вопросы и замечания от проектных организаций и организаций-заказчиков по проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Известны многочисленные примеры прогрессирующего обрушения многоэтажных каркасных, крупнопанельных или монолитных жилых и офисных зданий. В исследованиях причины, обусловившие такие обрушения, систематизированы следующим образом [1–7]:

- ошибки при проектировании (неполные инженерно-геологические изыскания, неудачные конструктивные решения, неучет

действительной работы конструкций, ошибки в расчетах и при назначении нагрузок, недостатки или нарушение требований нормативных документов, недостаточный контроль выполнения проектных работ, низкая квалификация исполнителей и т. д.);

- погрешности в строительстве (ненадлежащее качество выполнения работ, дефекты материалов, нарушение технологии производства работ, несвоевременная постановка связей, недостаточный контроль выполнения работ, низкая квалификация исполнителей и др.);

- упущения при эксплуатации зданий и сооружений (нарушение правил эксплуатации и сро-

ков капитального ремонта, недостаточный контроль технического состояния конструкций, некомпетентность персонала, отсутствие мониторинга и пр.);

- аварийные воздействия природного характера (ураганы, землетрясения, карстовые провалы, оползни, ливни и т. п.);

- аварийные воздействия техногенного характера (взрывы бытового газа, взрывные устройства, используемые террористами, пожары, удары и т. д.).

Причинами прогрессирующего обрушения производственных зданий в большинстве случаев тоже являются ошибки проектирования, несоблюдение технологии проведения строительного

монтажных работ, применение некачественных материалов, нарушение правил эксплуатации, а также аварийные воздействия техногенного характера.

Для большепролетных сооружений в числе отмеченных причин обрушения в ряде случаев оказалось существенное повышение климатических нагрузок, а также сочетание различных факторов.

Ориентировочное соотношение причин обрушения по различным источникам составило, %:

ошибки проектирования .	25–35
дефекты изготовления и монтажа. . . . .	30–40
неправильная эксплуатация . . . . .	20–35
низкое качество материалов. . . . .	10–15
недоработка нормативных документов . . . . .	4
прочие причины и их сочетание . . . . .	до 30

Количественный разброс причин отказов может быть объяснен недостаточностью статистического материала, различной методикой и несовершенством оценки причин аварий и т. п. Однако настораживает большая доля ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Данные сведения позволяют еще раз рассмотреть причины и механизмы аварий в строительстве, связанные с проблемой прогрессирующего обрушения конструкций, чтобы исключить или предотвратить их возникновение, а также с целью актуализации нормативных документов по этому вопросу. Анализ показал, что эти причины в большинстве случаев отвечают различным аварийным ситуациям, в ряде случаев они различаются для неодинаковых типов зданий и сооружений, зачастую аварии являются результатом не одной, а комплекса причин.

Проблема защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения рассмотрена во многих зарубежных [8–14] и отечественных [15–20] нормативных документах, а также научно-технических материалах [21, 22].

Следует отметить, что все зарубежные нормативные документы содержат рекомендации по проектированию с учетом предотвращения прогрессирующего обрушения *только каркасных, крупнопанельных и монолитных многоэтажных жилых и офисных зданий с многократно повторяющейся регулярной сеткой осей*. Таким зданиям посвящено подавляющее большинство научно-технических статей по данной теме.

Нормативно-технические документы, изданные в нашей стране до 2007 г. [15–19], также содержат рекомендации по предотвращению прогрессирующего обрушения только многоэтажных зданий. В 2018 г. введен СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения», который базируется на требованиях Технического регламента о безопасности зданий и сооружений (№ 384-ФЗ от 30.12.2009 г., ст. 16, п. 6, редакция от 02.07.2013).

С 2009 г. Главгосэкспертиза РФ в соответствии с законом № 384-ФЗ установила обязательное требование по расчету на прогрессирующее обрушение всех зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (класс КС-3), а после 2018 г. распространила эти требования на здания и сооружения нормального уровня ответственности (класс КС-2) с массовым нахождением людей, что противоречит закону № 384-ФЗ. Требования по предотвращению прогрессирующего обрушения содержатся также в ГОСТ 27751–2014 «Надежность

строительных конструкций и оснований. Основные положения», СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания», СП 118.13330. 2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения», СП 132.13330.2011 «Обеспечение антитеррористической защищенности зданий и сооружений. Общие требования проектирования», СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия».

Сравнительный анализ зарубежных и отечественных нормативных документов показал, что если первые характеризуются ясными и точными требованиями по проблеме прогрессирующего обрушения к конструкциям конкретных типов зданий, то вторые зачастую отличаются друг от друга, а иногда содержат противоречия внутри одного документа [5]. Следует обратить внимание на некоторые из них.

#### Федеральный закон № 384-ФЗ:

- статья 5, ч. 2: «Безопасность зданий и сооружений ... обеспечивается посредством соблюдения требований настоящего Федерального закона и требований стандартов и сводов правил ... или требований *специальных технических условий*» (СТУ). Аналогичная запись относительно СТУ содержится в ст. 5, частях 4, 8, 9 и в ст. 15, ч. 6. Это положение, по нашему мнению, определяет СТУ как нормативный документ, который регулирует в том числе и требования по проблеме прогрессирующего обрушения зданий и сооружений класса КС-3;
- статья 6, ч. 1: «Правительство РФ утверждает перечень национальных стандартов и сводов правил ... в результате применения которых *на обязательной основе* обеспечивается соблюдение требований настоящего федерального закона»;

- статья 6, ч. 3: «В перечень ... могут включаться национальные стандарты и своды правил, поддерживающие ... различные подходы к обеспечению безопасности зданий и сооружений ... В этом случае *застройщик (заказчик) вправе самостоятельно определить*, в соответствии с каким из указанных требований, подходов будет осуществляться проектирование ... здания или сооружения»;
- статья 6, ч. 7: «Национальным органом РФ по стандартизации ... утверждается ... перечень документов ... в результате применения, которых *на добровольной основе* обеспечивается соблюдение требований настоящего федерального закона», этот пункт противоречит ст. 6, ч. 1;
- статья 16, ч. 6: «При проектировании здания или сооружения *повышенного уровня ответственности* должна быть учтена также аварийная расчетная ситуация ... с точки зрения последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации (в том числе предельных состояний при ситуации, возникающей в связи со взрывом, столкновением, с аварией, пожаром, а также непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций)». Это требование неконкретное, открывает возможности произвольного толкования.

#### ГОСТ 27751:

- пункт 5.2.6: «Расчет на прогрессирующее обрушение проводится для зданий и сооружений класса КС-3, а также *зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей*». Под это определение попадают все жилые, офисные, общественные и другие здания высотой 5 этажей и более, а также большинство зрелищных и спортивных объектов, торговых предприятий и т. п. При этом здесь же

отмечается, что *«расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружений или его части».*

#### СП 56.13330:

- пункт 5.1: «... При проектировании следует рассчитывать на прогрессирующее обрушение производственные здания *повышенного уровня ответственности по ГОСТ 27751, а также нормального уровня ответственности с массовым пребыванием граждан*».

В письме Минстроя России от 29.09.17 г. № 35062-АС/08 указано: «Требование о необходимости расчета на прогрессирующее обрушение всех производственных зданий, установленное в п. 5.1 СП 56.13330.2011 ... является избыточным» и противоречащим федеральному закону № 384-ФЗ.

#### СП 118.13330:

- пункт 6.3: «*При повышенном уровне ответственности должен быть проведен расчет на аварийную ситуацию, определенную в задании на проектирование*, требования к которой определены в федеральном законе № 384-ФЗ».

Это требование относится только к зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности.

#### СП 296.1325800:

- пункт 4.5: «Действие аварийных особых воздействий учитывается расчетом сооружений на прогрессирующее обрушение. Действие аварийных особых нагрузок *допускается не учитывать расчетом сооружений на прогрессирующее обрушение, если выполнены проектные, конструктивные и организационные мероприятия, приведен-*

*ные в 5.11 и указанные в задании на проектирование»;*

- пункт 5.2: «При проектировании сооружений должны быть разработаны сценарии реализации наиболее опасных аварийных расчетных ситуаций и разработаны стратегии для предотвращения прогрессирующего обрушения сооружения при локальном разрушении конструкций ... Перечень сценариев ... *устанавливается техническим заказчиком в задании на проектирование* по согласованию с генеральным проектировщиком». Требование обязательности расчета на прогрессирующее обрушение должно быть установлено в задании на проектирование;
- пункт 5.11: «*Действие аварийных особых нагрузок допускается не учитывать в том случае, если ...* выполнены все следующие требования: проведен расчет сооружения на действие ... особых воздействий, указанных в настоящем своде правил, задании на проектирование и действующих нормативных документах; введены дополнительные коэффициенты условий работы; проведены организационные мероприятия, в том числе в соответствии с СП 132.13330.2011».

Наиболее критикуемое требование ст. 16, ч. 6 закона № 384-ФЗ о необходимости обязательного учета отказа одной из несущих строительных конструкций. В ГОСТ 27751, п. 5.2.6, а также в пп. 3.5, 3.11, 6.26 записано, что расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения или его части. Аналогичная формулировка приведена в пп. 4.5 и 5.11 СП 296.1325800.

В соответствии со ст. 16, ч. 6 закона № 384-ФЗ аварийная расчетная ситуация должна быть уч-

тена для сооружений повышенно-го уровня ответственности, так же как и в п. 6.3 СП 118.13330. А согласно п. 5.2.6 ГОСТ 27751 расчет на прогрессирующее обрушение проводится для сооружений класса КС-3 и класса КС-2 с массовым нахождением людей, так же как и по п. 5.1 СП 56.13330.

По ст. 6, ч. 3 закона № 384-ФЗ заказчик вправе самостоятельно определять требования по обеспечению безопасности сооружений. В СП 118.13330, п. 6.3 и СП 296.1325800, п. 5.2 приведен перечень сценариев аварийных расчетных ситуаций в задании на проектирование.

Наиболее спорным, по нашему мнению, является требование закона № 384-ФЗ по обязательности учета во всех случаях отказа одного из несущих элементов конструкции, что не подкреплено никакими конкретными указаниями (к каким типам зданий и сооружений и к каким элементам относится это требование и т. д.), что открывает широкие возможности для его произвольного толкования. Это требование, основанное на последствиях аварий многоэтажных зданий, не может быть применено при проектировании всех типов зданий и сооружений, в частности производственных, большепролетных и других сооружений повышенного уровня ответственности. Еще раз отметим, что во всех зарубежных нормах требование по расчету на прогрессирующее обрушение с учетом отказа одного из элементов относится только к многоэтажным жилым и офисным зданиям.

Эта сложная проблема, связанная с возможными социальными и материальными потерями при разрушении сооружения, не может быть решена одинаково для всех типов объектов. Прогрессирующее обрушение нельзя предотвратить во всех случаях условными расчетами, путем иск-

лючения из работы ключевых элементов. При буквальном соблюдении этого требования, стоимость работ существенно возрастает. В нормативном документе [14] дано сопоставление расхода металла (табл. Е-13) для многоэтажного здания с металлическим каркасом с учетом расчета на прогрессирующее обрушение и без него. Расхождение достигало 22–87 %. Кроме того, в ряде случаев при выполнении требования исключения из работы ключевых элементов проектирование таких объектов на современном уровне становится невозможным.

Приведем ряд примеров из практики реального проектирования.

*Производственное здание повышенной ответственности (КС-3) с покрытием из ферм пролетом около 60 м, колоннами сечением 1×1 м и шагом 12 м, принятых с учетом технологических требований.* При проектировании был рассмотрен сценарий с исключением из работы одной из колонн. В конструктивную схему ввели подстропильные фермы пролетом 24 м, воспринимающие сосредоточенную силу более 20 000 кН. Расход стали возрос в 1,5 раза. При этом невозможно представить какое-либо воздействие, способное разрушить колонну сечением 1 м<sup>2</sup>. Если следовать букве закона, то из работы такой конструкции покрытия следует исключить и панель нижнего пояса фермы, что приводит к невозможности реализации проекта.

*Покрытие Старого Гостиного двора в Москве* в виде арочно-шпренгельной фермы. Здание используется для ответственных мероприятий государственного уровня. Исключение из работы нижнего пояса поперечной фермы, установленной с шагом 12 м, приведет к обрушению покрытия. А введение в конструкцию

покрытия дополнительных продольных ферм исказит внешний облик изящной конструкции светопрозрачного покрытия.

*Купольное покрытие стадиона «Лужники».* Исключение из работы сжатого внутреннего или растянутого наружного контура приведет к обрушению покрытия.

*Вантовое покрытие стадиона «Локомотив».* Исключение из работы одного из угловых пилонов или одного из несущих тросов вызовет обрушение покрытия. Введение в конструктивную схему дублирующих пилонов или тросов будет выглядеть нелепо.

И таких примеров можно привести бесчисленное множество. Достаточно представить себе любое купольное покрытие с разрушенным опорным кольцом или мост без опоры, чтобы потребовать закрытия практически всех храмов и прекращения движения по всем мостам.

В последние годы в зарубежных нормах введено понятие риска, предложены подходы для определения уровня риск/последствие, оценки проектных мер, в том числе предотвращения прогрессирующего обрушения с учетом ценности и уязвимости сооружения. Отмечено, что никакими экономически оправданными мерами нельзя полностью исключить риск отказа любого несущего элемента. Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремительным ростом стоимости сооружения [23]. ГОСТ 27751 рекомендует применять вероятностно-статистические методы, в том числе и для обоснования аварийных воздействий. В зарубежных нормах рекомендуется рассматривать и принимать меры против серьезных аварийных случаев с вероятностью возникновения события приблизительно 10<sup>-4</sup>/в год или больше. Отметим, что вероят-

ность разрушения от террористических нападений оказывается гораздо ниже этого уровня. Сооружения необходимо проектировать, возводить и эксплуатировать так, чтобы ограничивать эффект местного разрушения, предотвращать или минимизировать прогрессирующее обрушение. При этом ущерб, который возникает вследствие аварийных событий, не должен достигать размеров, несоизмеримо больших, чем последствия изначального локального повреждения.

Опыт проектирования и строительства объектов повышенного и нормального уровня ответственности показывает, что существует ряд подходов, которые позволяют обеспечивать сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению, без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов. В ряде материалов, в том числе и нормативных, предложены эффективные способы предотвращения прогрессирующего обрушения различных типов зданий и сооружений благодаря применению одного или нескольких мероприятий, соответствующих определенному аварийному воздействию:

- конструктивных — выбор оптимальных конструктивных решений и материалов, избыточная несущая способность ключевых элементов, учет возможности восприятия ключевыми элементами аварийных воздействий;
- превентивных — исключаящих, предупреждающих или снижающих до минимума влияние аварийных воздействий, в том числе комплексное обеспечение безопасности и антитеррористической защищенности сооружения;

• контрольных — требования и основные положения показателей качества проектирования, применяемых материалов, изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций.

Эти мероприятия для объектов, не относящихся к многоэтажным зданиям, обеспечивают предотвращение прогрессирующего обрушения без снижения уровня их безопасности. По аналогии: немислимо представить самолет без одного крыла (отказ одного из элементов конструкции). Его безопасность обеспечивают тщательной проектной проработкой системы в целом и всех узлов, выбором подходящих материалов, назначением обоснованных запасов прочности, исследованиями моделей, испытаниями натуральных образцов с учетом сложных запроектных воздействий, регулярными техническими осмотрами, нормальной эксплуатацией и т. д.

При проектировании и возведении зданий и сооружений необходим комплексный подход в выборе оптимальных конструктивных решений и материалов, увязанных с функциональным назначением и архитектурными решениями, методами изготовления и монтажа, условиями эксплуатации, строгого контроля на всех этапах строительного процесса. В полном объеме должны выполняться требования проектной надежности, технологичности и экономической эффективности, также необходимо учитывать экологические и социальные факторы. Нарушение одного или нескольких из указанных условий приводит к снижению надежности системы, возможности возникновения аварий (отказов). Важной характеристикой объек-

та является его способность предотвращать существенные разрушения, обеспечить безопасность людей и возможность их своевременной эвакуации. Решение о выборе варианта защиты здания и сооружения от прогрессирующего обрушения и необходимости учета во всех случаях отказа одного из несущих элементов конструкции должно осуществляться на основе технико-экономического обоснования в каждом конкретном случае заданием на проектирование.

### Выводы

1. Выявлены противоречия между требованиями различных нормативных документов по проблеме прогрессирующего обрушения. Показано, что проблема прогрессирующего обрушения не может быть решена одинаково для всех типов объектов.

2. Проанализированы мероприятия, позволяющие обеспечивать сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению, без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов.

3. Отмечена необходимость разработки системы четкой нормативной документации, строго регламентирующей состав расчетов или другие способы предотвращения прогрессирующего обрушения зданий и сооружений различных типов.

4. Анализ опыта реального проектирования показал, что эта сложная проблема не может быть решена универсальными методами, что должно быть отражено в сводах правил и рекомендациях по проектированию зданий и сооружений конкретных типов.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алмазов В. О. Проблемы прогрессирующего разрушения // Строительство и реконструкция. 2014. № 6(56). С. 3–10.
2. Ведяков И. И., Еремеев П. Г., Одесский П. Д. [и др.]. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее

- обрушение // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. Вып. 21. С. 15–29.
3. Еремеев П. Г. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных сооружений при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 2. С. 65–72.
  4. Еремеев П. Г. Справочник по проектированию современных металлических конструкций большепролетных покрытий. М. : АСВ, 2021. 244 с.
  5. Дробот Д. Ю. Возможные технологии расчета на прогрессирующее обрушение. [б. м.] : Издательские решения, 2020. 264 с.
  6. Перельмутер А. В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций (совершенствование нормативных документов) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 32–36.
  7. Перельмутер А. В. О расчетах на прогрессирующее обрушение // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 119–129.
  8. ASCE/SEI 7-10. Minimum design loads for buildings and other structures. C1.4 General structural integrity, C2.5 [Минимальные расчетные нагрузки для зданий и сооружений]. 2010.
  9. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NIST [Правила снижения вероятности прогрессирующего обрушения зданий]. 2007.
  10. GSA. Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance [Альтернативные методы расчета и рекомендации по проектированию с учетом предотвращения прогрессирующего обрушения]. 2016.
  11. EN 1991-1-7-2009. General actions – accidental actions [Воздействия – аварийные воздействия].
  12. NBCC. National building code of Canada, part 4, commentary C [Строительные нормы и правила Канады]. 1985.
  13. Rules and regulations of the building code of the city of New York. Chap. 18 "Resistance to progressive collapse under extreme local loads" [Предотвращение прогрессирующего обрушения от аварийных воздействий].
  14. UFC 4-023-03. Design of buildings to resist progressive collapse [Проектирование зданий, способных противостоять прогрессирующему обрушению]. 2016.
  15. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. М. : Москомархитектура, 1999. 19 с.
  16. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. М. : Москомархитектура, 2002. 15 с.
  17. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. М. : Москомархитектура, 2002. 12 с.
  18. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М. : Москомархитектура, 2005. 75 с.
  19. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М. : Москомархитектура, 2006. 60 с.
  20. СТО-36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2010. 20 с.
  21. Chang Hong Chena, Yan Fei Zhua, Yao Yaoa, Ying Huangb, Xu Long. An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures [Метод оценки для прогнозирования прогрессирующего сопротивления разрушению стальных каркасных конструкций] // Journal of Constructional Steel Research. 2016. No. 122. Pp. 238–250.
  22. Gerasimidisa S., Sideri J. A new partial-distributed damage method for progressive collapse analysis of steel frames [Новый метод расчета на прогрессирующее обрушение стальных каркасов] // Journal of Constructional Steel Research. 2016. No. 119. Pp. 233–245.
  23. Райзер В. Д. Теория надежности в строительном проектировании. М. : АСВ, 1998. 304 с.

## REFERENCES

1. Almazov V. O. Problems of progressive destruction. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2014, no. 6(56), pp. 3–10. (In Russian).
2. Vedyakov I. I., Eremeev P. G., Odesskiy P. D. et al. Analysis of regulatory requirements for the calculation of building structures for progressive collapse. *Vestnik NITS "Stroitel'stvo"*, 2019, iss. 21, pp. 15–29. (In Russian).
3. Eremeev P. G. Prevention of avalanche-like (progressive) collapse of load-bearing structures of unique large-span structures during emergency impacts. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2006, no. 2, pp. 65–72. (In Russian).
4. Eremeev P. G. *Spravochnik po proektirovaniyu sovremennykh metallicheskih konstruktsiy bol'sheproletnykh pokrytiy* [Handbook on the design of modern metal structures of large-span coatings]. Moscow, ASV Publ., 2021. 244 p. (In Russian).
5. Drobot D. Yu. *Vozmozhnye tekhnologii rascheta na progressiruyushchee obrushenie* [Possible technologies for calculating the progressive collapse]. *Izdatel'skie resheniya* Publ., 2020. 264 p. (In Russian).
6. Perelmuter A. V. Progressive collapse and structural design methodology (improvement of regulatory documents). *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2004, no. 6, pp. 32–36. (In Russian).
7. Perelmuter A. V. About calculations for a progressive collapse. *Vestnik MGSU*, 2008, no. 1, pp. 119–129. (In Russian).
8. ASCE/SEI 7-10. *Minimum design loads for buildings and other structures*. C1.4 General structural integrity, S2.5, 2010.

9. *Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings*. NIST, 2007.
10. GSA. *Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance*, 2016.
11. EN 1991-1-7-2009. *General actions – accidental actions*.
12. NBCC. *National building code of Canada*, part 4, commentary C, 1985.
13. *Rules and regulations of the building code of the city of New York*. Chap. 18 "Resistance to progressive collapse under extreme local loads".
14. UFC 4-023-03. *Design of buildings to resist progressive collapse*, 2016.
15. *Rekomendatsii po predotvrashcheniyu progressivnykh obrusheniy krupnopanel'nykh zdaniy* [Recommendations for preventing progressive collapses of large-panel buildings]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 1999. 19 p. (In Russian).
16. *Rekomendatsii po zashchite zhilykh zdaniy s nesushchimi kirpichnymi stenami pri chrezvychaynykh situatsiyakh* [Recommendations for the protection of residential buildings with load-bearing brick walls in emergency situations]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2002. 15 p. (In Russian).
17. *Rekomendatsii po zashchite zhilykh karkasnykh zdaniy pri chrezvychaynykh situatsiyakh* [Recommendations for the protection of residential frame buildings in emergency situations]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2002. 12 p. (In Russian).
18. *Rekomendatsii po zashchite monolitnykh zhilykh zdaniy ot progressivnykh obrusheniy* [Recommendations for the protection of monolithic residential buildings from progressive collapse]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2005. 75 p. (In Russian).
19. *Rekomendatsii po zashchite vysoknykh zdaniy ot progressivnykh obrusheniy* [Recommendations for the protection of high-rise buildings from progressive collapse]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2006. 60 p. (In Russian).
20. STO-36554501-024-2010. *Obespechenie bezopasnosti bol'sheproletnykh sooruzheniy ot lavinoobraznogo (progressivnykh) obrusheniya pri avariynnykh vozdeystviyakh* [Ensuring the safety of large-span structures from avalanche-like (progressive) collapse during emergency impacts]. Moscow, NITs "Stroitel'stvo" Publ., 2010. 20 p. (In Russian).
21. Chang Hong Chena, Yan Fei Zhua, Yao Yaoa, Ying Huangb, Xu Long. An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 2016, no. 122, pp. 238–250.
22. Gerasimidisa S., Sideri J. A new partial-distributed damage method for progressive collapse analysis of steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2016, no. 119, pp. 233–245.
23. Rayzer V. D. *Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii* [The theory of reliability in construction design]. Moscow, ASV Publ., 1998. 304 p. (In Russian).

Для цитирования: Еремеев П. Г., Ведяков И. И. Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 4–10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.04-10.

For citation: Yermeyev P. G., Vedyakov I. I. Once Again About the Problem of Protecting Buildings and Structures from Progressive Collapse. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 4–10. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.04-10. ■

ВНИМАНИЕ! ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ ЖУРНАЛА

«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» В КАТАЛОГАХ:

- УРАЛ-ПРЕСС – 70695 • ПРЕССА РОССИИ – 91622 • ПОЧТА РОССИИ – ПП983 •

ЮРИДИЧЕСКИЕ ЛИЦА МОГУТ ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ В РЕДАКЦИИ ЖУРНАЛА С ЛЮБОГО МЕСЯЦА И НА ЛЮБОЙ СРОК. ДЛЯ ЭТОГО НУЖНО ПРИСЛАТЬ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЕ ЗАЯВКУ С УКАЗАНИЕМ РЕКВИЗИТОВ ОРГАНИЗАЦИИ.

САЙТ ЖУРНАЛА: [pgs1923.ru](http://pgs1923.ru); ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА: [pgs@inbox.ru](mailto:pgs@inbox.ru)

ЖУРНАЛ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» ИНДЕКСИРУЮТ:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА  
**eLIBRARY.RU**

Russian Science Citation  
Index (RSCI) на платформе  
Web of Science

 **ULRICHSWEB™**  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

САЙТ ЖУРНАЛА «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»: [www.pgs1923.ru](http://www.pgs1923.ru)

# Проектирование теплозащиты малоэтажных зданий с учетом конструктивной неоднородности ограждений

**Елена Владимировна ЛИХНЕНКО**, кандидат технических наук, доцент, e-mail: elenalikhnenko@mail.ru

**Виктор Иванович ЖАДАНОВ**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных конструкций, e-mail: organ-2003@bk.ru

**Максим Александрович АРКАЕВ**, кандидат технических наук, доцент, e-mail: arkaevrus@mail.ru

**Дмитрий Александрович УКРАИНЧЕНКО**, кандидат технических наук, доцент, e-mail: 279372@mail.ru

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», 460018 Оренбург, просп. Победы, 13

**Аннотация.** Применение многослойных ограждающих конструкций, включающих в себя слой эффективного теплоизоляционного материала, играет большую роль в реализации требований в области энергосбережения в гражданском строительстве. Однако зоны расположения несущих элементов каркаса, в том числе деревянного в малоэтажных зданиях, зачастую являются «мостиками холода», что приводит при эксплуатации к промерзанию стен и к выпадению конденсата на их внутренних поверхностях. Показано, что решение задачи повышения энергоэффективности ограждающих конструкций малоэтажных зданий в целом возможно как за счет совершенствования объемно-планировочных решений зданий, так и путем разработки новых конструктивных схем ограждающих элементов. Обоснована необходимость дополнительного наружного утепления бревенчатых, брусчатых и каркасных деревянных стен с определением толщины утепляющего слоя по результатам теплотехнического расчета. Предложены конструктивные мероприятия по дополнительному утеплению наружных стен малоэтажных зданий на деревянном каркасе, которое полностью исключает выпадение конденсата на поверхностях конструкций, локальное замачивание и промерзание, изменение качественных показателей теплозащиты ограждения при его конструктивной неоднородности. Рассмотренные мероприятия обеспечат эксплуатационную надежность и увеличат срок службы несущих и ограждающих конструктивных элементов малоэтажного здания.

**Ключевые слова:** энергоэффективность ограждающих конструкций, конструктивная неоднородность, клееные деревянные конструкции, слоистая конструкция, утеплитель, малоэтажные здания.

## DESIGN OF THERMAL PROTECTION OF LOW-RISE BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE STRUCTURAL HETEROGENEITY OF ENCLOSING STRUCTURES

**Elena V. LIKHNENKO**, e-mail: elenalikhnenko@mail.ru

**Victor I. ZHADANOV**, e-mail: organ-2003@bk.ru

**Maksim A. ARKAEV**, e-mail: arkaevrus@mail.ru

**Dmitriy A. UKRAINCHEKNO**, e-mail: 279372@mail.ru

Orenburg State University, prospekt Pobedy, 13, Orenburg 460018, Russian Federation

**Abstract.** The use of multilayer enclosing structures, including a layer of effective thermal insulation, plays an important role in the implementation of energy saving requirements in civil engineering. However, the zones of the load-bearing elements of the frame, including wooden ones in low-rise buildings, are often "cold bridges", which leads to freezing of the walls and condensation on their internal surfaces during operation. It is shown that the solution of the problem of increasing the energy efficiency of enclosing structures of low-rise buildings as a whole is possible both by improving the spatial planning solutions of buildings, and by developing new structural schemes of enclosing elements. The necessity of additional external insulation of log, cobblestone and frame wooden walls with the determination of the thickness of the insulation layer based on the results of thermal engineering calculation is justified. Constructive measures for additional insulation of the outer walls of low-rise buildings on a wooden frame which completely exclude condensation on the surfaces of structures, local soaking and freezing, and as a result, changes in the quality indicators of heat protection of fencing at its structural heterogeneity are proposed.

**Key words:** energy efficiency of enclosing structures, structural heterogeneity, glued wooden structures, layered construction, insulation, low-rise buildings.

### Введение

Малоэтажное строительство в России в последние десятилетия занимает все более и более значимый сегмент в общем объеме

возведения жилых домов и объектов социально-культурного назначения. При этом особое внимание уделяется строительству малоэтажных зданий и сооруже-

ний массовых серий, выполненных на основе древесины и древесных материалов. Развитие этого направления наблюдается как в жилищном строительстве,

так и в области возведения производственных зданий различного назначения [1–4].

Широкое применение в малоэтажном строительстве деревянных конструкций обусловлено тем, что запасы леса в России исчисляются миллиардами кубометров. Например, объем высококосортной деловой древесины только в одном Ангаро-Енисейском регионе в 2 раза превосходит потенциал Швеции, и в 3 раза — Финляндии [5–8]. При использовании строительных элементов зданий на основе древесины в большинстве случаев проявляются такие их достоинства, как небольшая масса конструктивных элементов, транспортабельность, сборность, простота монтажа, высокая коррозионная стойкость, долговечность и надежность, архитектурная выразительность и экономичность в сравнении с конструкциями из традиционных материалов. Кроме того, древесина — единственное сырье, регенерируемое на поверхности Земли. На изготовление деревянных конструкций требуется в 4–126 раз меньше энергозатрат, чем на изготовление аналогичных стальных и железобетонных конструкций [9].

С другой стороны, актуальная проблема современного строительства — проектирование и строительство энергоэффективных зданий с минимальными энергозатратами на протяжении всего жизненного цикла. Мировой энергетический кризис 1970-х гг. убедительно показал, что к природным энергоносителям следует относиться экономно, так как запасы их не безграничны. С 1995 г., основываясь на исследованиях в области энергосбережения в гражданском строительстве, в России разработана и введена в действие программа проектирования энергоэффективных зданий, которая предусматривает снижение до 40 %

уровня потребления тепловой энергии на их отопление.

Решение этой проблемы привело к тому, что современная ограждающая конструкция, как правило, является конструктивно неоднородной. Она стала многослойной, включающей в себя как несущие элементы в виде колонн (стоек) стен, балок покрытия или утепленного чердачного перекрытия, так и слой эффективного теплоизоляционного материала, такого как минеральная вата, полистирол (пенопласт), легкие вспененные бетоны и др. При этом зоны расположения колонн каркаса, балок утепленного перекрытия, стыковых соединений ребер сборных панелей стен и плит покрытия могут быть «мостиками холода».

Сниженная теплозащита или ее полное отсутствие в этих местах может привести к промерзанию, обледенению в зимний период, выпадению конденсата и замачиванию данных мест в здании. Этот факт неизбежно приводит к резкому снижению долговечности деревянных конструкций, комфортности пребывания людей в малоэтажных зданиях. Отметим, что такая же проблема возникает и при проектировании зданий на стальном каркасе, в том числе домов контейнерного типа. При этом в полносборных зданиях на стальном каркасе с навесными бескаркасными панелями типа «сэндвич» проблема «мостиков холода» удачно решена за счет размещения несущего каркаса в теплом контуре [10, 11].

Несомненно, что решение проблемы правильного проектирования наружной теплозащиты малоэтажных зданий с учетом конструктивной неоднородности ограждений — актуальная задача, решение которой обеспечит существенное повышение долговечности возводимых объектов. В первую очередь это имеет от-

ношение к малоэтажным домам, проектируемым на основе деревянных конструкций.

Цель исследования — разработка конструктивных мероприятий, обеспечивающих энергоэффективность и теплозащиту неоднородных (слоистых) ограждающих конструкции малоэтажных зданий.

#### Методика и описание исследования

При проектировании малоэтажных зданий из конструкций на основе древесины особое место занимает выбор типа ограждающих конструкций покрытия и стен, так как они являются наиболее материалоемкими и существенно влияют на сметную стоимость зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что на изготовление несущих конструкций (арок, рам) древесины расходуется в 2–3 раза меньше, чем на изготовление ограждающих конструкций [12, 13]. Кроме того, на долю ограждающих конструкций приходится более 20 % общей трудоемкости возведения зданий. Поэтому вполне закономерно, что в настоящее время в нашей стране и за рубежом вопросам совершенствования конструктивных решений ограждающих элементов уделяется достаточно большое внимание, в том числе с точки зрения повышения их теплоизоляционных свойств.

Решение задачи повышения энергоэффективности ограждающих конструкций малоэтажных зданий возможно по двум взаимосвязанным главным направлениям:

- совершенствование объемно-планировочных решений;
- разработка новых конструктивных схем ограждающих элементов.

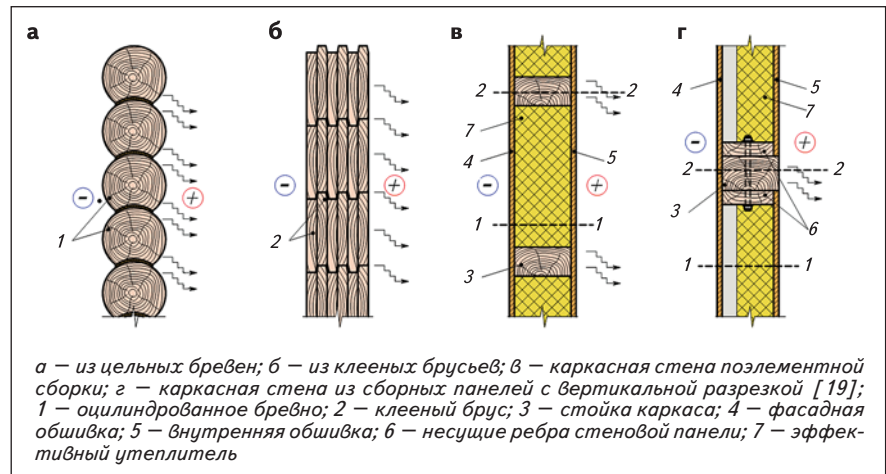
Очевидно, что удачное объемно-планировочное решение сопутствует энергосбережению. Для этого необходимо, чтобы

площади ограждающих конструкций по возможности были минимальными. Это значит, что форма здания должна приближаться к геометрическим фигурам, обладающим наименьшей площадью внешней поверхности, а также иметь как можно меньше углов и выступающих из общего плана архитектурных деталей, увеличивающих суммарные теплототери [14, 15].

Наиболее легко реализация этого требования достигается в малоэтажных объектах, планировка которых зачастую отличается от унифицированных требований. Безусловно, усложнение зданий в плане, чем сегодня увлекается современная архитектура в поисках своего индивидуального выражения и привлекательности, не способствует решению проблем теплосбережения.

В этом случае на первое место выходит второе направление, в основе которого заложена многослойная ограждающая конструкция с применением эффективных утеплителей. Месторасположение утеплителя в конструкции стены играет основную роль в обеспечении требований тепловой защиты здания в целом. Так, экспериментально установлено, что наиболее эффективно размещение утеплителя у наружной фасадной грани стены. И, напротив, не рекомендуется утепление зданий изнутри. При этом проектируемое ограждение должно исключать появление «мостиков холода», т. е. зон со сниженной теплозащитой [16–18].

Рассмотрим решение поставленной задачи на примере наиболее распространенных конструктивных схем стеновых ограждающих конструкций малоэтажных зданий на основе древесины и древесных материалов. К таким схемам относятся ограждения из цельного бревна, клееного бруса, каркасные стены, сте-



**Рис. 1.** Вертикальный (а, б) и горизонтальный (в, г) разрезы конструкций стенового ограждения малоэтажного здания

ны из панелей заводского изготовления (рис. 1).

На рис. 1 возможные зоны образования конденсата на внутренней поверхности стен из-за недостаточной степени теплоизоляции показаны стрелками. С точки зрения обеспечения нормируемой степени теплозащиты с учетом современных требований энергоэффективности стеновые конструкции по схемам рис. 1а, б (однородные ограждения без использования дополнительного утепления) требуют применения бревен или брусьев большой толщины.

Например, при строительстве в г. Оренбурге эта толщина составит 430 мм, для г. Иркутска — 500 мм, а при строительстве в Арктической зоне РФ (г. Надым) — 620 мм. Естественно, что применение таких деревянных элементов не представляется целесообразным как технически, так и экономически. Соответственно, названные схемы в случае применения стандартных брусьев и бревен (толщиной до 250 мм) требуют использования дополнительного наружного утепления стен с определением толщины утепляющего слоя по результатам теплотехнического расчета.

Рассмотрим более детально конструкции неоднородного сте-

нового ограждения малоэтажного дома по схемам на рис. 1в, г с позиции их теплозащиты.

Для выполнения мероприятий по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности в соответствии с постановлениями правительства РФ от 25.01.2011 г. № 18 и от 28.08.2015 г. № 898 к зданиям гражданского назначения предъявляют требования к архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений и сооружений.

Для реализации этих требований в СП 50.11530.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» установлены три обязательных взаимно увязанных нормируемых показателя по тепловой защите здания:

- 1 — нормируемые значения сопротивления теплопередаче для отдельных ограждающих конструкций тепловой защиты здания;
- 2 — нормируемые величины температурного перепада между температурой внутреннего воздуха и на поверхности ограждающей конструкции и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции выше температуры точки росы;

• 3 — нормируемый удельный показатель расхода тепловой энергии на отопление, позволяющий варьировать величинами теплозащитных свойств ограждающих конструкций с учетом выбора систем поддержания нормируемых параметров микроклимата.

В каркасных стенах (см. рис. 1б, г, сечение 1—1) на основной площади имеем слоистое неоднородное ограждение с точки зрения сопротивления теплопередаче, так как в его состав входят обшивки и утеплитель. В местах расположения стоек каркаса и зон крепления панелей к стойкам (см. рис. 1б, г, сечение 2—2) конструкция ограждения деревянная однородная. В качестве примера рассмотрим названные ранее регионы строительства. В соответствии с СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология» Оренбург и Иркутск расположены в зоне влажности 3 (сухая), а Надым — во 2-й нормальной зоне влажности. Условия эксплуатации стеновой конструкции в зависимости от влажностного режима — А.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче  $R_0^{TP}$  для стен жилых зданий устанавливаем по табл. 3 СП 50.11530 в зависимости от градусо-суток отопительного периода по СП 131.13330:

- Оренбург: 5284,5 °С·сут;  
 $R_0^{TP} = 3,25$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;
- Иркутск: 6658,4 °С·сут;  
 $R_0^{TP} = 3,73$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;
- Надым: 9035 °С·сут;  
 $R_0^{TP} = 4,56$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Определим расчетное приведенное сопротивление теплопередаче по сечениям 1—1 и 2—2 (см. рис. 1б, г) для предлагаемой конструктивной схемы. Расчет произведем по формуле Е.6 СП 50.11530:

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_n},$$

где  $R_0^{ysl}$  — условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания  $i$ -го вида, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

По телу стеновой панели (сечение 1—1, см. рис. 1):

• для Оренбурга и Иркутска  $R_0^{пан}$  составляет соответственно 3,58 и 4,17 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт (при утеплителе из базальтовой минеральной ваты плотностью 80—125 кг/м<sup>3</sup>, с расчетным коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,041$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и толщиной соответственно 120 и 150 мм);

• для Надыма —  $R_0^{пан} = 5,78$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт (при утеплителе из базальтовой минеральной ваты плотностью 40—60 кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda = 0,038$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), толщина 200 мм, или другой теплоизоляционный материал с аналогичными техническими характеристиками).

По стойке и ребрам стеновой панели (сечение 2—2, см. рис. 1):  $R_0^{ст} = 1,587$  м<sup>2</sup>·°С/Вт (утеплитель отсутствует).

Аналогичные рассуждения можно привести также для конструкций утепленных чердачных перекрытий малоэтажных каркасных жилых домов и для мансард, выполненных из деревянных конструкций.

#### Анализ полученных результатов

Из рассмотренных примеров видно, что практически во всех регионах Российской Федерации в случае выполнения наружных стен малоэтажных жилых домов из бревен или клееного бруса требуется их дополнительное сплошное утепление с наружной стороны.

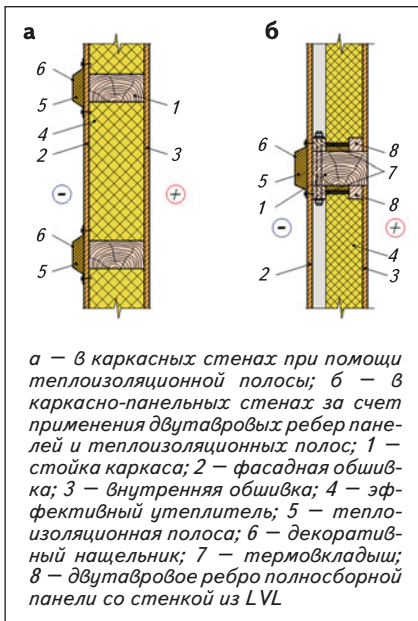
В каркасных и каркасно-панельных деревянных зданиях в зонах расположения утеплителя условия теплозащиты и энергоэффективности достаточно легко реализуются за счет определения соответствующей толщины эффективного утепляющего слоя по результатам теплотехнического расчета.

Зоны расположения стоек каркаса и несущих ребер стеновых панелей являются «мостиками холода», так как расчетное термическое сопротивление данных конструктивных элементов более чем в 2 раза ниже нормативного.

Наличие «мостика холода» в стеновом ограждении при эксплуатации здания в зимний период приведет к выпадению конденсата в теле конструкции, и, как следствие, — гниению древесины и образованию грибковой плесени. Кроме того, при увлажнении теплоизоляция частично теряет свои свойства, изменяется в худшую сторону коэффициент термического сопротивления теплопередаче материала, что приводит к снижению энергоэффективности ограждающей конструкции, увеличению энергозатрат на создание комфортного микроклимата помещений и здания в целом. К тому же следует отметить, что качественные изменения свойств несущих и ограждающих конструкций невозможно устранить локальными ремонтными работами. Применение сборных панелей полной заводской готовности, в случае изменения их физико-технических свойств, связанных с нарушением теплоизоляционных показателей, потребует замены конструктивных элементов. Такая замена приведет к значительным финансовым затратам.

Решить обозначенную проблему можно рядом конструктивных мероприятий. В частности, в стеновом ограждении (см. рис. 1) зону расположения стоек каркаса рекомендуется дополнительно утеплять теплоизоляционной полосой, которая после монтажа стоек будет закрыта и защищена декоративным нащельником (рис. 2а).

При стеновом ограждении из полносборных панелей вертикальной разрезки, прикреплен-



**Рис. 2.** Конструктивные мероприятия по дополнительному утеплению стенового ограждения

ных к стойкам каркаса [19], несущие ребра панели целесообразно выполнять двутаврового поперечного сечения с деревянными поясами и относительно тонкой стенкой из листовых материалов на основе древесины типа фанеры, OSB, LVL. При этом продольную грань стенки ребер, примыкающую к стойкам, необходимо утеплить термовкладышем, а зону расположения самой стойки — теплоизоляционной полосой (рис. 2б). Отметим, что в случае выполнения стенового ограждения только из полносборных панелей вертикальной разрезки, без применения стоек каркаса, какого-либо дополнительного устройства теплоизоляционных полос не требуется.

Утепление стойки каркаса и защиту теплоизоляционной полосы нащельником производят непосредственно на строительной площадке, в момент проведения монтажных работ. Устройство термовкладыша к стенке двутавровых ребер целесообразно выполнять в заводских условиях при изготовлении стеновой панели.

Предлагаемые схемы утепления наружных стен малоэтажных домов при помощи вертикальных теплоизоляционных полос (пилон) позволят не только исключить наличие «мостика холода» в ограждении здания, но и придадут архитектурную выразительность зданию в целом.

Подтвердим приведенные рекомендации примером. Толщину теплоизоляционной полосы необходимо определить в результате теплотехнического расчета. В этом случае, при утеплителе из базальтовой минеральной ваты плотностью 40–60 кг/м<sup>3</sup> с расчетным коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,038$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) и толщиной 50 мм, расчетное приведенное сопротивления теплопередаче стойки и торцевых ребер жесткости стеновой панели составит:  $R_{0j}^{учп} = 2,9$  м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Выполним проверку ограждающих конструкций для строительства в Оренбурге на допустимую величину температурного перепада  $\Delta t_n$  между температурой внутреннего воздуха  $t_{int}$  и внутренней поверхности  $t_{ext}$ :

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0 \alpha_{int}},$$

где  $n$  — коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху,  $n = 1$ ;  $\alpha_{int}$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Расчетный температурный перепад для стеновых панелей (тело панели):

$$\Delta t_0 = 1 \cdot (21 + 32) / (3,58 \cdot 8,7) = 1,7 \text{ °C} < \Delta t_n = 4 \text{ °C (по табл. 5 СП 50.11530), т. е. условие выполняется.}$$

Проверим условие невыпадения конденсата на внутренней поверхности стеновых панелей:

$$\tau_{si} = t_{int} - \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_0 \alpha_{int}}.$$

$$\text{Для стеновой панели: } \tau_{si} = 21 - ((1 \cdot (21 + 32)) / (3,58 \cdot 8,7)) = 19,3 \text{ °C.}$$

Точка росы  $t_d = 12,6$  °C. Таким образом,  $19,3 \text{ °C} > 12,6 \text{ °C}$ , значит конденсат на поверхности стеновых панелей выпадать не будет.

Расчетный температурный перепад для стоек и ребер жесткости стеновой панели:  $\Delta t_0 = 1 \cdot (21 + 32) / (2,9 \cdot 8,7) = 2,1 \text{ °C} < \Delta t_n = 4 \text{ °C}$ , т. е. условие выполняется.

Проверим условие невыпадения конденсата на внутренней поверхности стоек и ребер жесткости.

Для стен здания:  $\tau_{si} = 21 - [1 \cdot (21 + 32)] / (2,9 \cdot 8,7) = 18,9 \text{ °C}$ .

Поскольку  $t_d = 12,6$  °C, следовательно  $18,9 \text{ °C} > 12,6 \text{ °C}$ , а значит конденсат на поверхности стойки и ребрах жесткости панелей выпадать не будет.

Аналогичные расчеты, выполненные для условий строительства в Иркутске и Надыме также подтверждают эффективность предложенных конструктивных мероприятий по утеплению стен малоэтажных жилых домов на деревянном каркасе.

Благодаря дополнительному утеплению зон расположения деревянных стоек каркаса и продольных несущих ребер стеновых панелей, реализуется требование 2 СП 50.11530, т. е. данные мероприятия полностью исключают выпадение конденсата на поверхностях конструкций и, как следствие, изменение качественных показателей теплозащиты ограждения его при конструктивной неоднородности. Таким образом, удастся избежать выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций и минимизировать влияние неоднородности конструктивного решения ограждения на микроклимат объекта в целом.

## Выводы

1. Проведенный анализ и теплотехнические расчеты показали

необходимость выполнения дополнительного утепления наружных стен малоэтажных домов, запроектированных из деревянных конструкций.

2. Предложены конструктивные мероприятия по дополнительному утеплению наружных

стен малоэтажных зданий на деревянном каркасе, которые полностью исключают выпадение конденсата на поверхностях конструкций, локальное замачивание и промерзание и, как следствие, изменение качественных показателей теплозащиты огражде-

ния при его конструктивной неоднородности.

3. Рассмотренные мероприятия обеспечат эксплуатационную надежность и увеличат срок службы несущих и ограждающих конструктивных элементов малоэтажного здания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Штевко Й., Райнпрехт Л. Современное деревянное строительство. М. : Ниола-Пресс, 2006. 184 с.
2. Дмитриев П. А. Актуальные вопросы совершенствования деревянных конструкций // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1980. № 7. С. 15–22.
3. Губенко Л. А., Никитин В. А., Дорофеев Д. Ю., Порохин К. В. Строительство быстровозводимого жилья для решения проблем социального жилья в Архангельской области // Строительная наука – XXI век: теория, образование, практика, инновации: сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 28–30 июня 2016 г.). Архангельск : Агентство рекламы РАД, 2016. С. 59–64.
4. Емельянова Е. Г., Кузьменков А. А. Малоэтажное домостроение в решении жилищной проблемы в Республике Карелия // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (Петрозаводск, 23–28 июня 2013 г.). Петрозаводск : Петропресс, 2013. С. 20–25.
5. Воронков С. А. Модульное домостроение с применением деревянного каркаса // Деревянное домостроение в условиях Европейского Севера: сб. трудов научного семинара. Архангельск : Типография «Точка», 2013. С. 27–30.
6. Инжутов И. С., Рожков А. Ф., Никитин В. М. К проблеме малоэтажного домостроения в Сибири // Вестник ТГАСУ. 2007. № 1. С. 75–81.
7. Перспективы деревянного домостроения. URL: <http://kalevalaosb.ru/about/prensa/125> (дата обращения: 1.07.2021).
8. Технологии деревянного домостроения. URL: <https://ecodomexpo.ru/articles/tehnologii-derevyannogo-domostroeniya> (дата обращения: 1.07.2021).
9. Енджиевский Л. В., Инжутов И. С., Дмитриев П. А. Комбинированные из стали, бетона, дерева пространственные конструкции блочного типа. Красноярск : СФУ, 2008. 331 с.
10. Каркасная система. URL: <http://tehlib.com/arhitektura/karkasnaya-sistema/> (дата обращения: 1.07.2021).
11. Шерешевский И. А. Жилые здания. Конструктивные системы и элементы для индустриального строительства. М. : Архитектура-С, 2005. 124 с.
12. Жаданов В. И., Столповский Г. А., Украинченко Д. А. Конструктивно-технологическая система для малоэтажного домостроения на основе энергоэффективных деревянных панелей. Оренбург : ИПК «Университет», 2014. 208 с.
13. Жаданов В. И., Украинченко Д. А., Лихненко Е. В., Пинайкин И. П. Состояние и перспективы деревянного малоэтажного домостроения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 5. С. 13–17.
14. Inzhutov I. S., Berseneva S., Amelchugov M. et al. Energy-saving technologies in design and construction of residential buildings and industrial facilities in the far north [Энергосберегающие технологии при проектировании и строительстве жилых зданий и промышленных объектов на Крайнем Севере] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 982. Pp. 59–68.
15. Абовский Н. П., Енджиевский Л. В., Инжутов И. С. [и др.]. Формообразование строительных конструкций. Красноярск : СФУ, 2013. 183 с.
16. Жаданов В. И., Украинченко Д. А. Деревянные панельные конструкции для малоэтажного строительства. Оренбург : ИПК «Университет», 2013. 390 с.
17. Инжутов И. С., Дмитриев П. А., Жаданов В. И. [и др.]. Полнообъемное здание замкнутого типа с каркасом из отходов фанерного производства // Вестник МГСУ. 2013. № 7. С. 40–50.
18. Дружинина Т. Я., Копылова А. А. Анализ современных технологий деревянного домостроения // Вестник ОрГТУ. 2012. № 10(69). С. 110–113.
19. Патент РФ на изобретение № 2420634. Здание из деревянных панелей / Дмитриев П. А., Жаданов В. И., Дмитриев П. П., Украинченко Д. А., Лисов С. В. 2011. Бюл. № 16. 8 с.

## REFERENCES

1. Shtevko J., Raynprekht L. *Sovremennoe derevyannoe stroitel'stvo* [Modern wooden construction]. Moscow, Niola-Press Publ., 2006. 184 p. (In Russian).
2. Dmitriev P. A. Current issues of improving wooden structures. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*, 1980, no. 7, pp. 15–22. (In Russian).
3. Gubenko L. A., Nikitin V. A., Dorofeev D. YU., Porohin K. V. Construction of prefabricated housing to solve the

- problems of social housing in the Arkhangelsk region. *Stroitel'naya nauka — XXI vek: teoriya, obrazovanie, praktika innovatsii. Sb. trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Construction science - XXI century: theory, education, practice innovations. Proc. of the VII International Scientific and Technical Conference (Arkhangelsk, June 28–30, 2016)]. Arkhangelsk, Agentstvo reklamy RAD Publ., 2016, pp. 59–64. (In Russian).
4. Emel'yanova E. G., Kuz'menkov A. A. Low-rise housing construction in solving the housing problem in the Republic of Karelia. *Derevyannoe maloetazhnoe domostroenie: ekonomika, arhitektura i resursosbergayushchie tekhnologii. Sb. statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Wooden low-rise housing construction: economy, architecture and resource-saving technologies. Proc. of articles of the International Scientific and Practical Conference (Petrozavodsk, June 23–28, 2013)]. Petrozavodsk, Petropress Publ., 2013, pp. 20–25. (In Russian).
  5. Voronkov S. A. Modular housing construction with the use of a wooden frame. *Derevyannoe domostroenie v usloviyah Evropejskogo Severa. Sb. trudov nauchnogo seminara* [Wooden house construction in the conditions of the European North. Collection of proceedings of the scientific seminar]. Arkhangelsk, Tipografiya "Tochka" Publ., 2013, pp. 27–30. (In Russian).
  6. Inzhutov I. S., Rozhkov A. F., Nikitin V. M. On the problem of low-rise housing construction in Siberia. *Vestnik TGASU*, 2007, no. 1, pp. 75–81. (In Russian).
  7. Prospects of wooden housing construction. Available at: <http://kalevalaosp.ru/about/prensa/125> (accessed 1.07.2021). (In Russian).
  8. Technologies of wooden house construction. Available at: <https://ecodomexpo.ru/articles/tehnologii-derevyannogo-domostroeniya> (accessed 1.07.2021). (In Russian).
  9. Endzhievskiy L. V., Inzhutov I. S., Dmitriev P. A. *Kombinirovannye iz stali, betona, dereva prostranstvennye konstrukcii blochnogo tipa* [Combined block-type spatial structures made of steel, concrete, wood]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2008. 331 p. (In Russian).
  10. Frame system. Available at: <http://tehlib.com/arhitektura/karkasnaya-sistema/> (accessed 1.07.2021). (In Russian).
  11. Shereshevskiy I. A. *Zhilye zdaniya. Konstruktivnye sistemy i elementy dlya industrial'nogo stroitel'stva* [Residential buildings. Structural systems and elements for industrial construction]. Moscow, Arhitektura-S Publ., 2005. 124 p. (In Russian).
  12. Zhadanov V. I., Stolpovskiy G. A., Ukrainchenko D. A. *Konstruktivno-tekhnologicheskaya sistema dlya maloetazhnogo domostroeniya na osnove energoeffektivnykh derevyannykh paneley* [Structural and technological system for low-rise housing construction based on energy-efficient wooden panels]. Orenburg, IPK "Universitet" Publ., 2014. 208 p. (In Russian).
  13. Zhadanov V. I., Ukrainchenko D. A., Lihnenko E. V., Pinaykin I. P. The state and prospects of wooden low-rise housing construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 5, pp. 13–17. (In Russian).
  14. Inzhutov I. S., Berseneva S., Amelchugov M. et al. Energy-saving technologies in design and construction of residential buildings and industrial facilities in the far north. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 982, pp. 59–68. (In Russian).
  15. Abovskiy N. P., Endzhievskiy L. V., Inzhutov I. S. et al. *Formoobrazovanie stroitel'nykh konstruktsiy* [Shaping of building structures]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2013. 183 p. (In Russian).
  16. Zhadanov V. I., Ukrainchenko D. A. *Derevyannye panel'nye konstrukcii dlya maloetazhnogo stroitel'stva* [Wooden panel structures for low-rise construction]. Orenburg, IPK "Universitet" Publ., 2013. 390 p. (In Russian).
  17. Inzhutov I. S., Dmitriev P. A., Zhadanov V. I. et al. A fully assembled closed-type building with a frame made of plywood production waste. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 7, pp. 40–50. (In Russian).
  18. Druzhinina T. Ya., Kopylova A. A. Analysis of modern technologies of wooden house construction. *Vestnik OrGTU*, 2012, no. 10(69), pp. 110–113. (In Russian).
  19. Patent RF na izobreteniye 2420634. *Zdanie iz derevyannykh paneley* [The building is made of wooden panels]. Dmitriev P. A., Zhadanov V. I., Dmitriev P. P., Ukrainchenko D. A., Lisov S. V. 2011. Byul. no. 16. 8 p. (In Russian).

Для цитирования: Лихненко Е. В., Жаданов В. И., Аркаев М. А., Украинченко Д. А. Проектирование теплозащиты малоэтажных зданий с учетом конструктивной неоднородности ограждений // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 11–17. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.11-17.

For citation: Likhnenko E. V., Zhadanov V. I., Arkaev M. A., Ukrainchenko D. A. Design of Thermal Protection of Low-Rise Buildings Taking into Account the Structural Heterogeneity of Enclosing Structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 11–17. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.11-17.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ! С ПОЛНЫМИ ТЕКСТАМИ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ

«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» в 2010–2020 гг.,

МОЖНО ОЗНАКОМИТЬСЯ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА: **PGS1923.RU** В РАЗДЕЛЕ «АРХИВ».

# Проведение изысканий на застроенных территориях, в стесненных условиях и снижение геотехнических рисков

**Марк Юрьевич АБЕЛЕВ**<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры МГГ, e-mail: int207@mail.ru

**Дмитрий Юрьевич ЧУНЮК**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой механики грунтов и геотехники (МГГ), e-mail: chunyuk@mail.ru

**Александр Павлович ЛЕВЧЕНКО**<sup>2</sup>, доктор технических наук, президент ООО «Инженер», e-mail: levchenko@ingener.ru

**Игорь Вячеславович АВЕРИН**<sup>3</sup>, кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: i.averin@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

<sup>2</sup> ООО «Инженер», 127051 Москва, ул. Трубная, 25, корп. 3

<sup>3</sup> ООО «Инженерная Геология», 121351 Москва, ул. Ярцевская, 16.

**Аннотация.** Исследованы специфические особенности проведения изысканий на застроенных территориях и в стесненных условиях городов. Указано, что большое количество составляющих геотехнических рисков связано с качеством проведения инженерно-геологических изысканий на подобных территориях. Рассмотрены факторы, влияющие на планирование, объемы, методики проведения и выбор задач различных этапов изысканий. Показаны причины, затрудняющие проведение отдельных видов работ при инженерно-геологических изысканиях на застроенных территориях. Анализ опыта строительства в больших городах, в том числе в Москве, оценка причин аварий и деформаций существующих и строящихся зданий и сооружений, изучение причин дополнительных работ по изысканиям и корректировке проектов (в первую очередь оснований и фундаментов) показали, что стадийность изысканий должна быть соблюдена во всех случаях, предусмотренных нормативными документами. Отмечено, что основные последствия некачественно проведенных изысканий — неудачный выбор места строительства, необоснованные объемы капиталовложений и изысканий и т. д. Рассмотрены условия повышения качества изысканий на застроенных территориях.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические изыскания, застроенные территории, геотехнический риск, слабые грунты, деформации и аварии зданий, экология, просадка, провал, безопасность.

## CONDUCTING SURVEYS ON BUILT-UP AREAS, IN CRAMPED CONDITIONS AND REDUCING GEOTECHNICAL RISKS

**Mark Yu. ABELEV**<sup>1</sup>, e-mail: int207@mail.ru

**Dmitry Yu. CHUNYUK**<sup>1</sup>, e-mail: chunyuk@mail.ru

**Alexander P. LEVCHENKO**<sup>2</sup>, e-mail: levchenko@ingener.ru

**Igor V. AVERIN**<sup>3</sup>, e-mail: i.averin@mail.ru

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

<sup>2</sup> Engineer, ul. Trubnaya, 25, korp. 3, Moscow 127051, Russian Federation

<sup>3</sup> Engineering Geology, ul. Yartsevskaya, 16, Moscow 121351, Russian Federation

**Abstract.** The specific features of conducting surveys on built-up areas and in cramped conditions of cities are studied. It is indicated that a large number of components of geotechnical risks are associated with the quality of conducting engineering and geological surveys in such territories. The factors influencing planning, volumes, methods of carrying out and the choice of tasks of various stages of surveys are considered. The reasons that make it difficult to carry out certain types of work during engineering and geological surveys on built-up areas are shown. The analysis of the construction experience in large cities, including in Moscow, the assessment of the causes of accidents and deformations of existing and under construction buildings and structures, the study of the reasons for additional work on surveys and adjustments of projects (primarily bases and foundations) showed that the stage-by-stage surveys should be observed in all cases provided for by regulatory documents. It is noted that the main consequences of poorly conducted surveys are an unsuccessful choice of the construction site, unreasonable amounts of capital investments and surveys, etc. The conditions for improving the quality of surveys on built-up territories are considered.

**Key words:** engineering and geological surveys, built-up territories, geotechnical risk, weak soils, deformations and accidents of buildings, ecology, subsidence, failure, safety.

**Б**ольшое количество составляющих геотехнических рисков связано с качеством проведения инженерно-геологических изысканий на застроенных территориях и в стесненных условиях. Эти риски сопровождают строительный процесс в течение всего жизненного цикла объекта. Правильная и своевременная реакция на них уменьшает объем геотехнического риска и опасных последствий его проявления. При этом основными последствиями могут быть: неудачный выбор места строительства; необоснованные объемы капиталовложений и изысканий; недостаточная информация для проектирования нового объекта; недостаточная или неполноценная информация по изысканиям для обеспечения безопасности окружающих зданий, сооружений и инженерных коммуникаций; деформации и аварии строящихся и близко расположенных сооружений; дополнительные изыскания; корректировка проектов; снос или разборка построенных частей новых и эксплуатируемых зданий и сооружений [1–3].

Проведенные авторами исследования показали, что во многих случаях причины низкого качества работ при проектировании и строительстве объектов различного назначения — это ошибки и отклонения от требований нормативных документов. Установлено, что оперативное исправление ошибок при проведении работ на конкретном объекте является недостаточным, потому что ошибки и отклонения от требований нормативных документов, допущенные при проведении инженерных изысканий, имеют системный и постоянный характер. Это особенно часто встречается при проведении инженерных изысканий на застроенных территориях и в стесненных условиях. Данные исследования выполнены с целью установления путей

для повсеместного повышения качества проводимых инженерных изысканий на основе более детального изучения геотехнических рисков, принципов снижения их влияния на качество проектирования и строительства объектов.

Согласно требованиям СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» (части I-V) все виды инженерных изысканий направлены на то, чтобы обеспечить прочность и устойчивость строящихся зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. Если строительство ведется на застроенных территориях, то основной задачей изысканий является обеспечение процессов проектирования и строительства объектов информацией, достаточной для принятия комплекса специальных конструктивно-технологических мероприятий, обеспечивающих безопасность эксплуатируемых зданий, сооружений и инженерных коммуникаций любого типа, назначения, технического состояния и т. д. Качественное решение этих вопросов служит гарантом снижения уровня проявления геотехнических рисков, влияющих на эффективность строительной деятельности.

Как показывает практика строительства, инженерно-геологические условия на застроенных территориях осложняются наличием следующих факторов, влияющих на планирование, объемы, методики проведения и выбор задач различных этапов изысканий, среди которых [1–5]:

- изменения (улучшение или ухудшение), часто неравномерные, свойств грунтов в основании окружающих зданий, сооружений и инженерных коммуникаций;
- изменения (улучшение или ухудшение), часто неравномерные, свойств грунтов свободных от строений территорий при из-

менении (повышение или понижение) уровня подземных вод при строительном понижении на близко расположенных объектах, из-за барражного эффекта при строительстве глубоких сооружений, перекрывающих естественный ток подземных вод;

- изменения гидрогеологических условий (часто неравномерные), появление новых непостоянных мест верховодки при общей планировке территории, при строительном понижении на расположенных вблизи объектах, из-за барражного эффекта при строительстве глубоких сооружений, перекрывающих естественный ток подземных вод, из-за разработки глубоких котлованов, траншей, влияющих на естественный ток подземных вод;
- наличие в больших объемах и на больших территориях насыпных (техногенных) грунтов, влияющих на свойства естественных, подстилающих грунтов и являющихся источниками биологических газов (например  $\text{CH}_4$ ), требующих особых методик проведения изысканий и принятия специальных решений по проектируемым основаниям и фундаментам зданий и сооружений, а также требующих обязательного проведения специальных экологических изысканий;
- наличие большого количества подземных инженерных коммуникаций, тоннелей, коллекторов, действующих и недействующих линий метрополитена, колодцев, подземных выработок, погребенных фундаментов и подземных частей снесенных ранее сооружений и коммуникаций, заброшенных и недостроенных объектов с качественно или некачественно выполненными, уплотненными или закрепленными основаниями;
- развитие, часто неравномерное, незавершенных опасных геологических и инженерно-геологических процессов, связан-

ных с активизацией техногенных воздействий, ведением строительных работ на объектах с разным объемом освоения подземного пространства на застроенных территориях;

- необходимость планирования и проведения всех типов и видов работ с учетом разного технического состояния эксплуатируемых зданий, сооружений и инженерных коммуникаций и влияния на них строящихся объектов;

- необходимость проведения специальных экологических исследований и прогнозных расчетов изменения окружающей среды в результате выполнения запланированных строительных работ;

- необходимость установления причин деформаций и аварий близко расположенных зданий, сооружений и инженерных коммуникаций (природные или техногенные), возможных дополнительных деформаций и прогнозы осадок под влиянием пристраиваемых новых объектов.

Кроме того, имеются причины, затрудняющие проведение отдельных видов работ при инженерно-геологических изысканиях на застроенных территориях:

- сложность в размещении горных выработок (скважин и шурфов) и исследовании грунтов в основании эксплуатируемых зданий, сооружений и инженерных коммуникаций из-за отсутствия доступа в необходимые места и для исключения возможного ослабления несущей способности оснований и фундаментов;

- сложность размещения изыскательской техники и оборудования в необходимых местах вблизи (или внутри) существующих зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, а также на городской территории при наличии городского транспорта, тротуаров и другой коммуникационной инфраструктуры;

- невозможность проведения

геофизических работ при наличии помех (шумовые, вибрационные, электромагнитные и т. д.) в городских условиях;

- необходимость выполнения специальных дополнительных работ (измерение газовой опасности, освещение рабочих мест, осушение подвалов, временное усиление аварийных конструкций для обеспечения безопасности и т. д.) при проведении изысканий грунтов в подвалах зданий и сооружений, подземных закрытых коллекторах.

Несмотря на трудности, связанные с перечисленными факторами, инженерно-геологические изыскания для нового строительства на застроенных территориях городов должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района площадки проектируемого строительства.

Полученные результаты изысканий должны быть достаточными для составления прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для обоснования проектной подготовки строительства (разработка предпроектной, проектной и рабочей документации), в том числе мероприятий инженерной защиты объекта строительства и охраны окружающей среды. При инженерно-геологических изысканиях для нового строительства, в случаях, когда в зоне влияния расположены эксплуатируемые здания и сооружения III и IV категорий состояния и (или) имеющие видимые деформации, необходимо включать в состав работ обследование и мониторинг состояния грунтов в их основании.

В настоящее время в проектной практике зона влияния нового строительства определяется по глубине величиной сжимае-

мой толщи под проектируемым сооружением, а в плане — возможным влиянием строительства на изменение напряженного состояния массива грунтов, режима подземных вод (за счет барражного эффекта, строительного водопонижения, нарушения подземного и поверхностного стока воды, утечек из водонесущих коммуникаций) и на активизацию опасных геологических процессов. При этом необходимо учитывать соотношение отметок заложения фундаментов проектируемого здания и окружающей застройки, удаленность от строительного котлована и тип его ограждения, намечаемую технологию производства работ нулевого цикла и мероприятия по инженерной защите территории от опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

Согласно требованиям СП 11-105-97 (ч. V) при проведении инженерно-геологических изысканий на застроенных территориях следует дополнительно устанавливать:

- изменение инженерно-геологических условий за период строительства и эксплуатации зданий, сооружений и инженерных изысканий, включая изменения рельефа (при проведении планировочных и строительных работ, создании насыпей, котлованов и т. д.), гидрографической сети (засыпка оврагов, заболоченных участков, создание прудов и т. д.), гидрогеологических условий (уровенный, химический и температурный режим), свойств грунтов и активности геологических процессов;

- проявление инженерно-геологических процессов (просадка поверхности, провалы, заболачиваемость); возникновение аномалий теплового, электромагнитного и других физических полей, а также развитие процессов, обусловленных динамическими воздействиями;

- характер и инженерно-геологические причины деформаций зданий и сооружений;
- наличие и эффективность работы сооружений инженерной защиты и мероприятий по охране геологической среды, в том числе дренажей, водопонижительных систем, противодиффузионных устройств.

Согласно СП 11-105-97 (ч. V) при проведении инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства особо сложных и ответственных объектов, размещаемых в условиях плотной городской застройки и на территориях исторической застройки, следует предъявлять повышенные требования к соблюдению стадийности изысканий, составу и объемам выполняемых работ и экспертизе материалов изысканий, включая программу работ.

Анализ опыта строительства в больших городах, в том числе в Москве, оценка причин аварий и деформации действующих и строящихся зданий и сооружений, изучение причин дополнительных работ по изысканиям и корректировке проектов (в первую очередь оснований и фундаментов) показали, что стадийность изысканий должна быть соблюдена во всех случаях, предусмотренных нормативными документами по изысканиям, т. е. на всех этапах проектирования и эксплуатации объекта, в том числе для обоснования инвестиций, проекта, рабочей документации, а также в ходе строительства объекта [3–5].

Как показывает опыт строительства различных сооружений на застроенных территориях, содержащееся в СП 11-105-97 (ч. V) указание о том, что для повышения качества предпроектной и проектной документации необходимо проводить экспертизу программ изысканий и технических отчетов на всех этапах выполнения инженерно-геологиче-

ских изысканий, вполне обоснованно. При этом для повышения качества изысканий, проводимых в сложных грунтовых условиях, при наличии специфических грунтов и инженерно-геологических процессов, научно-техническое сопровождение работ с привлечением специализированных научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций является эффективным решением, уменьшающим объемы проявления геотехнических рисков с возможными тяжелыми последствиями.

При выполнении инженерно-геологических изысканий на застроенных территориях необходим правильный выбор их состава в соответствии с разд. 5 СП 11-105-97 (ч. I), с учетом:

- особенностей намечаемого строительства;
- наличия в зоне влияния планируемых строительных работ других эксплуатируемых и подлежащих сохранению объектов;
- инженерно-геологических условий участка строительства и их изменения за время использования исследуемой территории;
- объема и качества имеющихся фондовых изыскательских материалов.

Для повышения эффективности работ, правильного определения необходимого объема изысканий, обоснованного назначения видов полевых и лабораторных исследований грунтов, а также для обоснованного выбора методик проведения исследований свойств грунтов при планировании изысканий (начиная с составления технического задания на изыскания) должны быть изучены архивные материалы. В связи с тем, что они не всегда качественны и достоверны, должна быть предусмотрена возможность корректировки объемов изысканий, предварительно определенного количества горных выработок и т. д.

При комплексном строительстве на застроенных территориях следует выполнять ретроспективный анализ развития застройки для выявления действующих и неиспользуемых подземных сооружений, подвалов, фундаментов снесенных зданий, колодцев, подземных выработок, тоннелей, инженерных коммуникаций, развития поверхностной инфраструктуры и инженерно-геологических условий территории для выявления засыпанных оврагов, прудов и рек. По результатам этих работ проводится оценка сложившейся природно-техногенной обстановки, динамики и характера техногенных изменений инженерно-геологических условий, а также уровня информативности материалов изысканий прошлых лет и возможности их использования в дальнейшем [1–3].

Изучение опыта строительства на застроенных территориях показало, что для более точного определения состояния подземного пространства строительных площадок в комплексе изысканий (на всех этапах) должны быть предусмотрены геофизические исследования. На многих строительных площадках, на застроенных территориях используется метод радиоволнового зондирования с помощью георадара, посредством которого можно решить следующие задачи:

- выявление подземных полостей и пустот, трещин, зон разуплотнения, действующих и неиспользуемых коммуникаций и коллекторов различного назначения, старых погребенных сооружений;
- определение глубины заложения фундаментов, свай, противодиффузионных завес, дренажных систем;
- просвечивание грунтового массива под фундаментами эксплуатируемых зданий и сооружений;

- установление глубины залегания грунтовых вод и верховодки и т. д.

Практика показывает, что эффективная глубина зондирования составляет для песков до 30, а для глинистых грунтов до 10 м.

При наличии возможности результаты геофизических исследований следует подтверждать и корректировать другими методами исследования — шурфованием, бурением, зондированием.

Полевые и лабораторные методы исследования грунтов, применяемые в соответствии с п. 5.8 СП 11-105-97 (ч. I), могут быть использованы в полном объеме и при инженерно-геологических изысканиях на застроенных территориях. Однако при этом необходимо учитывать сложность инженерно-геологических условий, а также требования к изысканиям, проводимым на застроенных территориях и в стесненных условиях.

Гидрогеологические исследования при инженерно-геологических изысканиях следует выполнять с целью изучения режима подземных вод, их температуры, химического состава, оценки фильтрационных свойств грунтов, в том числе для расчета консолидации грунтов основания под действием статических нагрузок от фундаментов, определения направления движения, градиентов и скорости движения подземных вод, наличия фундаментных вод, получения исходных данных для проектирования дренажных сооружений, а также определения возможных водопритоков в котлованы и разработки системы строительного водопонижения.

Полевые опытно-фильтрационные работы, как правило, не следует выполнять в непосредственной близости от действующих сооружений во избежание дополнительных осадков фундаментов за счет снятия гидростатического

давления в процессе опытной откачки и замачивания грунтов при опытных наливах.

При опытно-фильтрационных работах внутри зданий и сооружений, в стесненных условиях и трудностях с подводом и отводом воды от скважины рекомендуется использовать метод вытеснения воды путем погружения тела фиксированного объема, метод отжатия уровня сжатым воздухом в герметически изолированной скважине и метод «тяжелой жидкости».

При изысканиях на застроенных территориях и в стесненных условиях строительства должна быть выполнена оценка возможности подтопления площадки (СП 11-105-97, ч. II).

Обследование грунтов оснований зданий следует выполнять в соответствии с п. 5.12 СП 11-105-97 (ч. I). Цель обследования — оценка возможных негативных последствий в результате реконструкции здания, а также от воздействия на него нового строительства (реконструкции, расширения) на прилегающих территориях и при необходимости получение данных для разработки мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности окружающей застройки.

Обследование грунтов оснований зданий необходимо проводить тогда, когда в прилегающей к ним зоне проводятся следующие виды работ:

- проходка котлованов и траншей, прокладка подземных коммуникаций, пешеходных и транспортных тоннелей ниже глубины заложения существующих фундаментов, особенно с применением водопонижения и без крепления стенок котлованов и траншей;
- строительство новых зданий, вызывающих дополнительные напряжения, перераспределение напряжений и перемещения грунта в активной зоне фунда-

ментов расположенных вблизи зданий;

- работы по устройству «стены в грунте», забивка шпунта или свай вблизи других зданий с передачей на их основание динамических нагрузок;

- динамические воздействия от авто- и железнодорожного транспорта, работы линий метрополитена, оборудования, устанавливаемого в сооружениях и промышленных установках, расположенных вблизи зданий.

Стационарные наблюдения необходимо выполнять в следующих случаях:

- при массовом строительстве различных зданий и сооружений с различными архитектурными и конструктивными решениями на застроенных территориях со сложными грунтовыми условиями;
- при строительстве новых зданий и сооружений по индивидуальным проектам, на застроенных территориях со сложными грунтовыми условиями;
- при строительстве уникальных зданий и сооружений;
- при внедрении в строительство новых технологий устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений на застроенных территориях со сложными грунтовыми условиями;
- при устройстве глубоких котлованов для новых зданий и сооружений, пристраиваемых к эксплуатируемому объектам;
- при строительном водопонижении на территории строящегося объекта и наличии в зоне влияния строительства других зданий и сооружений.

Наблюдения за осадками оснований зданий и сооружений вследствие статических, вибрационных и других динамических воздействий следует выполнять путем измерения положения ственных реперов и деформационных марок, заложенных в начальный период строительства, а

при необходимости — с помощью глубинных реперов, деформографов и другой измерительной аппаратуры. При этом рекомендуется контролировать не только осадки (а в необходимых случаях — и горизонтальные перемещения), но и параметры динамических воздействий, передаваемых на грунты основания и конструкции сооружений при производстве строительных работ (разборка старых зданий, особенно примыкающих к эксплуатируемым, устройство шпунтовых ограждений котлована, забивка свай, а при наличии тиксотропных грунтов — воздействие механизмов и транспорта).

Наблюдения за динамикой изменения физико-механических свойств грунтов по глубине и во времени нужно выполнять, как правило, геофизическими методами (теплопроводности, диэлектрической проницаемости, радиоизотопными, сейсморазведочными), а также зондированием грунтов и лабораторными методами (определение плотности и влажности по образцам грунтов, отбираемых из специально пробуренных для этих целей скважин).

На основании сказанного можно утверждать, что полноценные и качественные изыскания грунтов строительных площадок, расположенных на застроенных территориях и в стесненных условиях, могут быть проведены *только* при поэтапном осуществлении изысканий всех типов.

Далее перечислим основные задачи различных этапов всех типов изысканий. При этом общий объем изыскательских работ, количество и методика проведения отдельных видов исследований свойств грунта и другие задачи могут быть установлены с учетом сложности грунтовых условий площадки строительства.

*На этапе изысканий для разработки предпроектной доку-*

*ментации* в дополнение к требованиям СП 11-105-97 (ч. I) рассматриваются и решаются следующие задачи:

- предварительный анализ архивных материалов по изысканиям и ориентировочная оценка состояния и свойств грунтов основания;
- предварительное изучение опыта строительства зданий и сооружений, подобных проектируемому объекту;
- предварительная оценка пригодности рассматриваемой территории для размещения планируемого объекта с учетом требований геотехники;
- предварительное изучение особенностей эксплуатации зданий и сооружений на рассматриваемой территории и установление вероятных причин имеющихся деформаций, способов восстановления эксплуатационной пригодности деформированных зданий и сооружений;
- предварительное установление возможности примыкания проектируемых объектов к другим зданиям и сооружениям, а также предполагаемые методы и объемы превентивных мероприятий для обеспечения безопасности при попадании окружающей застройки в зону влияния нового объекта;
- предварительное визуальное определение технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового примыкающего объекта;
- предварительное установление возможности деформаций и аварий зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового примыкающего объекта, при строительном водопонижении вследствие высокого уровня подземных вод и дополнительных осадков в основании окружающих зданий и сооружений;
- предварительное определение возможности деформаций и аварий зданий и сооружений, по-

падающих в зону влияния нового примыкающего объекта, из-за устройства глубоких «стен в грунте», глубоких подземных частей и появления при этом барражного эффекта и подъема уровня подземных вод в основании близко расположенных зданий и сооружений.

По результатам проведенных изыскательских работ, исходя из предстоящих объемов геотехнических работ, стесненности условий производства строительных работ и т. д. обосновываются инвестиции и устанавливается эффективность строительства рассматриваемого объекта.

*На этапе изысканий для разработки проектной документации* в дополнение к требованиям СП 11-105-97 (ч. I) должны быть установлены:

- изменения физико-механических характеристик грунтов площадки размещения проектируемого объекта и в основании зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства, в период строительства и эксплуатации, а также причины возникновения этих процессов;
- наличие, степень развития и прогнозные данные по развитию и завершению геологических и инженерно-геологических процессов на площадке размещения проектируемого нового объекта и в основании зданий и сооружений, попадающих в зону влияния этого строительства, в период строительства и эксплуатации;
- изменения уровня подземных вод на площадке размещения проектируемого объекта и в основании зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства, в период строительства и эксплуатации;
- возможные изменения физико-механических характеристик грунтов площадки размещения проектируемого объекта и в основании зданий и сооружений, попадающих в зону влияния но-

вого строительства, под воздействием динамических и вибрационных нагрузок вследствие погружения шпунта, забивки свай, работы строительной техники и оборудования;

- причины и характер деформаций и аварий зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, расположенных в зоне влияния нового строительства, для оценки их технического состояния и принятия специальных превентивных мероприятий, обеспечивающих их сохранность и безопасность в период строительства и эксплуатации проектируемого объекта, для принятия щадящих технологий производства работ, а также организации геотехнического мониторинга.

*На этапе изысканий для разработки рабочей документации* в дополнение к требованиям СП 11-105-97 (ч. I) должны быть:

- уточнены инженерно-геологические условия площадки строительства нового объекта в соответствии с рекомендациями, содержащимися в техническом отчете по результатам изысканий, полученным на предыдущем этапе;
- уточнены отдельные данные инженерно-геологических условий площадки строительства нового объекта, возникшие в результате решения геотехнических задач на предыдущем этапе проектирования объекта;
- уточнены инженерно-геологические условия площадки строительства нового объекта для решения вопросов, поставленных при проведении экспертизы;
- оценены изменения инженерно-геологических условий за период, прошедший со времени изысканий для разработки проекта;
- уточнены и оценены установленные на предыдущей стадии изысканий причины и характер деформаций и аварий зданий, сооружений и инженерных ком-

муникаций, расположенных в зоне влияния нового строительства;

- оценены возможные деформации и аварии зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, расположенных в зоне влияния нового строительства (по данным стационарных геодезических наблюдений);
- дополнительно изучены физико-механические характеристики грунтов площадки размещения проектируемого объекта при изменении его конструктивно-технологических решений по основаниям и фундаментам для обоснования правильности принятых решений.

*На этапе изысканий, выполняемых в период строительства объекта*, уточняются:

- причины осадок (в том числе и неравномерных) строящегося объекта, а также зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния нового строительства, установленных по результатам геотехнического мониторинга;
- физико-механические характеристики грунтов в основании строящегося объекта и объектов, попадающих в зону влияния нового строительства, для оперативного принятия конструктивно-технологических и дополнительных превентивных решений, исключающих развитие дополнительных, превышающих нормативные значения осадок;
- объемы дополнительных конструктивно-технологических решений, исключающих развитие дополнительных осадок грунтов в основании строящегося объекта;
- объемы дополнительных превентивных решений, исключающих развитие дополнительных осадок в основании зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния нового строительства;
- физико-механические характеристики грунтов в основании

строящегося объекта при изменении его конструктивно-технологических решений по основаниям и фундаментам;

- физико-механические характеристики грунтов в основании строящегося нового объекта при затоплении котлована.

*На этапе изысканий, выполняемых в период эксплуатации объекта*, определяются:

- причины визуально установленных деформаций и трещин конструкций объекта;
- причины инструментально установленных деформаций конструкций объекта;
- возможность и эффективность применения предварительно выбранных способов устранения причин деформаций конструкций объекта усилением грунтов основания и фундаментам;
- пределы возможного изменения объемно-планировочных и конструктивных решений объекта при реконструкции;
- необходимые и возможные конструктивные решения при строительстве примыкающего объекта.

*На этапе изысканий в период консервации строящегося объекта* выполняются:

- оценка состояния грунтов основания строящегося объекта в котлованах и траншеях на момент консервации объекта;
- оценка необходимости создания методики стационарных наблюдений с учетом объема и особенностей защиты конструкций построенной части объекта;
- расчет объема необходимых изысканий для установления изменений физико-механических характеристик грунтов в основании строящегося объекта в период консервации.

## Выводы

1. Большое количество составляющих геотехнического риска связано с качеством проведения инженерно-геологических изы-

сканий на застроенных территориях и в стесненных условиях. Эти риски сопровождают строительный процесс в течение всего жизненного цикла объекта. Правильное планирование и качественное проведение изысканий позволяют уменьшить объем геотехнического риска и опасных последствий его проявления.

**2.** Основными последствиями некачественно проведенных изысканий являются: неудачный выбор места строительства; необоснованные объемы капиталовложений и изысканий; недостаточная информация для качественного проектирования нового объекта; неполноценная информация по изысканиям для обеспечения безопасности зданий, сооружений и инженерных коммуникаций в зоне строительства; деформации и аварии строящихся и близко расположенных сооружений; дополнительные изыскания; корректировка проектов; снос, разборка построенных частей новых и эксплуатируемых зданий и сооружений.

**3.** Как показывает практика строительства, инженерно-геологические условия на застроенных территориях осложняются наличием факторов, влияющих на планирование, объемы, методики проведения и выбор задач для различных этапов проведения изысканий. Несмотря на это на застроенных территориях городов инженерно-геологические изыскания для нового строительства должны проводиться в полном объеме для обеспечения безопасности строящихся объектов.

**4.** Результаты изысканий должны быть достаточными для составления прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий при взаимодействии проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых матери-

алов для обоснования проектной подготовки строительства (разработка предпроектной, проектной и рабочей документации), в том числе мероприятий по инженерной защите объекта строительства и охране окружающей среды.

**5.** Анализ опыта строительства больших городов, включая Москву, оценка причин аварий и деформаций зданий и сооружений, изучение причин дополнительных работ по изысканиям и корректировке проектов (в первую очередь оснований и фундаментов) показали, что стадийность изысканий должна быть соблюдена *во всех* случаях, предусмотренных нормативными документами по изысканиям, т. е. на всех этапах проектирования и эксплуатации объекта, в том числе для обоснования инвестиций, проекта, рабочей документации, а также в ходе строительства объекта.

**6.** Опыт строительства различных сооружений на застроенных территориях показывает, что содержащееся в нормативных документах по инженерно-геологическим изысканиям (СП 11-105-97, ч. V) указание о том, что для повышения качества обоснования предпроектной и проектной документации необходимо проводить экспертизу программ изысканий и технических отчетов на всех этапах выполнения инженерно-геологических изысканий, является обоснованным и правильным. При этом для повышения качества изысканий, проводимых в сложных грунтовых условиях, при наличии специфических грунтов, а также инженерно-геологических процессов, научно-техническое сопровождение работ с привлечением специализированных научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций служит эффективным решением,

уменьшающим объемы проявления геотехнических рисков с возможными негативными последствиями.

**7.** С целью повышения качества изысканий, выполняемых на застроенных территориях, для повышения эффективности работ, правильного определения необходимого объема изысканий, обоснованного назначения видов полевых и лабораторных исследований грунтов, обоснованного выбора методик проведения исследований свойств грунтов при планировании изысканий (начиная с составления технического задания на изыскания) должны быть изучены архивные материалы. В связи с тем, что они не всегда выполнены с высоким качеством и достоверны, должна быть предусмотрена возможная корректировка объемов изысканий, предварительно определенного количества горных выработок и т. д.

**8.** Опыт строительства на территории Москвы показывает, что на большей части территории происходили и в настоящее время могут происходить опасные инженерно-геологические процессы (карст, подтопление и т. д.). К районам развития карста относятся территории, в пределах которых распространены водорастворимые горные породы (известняки, доломиты, мел, гипсы, ангидриты и т. п.).

Подтопление как причина развития карста происходит в результате утечек из водонесущих коммуникаций, недостаточной организации поверхностного стока на застроенных территориях, неэффективности ливневой канализации, нарушения естественного стока при проведении строительных работ, барражного эффекта при строительстве заглубленных подземных сооружений, устройстве «стены в грунте» и т. д.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абелев М. Ю., Чунюк Д. Ю., Каралли Д. Л., Бахронов Р. Р. Особенности устройства уплотненных песчаных оснований зданий при замещении газогенерирующих грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 5. С. 34–40. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.05.34-40.
2. Абелев М. Ю., Король Е. А., Левченко А. П., Каралли Д. Л. Опыт проектирования и технологии строительства зданий на загазованных грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2021. № 2. С. 23–26.
3. Чунюк Д. Ю. Особенности классификации и составляющие геотехнического риска в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 42–44.
4. Колыбин И. В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях // Развитие городов и геотехническое строительство. 2008. № 12. С. 90–124
5. Мангушев Р. А., Никифорова Н. С. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства. М. : АСВ, 2017. 168 с.

## R E F E R E N C E S

1. Abelev M. Yu., Chunyuk D. Yu., Karalli D. L., Bahronov R. R. Features of the arrangement of compacted sand bases of buildings when replacing gas-generating soils. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2021, no. 5, pp. 34–40. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.05.34-40.
2. Abelev M. Yu., Korol' E. A., Levchenko A. P., Karalli D. L. Experience in designing and technology of construction of buildings on polluted soils. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2021, no. 2, pp. 23–26. (In Russian).
3. Chunyuk D. Yu. Features of classification and components of geotechnical risk in construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 9, pp. 42–44. (In Russian).
4. Kolybin I. V. Lessons of emergency situations during the construction of pits in urban conditions. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2008, no. 12, pp. 90–124. (In Russian).
5. Mangushev R. A., Nikiforova N. S. *Tekhnologicheskie osadki zdaniy i so-oruzhenij v zone vliyaniya podzemnogo stroitel'stva* [Technological precipitation of buildings and structures in the zone of influence of underground construction]. Moscow, ASV Publ., 2017. 168 p. (In Russian).

Для цитирования: Абелев М. Ю., Чунюк Д. Ю., Левченко А. П., Аверин И. В. Проведение изысканий на застроенных территориях, в стесненных условиях и снижение геотехнических рисков // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 18–26. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.18-26.

For citation: Abelev M. Yu., Chunyuk D. Yu., Levchenko A. P., Averin I. V. Conducting Surveys on Built-Up Areas, in Cramped Conditions and Reducing Geotechnical Risks. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 18–26. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.18-26.



## «УРАЛ-ПРЕСС» — КОРПОРАТИВНАЯ ПОДПИСКА СО ВСЕМИ УДОБСТВАМИ

**Подписаться на журнал «Промышленное и гражданское строительство»  
стало проще и удобнее:**

1. Скачайте подписной каталог на сайте [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru), в котором 20 000 российских и зарубежных изданий.
2. Отправьте заявку на подписку по факсу или электронной почте в ваше региональное подразделение «Урал-Пресс».
3. Все документы и выписанные издания курьер доставит вам в офис.

Подписка с «Урал-Пресс» — это:

- персональный менеджер
- доставка в первой половине дня лично в руки
- полный пакет отчетных документов ежемесячно
- подписка с любого месяца
- восстановление вышедших ранее изданий

Подробную информацию и контакты всех представительств «Урал-Пресс»  
смотрите на сайте [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru).

# Струйная цементация для устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах

**Андрей Григорьевич АЛЕКСЕЕВ**<sup>1, 2</sup>, кандидат технических наук, руководитель Центра геокриологических и геотехнических исследований, доцент НИУ МГСУ, e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Дмитрий Васильевич ЗОРИН**<sup>1</sup>, инженер, e-mail: zorinsved@mail.ru

**Валентин Андреевич АЛЕКСЕЕНКО**<sup>3</sup>, начальник отдела геотехнических решений дирекции по реализации региональных проектов, e-mail: 9175961738@mail.ru

<sup>1</sup> НИИОСП им. Н. М. Герсевича АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, Рязанский просп., 59

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

<sup>3</sup> ООО «ПИК-Проект», 123242 Москва, Баррикадная ул., 19, стр. 1

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения технологии струйной цементации многолетнемерзлых грунтов для устройства фундаментов из грунтоцементных свай. Изложены результаты лотковых лабораторных испытаний по определению несущей способности грунтоцементных свай в мерзлом грунте. Представлены методика проведения исследований, примененные параметры струйной цементации, результаты статических испытаний фрагментов грунтоцементных свай в мерзлом грунте, а также результаты испытаний по определению прочности грунтоцемента, твердевшего при отрицательной температуре. Сделано предположение, что использование технологии струйной цементации в криолитозоне возможно и перспективно. В определенных геотехнических условиях применение рассмотренной технологии позволит сократить сроки строительства и снизить экономические затраты. Выявлены направления дальнейшего исследования данной технологии, к которым следует отнести проведение подробного анализа свойств грунтоцемента в талых и мерзлых грунтах с идентичными характеристиками, опытных полевых работ по устройству грунтоцементных свай в реальных условиях распространения многолетнемерзлых грунтов с использованием разных параметров струйной цементации и др.

**Ключевые слова:** грунтоцементная свая, струйная цементация, многолетнемерзлые грунты, свайный фундамент, статические испытания, несущая способность грунтоцемента.

## JET-CEMENTATION FOR THE CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS ON PERMAFROST SOILS

**Andrey G. ALEKSEEV**<sup>1, 2</sup>, e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

**Dmitry V. ZORIN**<sup>1</sup>, e-mail: zorinsved@mail.ru

**Valentin A. ALEKSEENKO**<sup>3</sup>, e-mail: 9175961738@mail.ru

<sup>1</sup> Research Institute of Bases and Underground Structures (NIOSP) named after N. M. Gershevich, Research Center of Construction, Ryazanskiy prospekt, 59, Moscow 109428, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

<sup>3</sup> PIK-Project, Barricadnaya ul., 19, str. 1, Moscow 123242, Russian Federation

**Abstract.** The possibility of using the technology of jet-cementation of permafrost soils for the construction of foundations from soil-cement columns is considered. The results of laboratory tray tests for determining the load-bearing capacity of soil-cement columns in frozen soil are presented. The research methodology, the applied parameters of jet-cementation, the results of static tests of fragments of soil-cement columns in frozen soil, as well as the results of tests to determine the strength of soil-cement that hardened at negative temperature are described. It is assumed that the use of the technology of jet-grouting technology in the cryolithozone is possible and promising. In certain geotechnical conditions, the use of this technology will reduce the construction time and reduce economic costs. The directions of further research of this technology, which should include a detailed analysis of the properties of ground cement in thawed and frozen soils with identical characteristics, experimental field work on the installation of ground cement piles in real conditions of the spread of permafrost soils using different parameters of jet cementation, etc., are identified.

**Key words:** soil-cement pile, jet-cementation, permafrost soils, pile foundation, static testing, bearing capacity of soil-cement.

### Введение

Технология струйной цементации грунтов (jet-grouting) получи-

ла широкое распространение в практике промышленного и гражданского строительства в части

оснований и фундаментов на талых (не мерзлых) грунтах. Применение этой технологии при возве-

1. Характеристики грунтов

Показатель	Песок средней крупности, влажный	Суглинок легкий, мягкопластичный
Влажность, %: $W/W_L/W_p$	17/-/-	18/20,5/13,3
Плотность, г/см <sup>3</sup> : $\rho/\rho_d/\rho_s$	2,12/1,81/2,65	1,84/1,46/2,7
Коэффициент пористости $e$ , д. е.	0,46	0,84
Относительная влажность $S_r$ , д. е.	0,78	0,56



Рис. 1. Струйная цементация мерзлых грунтов в лотках

дении вертикальных ограждений глубоких котлованов и усилении оснований сегодня считается стандартным решением [1–5]. Кроме того, возникают новые направления, к которым следует отнести устройство горизонтальных и вертикальных противодиффузионных завес, сооружаемых в обводненных грунтах, и др. [6, 7].

В настоящее время на территории России применяется несколько видов технологии струйной цементации грунтов, а именно:

- однокомпонентные технологии MiniJet и Jet 1 (давление подачи цементного раствора соответственно 15–20 и 40–45 МПа без применения сжатого воздуха) [8];
- двухкомпонентные технологии Jet2 и SuperJet (давление подачи цементного раствора 40–45 МПа с применением сжатого воздуха). Для технологии SuperJet используют насосы повышенной мощности с более долгим временем размыва грунта на интервале.

Выбор вида технологии струйной цементации грунтов обусловлен целью производства работ и инженерно-геологическими условиями площадки. Подробное описание различных режимов технологии струйной цементации приведено в монографиях [9, 10].

В то же время еще в 1970-х гг. разработан способ струйного размыва многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Данный способ применялся для образования скважин и уширений за счет по-

дачи воды под высоким давлением. Установлено, что для разрушения мерзлых грунтов достаточно давления 20–40 МПа.

Цель настоящей исследовательской работы – определение возможности применения технологии струйной цементации в мерзлом грунте.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- проведение опытных работ по устройству грунтоцементных свай (ГЦС) в лотках, содержащих мерзлый грунт, с подбором параметров струйной цементации;
- исследование прочности при сжатии грунтоцемента, полученного в лотках с мерзлым грунтом;
- выполнение лотковых испытаний ГЦС статической вдавливающей нагрузкой с определением несущей способности по боковой поверхности;
- проведение сравнительного анализа результатов исследований и архивных данных.

**Методика проведения исследований**

Устройство ГЦС в лотках с мерзлым грунтом производилось на территории действующей строительной площадки в Москве (февраль 2019 г.) компанией ООО «ГеоСет». Предварительно подготовленные лотки в количестве четырех штук (Ø600 мм и высотой 1200 мм), заполненные мерзлым грунтом, помещали в

траншею глубиной около 1,5 м (рис. 1). Опытные работы проводились при средней температуре воздуха –5 °С.

Грунты внутри лотков предварительно утрамбовывались до достижения коэффициента уплотнения  $K_{упл} = 0,95$  и замораживались. Для испытаний применяли два типа грунта: мерзлый песок средней крупности и мерзлый суглинок мягкопластичный. Характеристики грунтов, использованных при испытаниях, представлены в табл. 1.

При выполнении опытных работ по струйной цементации мерзлых грунтов в лотках применялось следующее оборудование:

- буровая установка Klemm-909;
- высоконапорный плунжерный насос Tesciwell TW400;
- миксерная станция Tesciwell TWM20;
- силос со шнековым транспортом;
- бак для хранения воды.

**Подбор параметров струйной цементации**

Проектный диаметр ГЦС и параметры струйной цементации подбирались на основании архивных данных и опыта производства работ в талых грунтах [11, 12].

Ввиду ограниченного размера лотков при устройстве свай принято решение применить однокомпонентную технологию MiniJet.



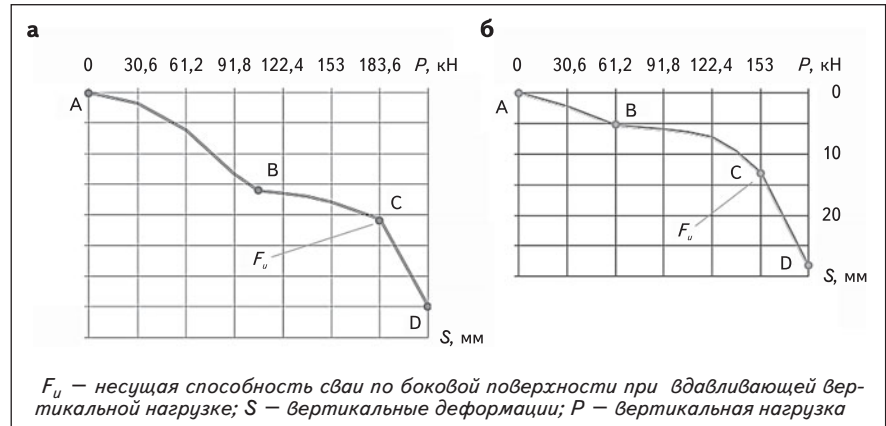
**Рис. 2. Испытательный стенд**

Параметры струйной цементации, подобранные в ходе проведения опытных работ, следующие:

технология.....	MiniJet
проектный диаметр ГВС в талом грунте, мм .....	400
содержание цемента на 1 м ГЦС, кг/м.....	100
то же, на 1 м <sup>3</sup> ГЦС, кг/м <sup>3</sup> ..	796
количество форсунок, шт. ....	1
диаметр форсунок, мм.....	3
давление нагнетания цементного раствора, МПа. .	15
водоцементное соотношение. .	1
скорость подъема монитора, см/мин .....	30
время обработки 1 интервала, с.....	8
частота вращения монитора, мин <sup>-1</sup> .....	15
количество оборотов монитора на интервале, шт ...	2
количество ходов плунжера в минуту .....	16

На следующий день после устройства опытных свай лотки изымали из траншеи и помещали в лабораторную морозильную камеру, воздух в которой поддерживался при заданной температуре  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По истечении 14 сут выдержки свай при отрицательной темпера-



**Рис. 3. Результаты статических испытаний грунтоцементных свай в мерзлом песке (а) и мерзлом суглинке (б)**

туре ( $T = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) проводились статические испытания ГЦС в двух лотках с мерзлым песком и суглинком по методике, изложенной в статье [13]. Длина ГЦС составила 1,2 м. Общий вид испытательного стенда представлен на рис. 2.

Нижняя часть лотка с мерзлым грунтом вырезалась для определения несущей способности только по боковой поверхности, без учета лобового сопротивления [14]. Для контроля статического давления на сваю использовали электронный манометр в гидравлической системе нагружения, деформации измеряли индикаторами часового типа.

Расчетную нагрузку, кН, определяли в соответствии с действующей нормативной документацией по формуле

$$F_u = R_{af} F_{af} \quad (1)$$

где  $R_{af}$  — расчетное сопротивление мерзлого грунта по боковой поверхности смерзания с ГЦС, кПа;  $F_{af}$  — площадь поверхности смерзания грунта с боковой поверхностью ГЦС, м<sup>2</sup>.

При осредненном диаметре ГЦС  $\varnothing 300$  мм в мерзлом песке нагрузка составила 153 кН. В суглинке для проведения испытаний использовалось то же значение.

Нагружение свай проводилось равномерно, без ударов, ступенями, равными 20 % наиболь-

шей нагрузки для первых трех ступеней и 10 % — для последующих ступеней нагружения.

На каждой ступени нагружения отсчеты снимали по всем приборам для измерения деформаций в такой последовательности: нулевой отсчет — перед нагружением свай, первый отсчет — сразу после приложения нагрузки, затем последовательно: через 30 мин, 1; 2; 4; 8; 16 и 24 ч, далее с интервалом 24 ч.

Каждая ступень нагружения выдерживалась до условной стабилизации деформации (осадки) свай, но не менее 24 ч. За критерий условной стабилизации деформации принималась скорость осадки свай на данной ступени нагружения, не превышающая 0,2 мм за последние 24 ч наблюдений.

Нагрузка доводилась до значения, при котором на данной ступени нагружения не происходило условной стабилизации деформации. Испытание на этой ступени нагружения заканчивалось после достижения значения осадки, не менее чем в 3 раза превышающего значение осадки на предыдущей ступени при общей осадке не менее 25 мм.

### Результаты испытаний

Результирующие графики зависимости вертикальных дефор-



**Рис. 4.** Результаты вскрытия лотков после проведения испытаний

маций свай от нагрузки представлены на рис. 3.

Несущая способность опытных свай, определенная в ходе статических испытаний в лотках, превысила расчетные значения. Средняя несущая способность 1 м ГЦС составила в мерзлом песке 184 кН, в мерзлом суглинке — 153 кН.

В ходе проведения анализа результатов статических испытаний было установлено:

- деформации, показанные на первых участках графиков А–В (см. рис. 3) до нагрузок 90–100 кН, возникли в результате сжатия материала ГЦС (предположительно грунтоцементной пульпы, которая обычно остается в оголовке ГЦС);
- при нагрузке, превышающей расчетную на 40 % в песке и 20 % в суглинке (участки графиков С–D, см. рис. 3), достигли критерия срыва свай, изложенного в [13], что говорит о потере несущей способности свай по грунту.

После проведения статических испытаний лотки вскрывали (разрезали в вертикальной плоскости) и производили анализ характера взаимодействия нагнетаемого под давлением цементного раствора с мерзлым грунтом. В результате экспериментально подтверждена возможность струйного размыва и цементации

мерзлого грунта (рис. 4). Граница контакта ГЦС с многолетне-мерзлым грунтом достаточно четкая, проникания цементного раствора за пределы ГЦС в мерзлый грунт отмечено не было.

Образованные в лотках ГЦС имели сплошную структуру. Осредненный диаметр ГЦС, выполненных в лотках с мерзлым песком, составил  $\varnothing 250\text{--}350$  мм, в мерзлом суглинке —  $\varnothing 150\text{--}250$  мм, при этом проектный диаметр ГЦС  $\varnothing 400$  мм. В этой связи можно говорить о снижении эффективности размыва в мерзлом грунте по сравнению с талым (не мерзлым).

Из материала ГЦС подготавливали образцы (кубики) для испытаний по определению прочности при сжатии [15].

В ходе данных испытаний производилось:

- определение кубиковой прочности грунтоцемента  $R_{ГЦ}$  и цементного раствора  $R_{ЦР}$  марки М 500, набравших прочность при отрицательных температурах;
- проведение сравнительного анализа прочности кубиков цементного раствора и грунтоцемента.

При испытаниях использовали образцы номинальных размеров  $70,7 \times 70,7 \times 70,7$  мм, которые выпиливали из тела грунтоцементных свай по достижении необхо-

димого времени твердения (7, 14 и 28 сут).

Нагружение образцов проводили непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. При этом время нагружения до разрушения образца составляло не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку. Образец нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки  $(0,6 \pm 0,2)$  МПа/с.

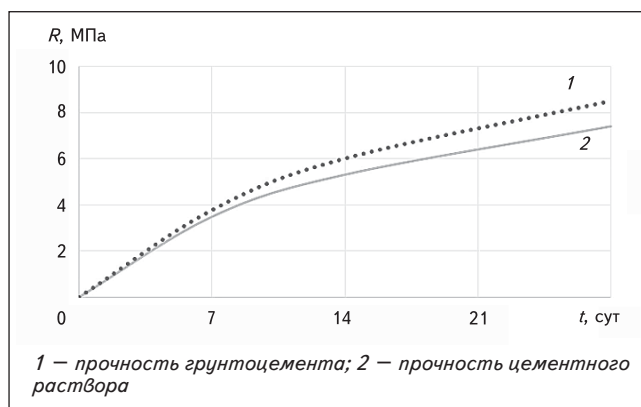
Прочность грунтоцемента при сжатии ( $R_{ГЦ}$ , МПа) вычисляли с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R_{ГЦ} = \alpha F/A, \quad (2)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка, кН;  $A$  — площадь рабочего сечения образца, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  — масштабный коэффициент для приведения прочности раствора к прочности в образцах базовых размеров и формы.

Образцы цементного раствора и ГЦС выдерживали при температуре  $-1$  °С в процессе всего срока твердения. Результаты испытаний представлены на рис. 5.

Прочность грунтоцемента  $R_{ГЦ}$ , определенная на 28-е сут, составила от 7,7 до 9,8 МПа. Образцы (кубики) цементного раствора марки М 500, изготовленные отдельно, на 28-е сут набрали прочность  $R_{ЦР} = 6,5$  МПа. Прочность грунтоцемента на 7-е сут тверде-



**Рис. 5.** Изменение прочности  $R$  цементного раствора марки М 500 и грунтоцемента в процессе всего срока твердения  $t$  ( $T = -1$  °С)

ния практически не отличается от прочности цемента марки М500.

Разность в значениях прочности грунтоцемента и цементного раствора объясняется объемом образцов, твердевших при отрицательной температуре (объем сваи 0,0589 м<sup>3</sup> в течение большего времени находится при температуре выше 0 °С по сравнению с объемом образца (кубика) цемента 0,0004 м<sup>3</sup>). Замерзание поровой влаги в кубиках цементного раствора происходит намного быстрее, чем в грунтоцементных сваях, что сводит к минимуму возможность набора прочности.

#### Выводы

1. В ходе проведения работ по устройству опытных ГЦС в полевых условиях подобраны параметры струйной цементации мерзлых грунтов:

- расход цемента на 1 м ГЦС — 100 кг/м;
- давление нагнетания цементного раствора — 15 МПа;
- скорость подъема монитора — 30 см/мин.

При использовании данных параметров струйной цементации получены следующие диаметры ГЦС:

- в мерзлом песке средней крупности — 250–350 мм;

- в мерзлом мягкопластичном суглинке — 150–250 мм.

2. Несущая способность опытных свай, определенная в ходе проведения статических испытаний в лотках, превысила расчетные значения. Средняя несущая способность 1 м ГЦС составила в мерзлом песке 184 кН, а в мерзлом суглинке — 153 кН.

3. Образование сплошного ствола сваи и сохранение грунта в мерзлом состоянии позволяют говорить о возможности устройства ГЦС в многолетнемерзлом грунте путем струйного размыва цементным раствором.

4. Прочность  $R_{ГЦ}$  кубиков грунтоцемента на 28-е сут с момента устройства ГЦС составила от 7,7 до 9,8 МПа. Хочется отметить, что средняя прочность образцов грунтоцемента в талых грунтах согласно табл. 5.1 СП 291.1325800.2017 «Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования» составляет:

- для песчаных грунтов — 5 МПа;
- для глинистых грунтов — 3 МПа.

Таким образом, эти данные свидетельствуют о достаточности полученных значений прочности для использования ГЦС в мерзлом грунте. Однако необходимо отметить, что полученная проч-

ность может складываться из прочности, набранной за счет гидратации цемента и за счет скопления частиц грунта льдом [16]. В этой связи возникает вопрос о контактном сечении в ГЦС на границе ММГ и слоя сезонного оттаивания.

5. Анализ результатов испытаний позволил определить направления дальнейшего исследования данной технологии, к которым следует отнести:

- выполнение опытных полевых работ по устройству ГЦС в реальных условиях распространения ММГ с использованием разных параметров струйной цементации;
- применение предварительного размыва грунта водой при устройстве ГЦС;
- проведение подробного анализа свойств грунтоцемента, полученного в талых и мерзлых грунтах с идентичными характеристиками.

6. Направление данной исследовательской работы имеет большой потенциал развития. Проведенные исследования и полученные в ходе их выполнения результаты указывают на возможность применения технологии струйной цементации в многолетнемерзлом грунте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wang Z. F., Shen S. L., Ho C. E., Kim Y. H. Jet grouting practice: an overview [Практика струйной цементации: обзор] // Geotechnical Engineering. 2013. Vol. 44(4). Pp. 88–96.
2. Джантимиров Х. А., Долев А. А. Опыт усиления основания сооружения с помощью струйной геотехнологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 1. С. 20–25. DOI: 10.1007/s11204-006-0018-2.
3. Njock P. G. A., Chen J., Modoni G., Arulrajah A., Kim Y. H. A review of jet grouting practice and development [Обзор практики и развития струйной цементации] // Arabian Journal of Geosciences. 2018. Vol. 11(16). DOI: 10.1007/s12517-018-3809-7.
4. Тер-Мартirosян З. Г., Струнин П. В. Усиление слабых грунтов в основании фундаментных плит с использованием технологии струйной цементации грунтов // Вестник МГСУ. 2010. № 4-2. С. 310–315.
5. Малинин П. А., Струнин П. В. Опыт строительства глубокого котлована с использованием технологии струйной цементации грунтов // Геотехника. 2013. № 2. С. 4–13.
6. Саинов М. П. Пространственная работа противодиффузионной стены // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 5(57). С. 20–33. DOI: 10.5862/МСЕ.57.2.
7. Цой М. С.-Д., Алданов А. Г., Радченко В. Г. [и др.]. Возведение противодиффузионной завесы методом струйной цементации в основании плотины Сангтудинской ГЭС-1 // Гидротехническое строительство. 2008. № 5. С. 32–37.
8. Малинин П. А., Струнин П. В. Развитие и применение струйной цементации грунтов для устройства самозабуриваемых анкерных свай // Жилищное строительство. 2015. № 9. С. 50–54.
9. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов. М. : Стройиздат, 2010. 226 с.

10. Бройд И. И. Струйная геотехнология. М. : АСВ, 2004. 440 с.
11. Shen S. L., Wang Z. F., Yang J., Ho C. E. Generalized approach for prediction of jet grout column diameter [Обобщенный подход для прогнозирования диаметра грунтоцементной колонны] // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2013. Vol. 139(12). Pp. 2060–2069. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000932.
12. Малинин А. Г. Влияние режимов струйной цементации на диаметр грунтоцементных колонн // *Метро и тоннели*. 2013. № 4. С. 30.
13. Alekseev A. G., Zorin D. V. Interaction of the auger-cast micropiles with permafrost [Взаимодействие буринъекционных микросвай с многолетнемерзлым грунтом] // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365(4). Pp. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042056.
14. Аксенов В. И., Кистанов О. Г. Оценка составляющих сопротивления осевой нагрузке свай, погруженных в мерзлый грунт // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2008. № 2(45). С. 28–31. DOI: 10.1007/s11204-008-9001-4.
16. Alekseev A. G., Sazonov P. M., Zorin D. V., Vinogradova S. A. Application of pile foundations in structurally unstable soils [Применение свайных фундаментов в структурно-неустойчивых грунтах] // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. Pp. 05020. DOI: 10.1051/mateconf/201926505020.
17. Осипов А. М. Бетонирование при низких температурах // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 4-2(23). С. 161.

## R E F E R E N C E S

1. Wang Z. F., Shen S. L., Ho C. E., Kim Y. H. Jet grouting practice: an overview. *Geotechnical Engineering*, 2013, vol. 44(4), pp. 88–96.
2. Dzhantimirov Kh. A., Dolev A. A. Use of jet geotechnology to strengthen the bed of a structure. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*, 2006, vol. 1(43), pp. 20–25. (In Russian). DOI: 10.1007/s11204-006-0018-2.
3. Njock P. G. A., Chen J., Modoni G., Arulrajah A., Kim Y. H. A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, vol. 11(16). DOI: 10.1007/s12517-018-3809-7.
4. Ter-Martirosyan Z. G., Strunin P. V. Strengthening of weak soils at the base of foundation slabs using the technology of jet cementation of soils. *Vestnik MGSU*, 2010, vol. 4-2, pp. 310–315. (In Russian).
5. Malinin P. A., Strunin P. V. Experience in the construction of a deep pit using the technology of jet cementation of soils. *Geotekhnika*, 2013, vol. 2, pp. 4–13. (In Russian).
6. Sainov M. 3D performance of a seepage control wall in dam and foundation. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*, 2015, vol. 5(57), pp. 20–33. (In Russian). DOI: 10.5862/MCE.57.2.
7. Tsoy M. S.-D., Aldanov A.G., Radchenko V.G. et al. Construction of an anti-filtration curtain by jet cementation at the base of the Sangtudinskaya HPP-1 dam. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*, 2008, vol. 5, pp. 32–37. (In Russian).
8. Malinin P. A., Strunin P. V. Development and application of jet cementation of soils for the device of self-drilling anchor piles. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2015, vol. 9, pp. 50–54. (In Russian).
9. Malinin A. G. *Struynaya tsementatsiya gruntov* [Jet cementation of soils]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2010, 226 p. (In Russian).
10. Broyd I. I. *Struynaya geotekhnologiya* [Jet geotechnology]. Moscow, ASV Publ., 2004, 440 p. (In Russian).
11. Shen S. L., Wang Z. F., Yang J., Ho C. E. Generalized approach for prediction of jet grout column diameter. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2013, vol. 139(12), pp. 2060–2069. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000932.
12. Malinin A. G. Influence of jet cementation modes on the diameter of soil-cement columns. *Metro i tonneli*, 2013, vol. 4, pp. 30. (In Russian).
13. Alekseev A. G., Zorin D. V. Interaction of the auger-cast micropiles with permafrost. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 365(4), pp. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042056.
14. Aksenov V. I., Kistanov O. G. Estimation of resistance components to an axial load on piles embedded in permafrost. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*, 2008, vol. 2(45), pp. 28–31. (In Russian). DOI: 10.1007/s11204-008-9001-4.
16. Alekseev A. G., Sazonov P. M., Zorin D. V., Vinogradova S. A. Application of pile foundations in structurally unstable soils. *MATEC Web of Conferences*, 2019, vol. 265, pp. 05020. DOI: 10.1051/mateconf/201926505020.
17. Osipov A. M. Concreting at low temperatures. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012, vol. 4-2(23), pp. 161. (In Russian).

Для цитирования: Алексеев А. Г., Зорин Д. В., Алексеенко В. А. Струйная цементация для устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 8. С. 27–32. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.27-32.

For citation: Alekseev A. G., Zorin D. V., Alekseenko V. A. Jet-Cementation for the Construction of Foundations on Permafrost Soils. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 27–32. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.27-32. ■

# Проектные решения фундаментов в условиях островного распространения многолетнемерзлых грунтов Магадана

**Сергей Александрович ГУЛЫЙ**, кандидат технических наук, и. о. начальника, e-mail: guly-57@mail.ru

Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН (СВНИМС ИМЗ СО РАН), 685000 Магадан, ул. Портовая, 16

**Аннотация.** Город Магадан до последнего времени оставался одним из немногих городов, построенных в зоне многолетнемерзлых пород, где начиная с середины 1980-х гг. не было проблем, связанных с деформациями зданий и сооружений из-за осадок, вызванных оттаиванием мерзлого грунта. Первые каменные дома в Магадане начали возводить к середине 1930-х гг. С началом их строительства стало понятно, что механический перенос типовых решений фундаментов зданий, принятых для работы в талых грунтах, не обеспечивает требуемой надежности в оттаивающих грунтах. Только к началу 1980-х гг. появилась полная ясность, в каких мерзлотно-грунтовых условиях следует применять конкретный тип фундамента, гарантирующий устойчивость зданий. К сожалению, при современном проектировании зданий и сооружений на территории Магадана накопленный опыт строительства учитывается в малой степени или вообще не учитывается. В статье приводятся примеры фундаментов новых зданий, запроектированных без учета имеющегося опыта проектирования и строительства в специфических мерзлотно-грунтовых условиях Магадана, а также показываются последствия, к чему это может привести. Сделан вывод о том, что оптимальными по стоимости и надежности могут быть только те конструкции, проектирование которых основывается как на современных технологиях и передовых достижениях науки, так и на многолетнем опыте строительства на данной территории.

**Ключевые слова:** осадки при оттаивании, накопленный опыт строительства, фундаменты зданий, многолетнемерзлые грунты, островная мерзлота, статические испытания свай.

## DESIGN SOLUTIONS OF FOUNDATIONS IN THE CONDITIONS OF ISLAND DISTRIBUTION OF PERMAFROST SOILS OF MAGADAN

**Sergey A. GULYY**, e-mail: guly-57@mail.ru

North-Eastern Permafrost Station, ul. Portovaya, 16, Magadan 685000, Russian Federation

**Abstract.** Until recently, the Magadan city remained one of the few cities built in the permafrost zone, where there are no problems associated with deformations of buildings and structures due to thaw settlement of frozen ground since the mid-1980s. The first stone houses began to be built in Magadan by the mid-1930s. With the beginning of their construction, it became clear that the mechanical transfer of standard solutions for building foundations adopted for work in thawed soils does not provide the required reliability for thawing soils. It became completely clear under what permafrost-ground conditions a specific type of foundation should be used to to guarantee the stability of buildings only by the beginning of the 1980s. Unfortunately, the accumulated experience of construction is taken into account to a small extent or not at all in the modern design of buildings and structures on the territory of the Magadan city. The article provides examples of the foundations of new buildings designed without taking into account the existing experience of design and construction in the specific permafrost-ground conditions of Magadan, and also shows the consequences of what this can lead to. It is concluded that only those structures can be optimal in terms of cost and reliability, the design of which is based on both modern technologies and advanced scientific achievements, and on many years of experience in construction on this territory.

**Key words:** thaw settlements, accumulated construction experience, foundations of buildings, permafrost soils, island permafrost, static tests of piles.

### Введение

Город Магадан расположен на побережье Тауйской губы Охотского моря, на перешейке материка с полуостровом Старицко-го. Климат территории муссонный. Современные среднегодовые значения температуры атмосферы воздуха, скорости ветра и ежегодного количества осадков составляют соответ-

ственно  $-2,7$  °C, 3,6 м/с и 561 мм. Максимальная высота снежного покрова – 1,45 м, сейсмичность территории города – 7–9 баллов.

Мерзлотно-грунтовые условия Магадана характеризуются глубоким сезонным промерзанием и островным распространением многолетнемерзлых грунтов (ММГ).

С момента начала строительства Магадана (1929 г.) были опробованы конструкции всех известных типов фундаментов и самые различные способы подготовки грунтов их основания.

К началу 1980-х гг. опыт применения различных типов фундаментов и наблюдения за их работой позволили достаточно точно определять в каких грунтах в ус-

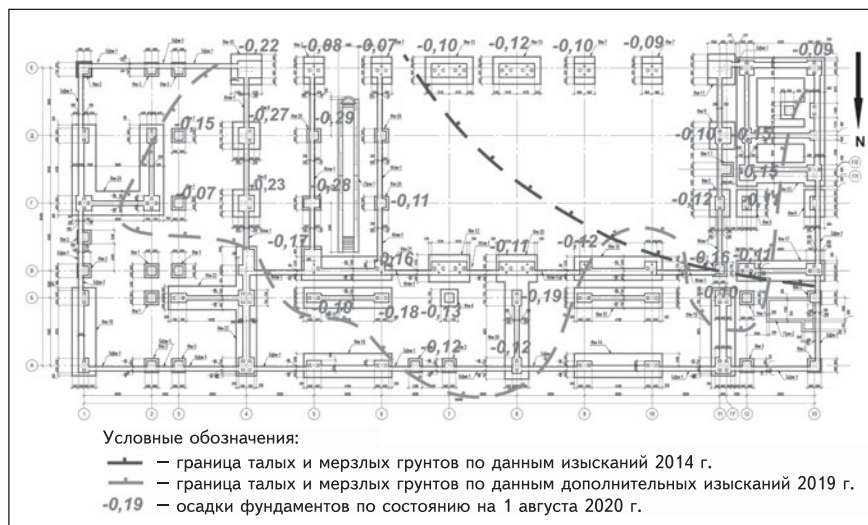
ловиях островного распространения многолетнемерзлых грунтов какой тип фундаментов будет наиболее надежным и экономически эффективным. В 60 % случаев это был свайный фундамент.

С середины 1990-х гг. до конца 2010-х гг. строительство в Магадане почти не велось. За это время практически полностью была утрачена местная проектная и производственно-техническая база.

Начавшееся в 2018 г. активное строительство зданий и сооружений на территории городского округа «город Магадан» (Магадан вместе с поселками Сокол и Уптар) показало, что опыт, накопленный в вопросах проектирования и строительства в Магадане, в настоящее время либо вообще не учитывается, либо учитывается частично, т. е. без учета специфики местных мерзлотно-грунтовых условий территории.

К сожалению, эта проблема возникает не только при строительстве зданий и сооружений в Магадане. В работе [1] сказано, что снижения аварийности мостовых сооружений можно достичь за счет повышения качества нормативной документации, проектных и строительно-монтажных работ, а также содержания мостовых сооружений. Особо подчеркивается, что сделать это можно лишь с учетом уже имеющегося опыта проектирования, строительства и эксплуатации, включая изучение причин произошедших аварий.

Исследования, проведенные в работе [2], показывают, что большинство геотехнических отказов связаны с ошибками, произошедшими как на стадии проектирования, так и в процессе строительства. В этом отношении интересны исследования А. В. Бояринцева [3], который в результате репрезентативного опроса среди практикующих специалистов в области фундаменто-



**Рис. 1. План фундаментов, зоны распространения мерзлых грунтов, величина осадки фундаментов аварийно-спасательной станции в аэропорту «Сокол»**

строения в условиях криолитозоны пришел к выводу, что в 73 % случаев причиной аварий при эксплуатации фундаментов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов является их деградация, а в 23 % этому способствовали ошибки при проектировании.

Цель работы — анализ проектных решений фундаментов зданий и сооружений, возводимых в настоящее время в Магадане, выяснение причин отказа проектировщиков от традиционных для города видов и типов фундаментов, показ последствий, к чему это приводит.

Анализ проектных решений был выполнен для фундаментов: столбчатых и ленточных; плитных; свайных.

### Обсуждение результатов

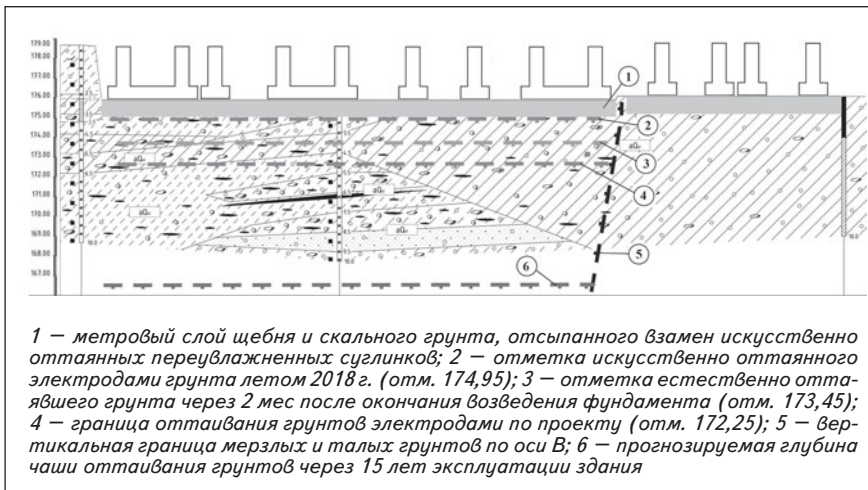
#### 1. Столбчатые и ленточные фундаменты

Проект аварийно-спасательной станции был разработан в 2016 г. Фундаменты были запроектированы на основании материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2014 г. Четыре разведочные скважины глубиной 10 м показали, что от поверхности до глуби-

ны 2–3,7 м разрез сложен техногенным грунтом. Ниже расположены вклинивающиеся друг в друга талые и мерзлые дресвяные полутвердые суглинки, дресвяные супеси пластичной и твердой консистенции с прослоями и линзами дресвяного грунта и песка средней крупности.

Площадка строительства находится на границе талых и мерзлых грунтов. Максимальная мощность ММГ составила 6,3 м и была ограничена глубиной разведочных скважин. Мерзлые грунты развиты в юго-западном углу площадки и сходят на нет в северном и восточном направлениях (рис. 1). Температура мерзлых грунтов:  $-0,2...-0,6$  °С.

Мощность сильнольдистых грунтов достигает 4,5 м. Эти грунты характеризуются наличием линз и прослоев льда толщиной от 5 до 8 см. Их суммарная льдистость достигает 40 %. Изыскателями прогнозировалось, что при растеплении этих грунтов возникнут неравномерные осадки до 20–40 см. Неравномерность осадков обусловлена как неопределенностью залегания самого мерзлого грунта в пределах площадки, так и отсутствием закономерности в расположении



**Рис. 2.** Инженерно-геологические условия по оси В здания аварийно-спасательной станции

линз и прослоев льда внутри мерзлого дресвяного суглинка.

Эти грунты (сильнольдистый мерзлый дресвяный суглинок) распространены на всей территории аэропорта в пос. Сокол. Невозможность их использования в качестве грунтов основания для столбчатых и ленточных фундаментов еще в 1960-х–1970-х гг. подтверждается деформациями пяти служебных зданий и сооружений в районе аэропорта «Сокол», возведенных на этих грунтах. Также из-за сверхнормативных неравномерных осадок в грунтах в конце 1980-х гг. пришло в неработоспособное состояние здание предыдущей аварийно-спасательной станции на плитном фундаменте.

Так какие же фундаменты выбрали проектировщики, опять столкнувшись с этими же грунтами в 2016 г. при проектировании нового здания аварийно-спасательной станции?

В окончательном варианте были приняты монолитные железобетонные столбчатые конструкции, запроектированные по II принципу использования многолетнемерзлых грунтов. Для колонн и монолитных балок по наружному контуру здания фундаменты выполнены в виде отдельно стоящих монолитных железобетонных конструкций.

Под внутренние стены из кирпича предусмотрен ленточный фундамент.

Для предотвращения негативного влияния льдистых грунтов до устройства фундаментов по проекту предполагалось оттаять мерзлый грунт на глубину 3,7 м от поверхности котлована с помощью электродов, на которые подавался трехфазный переменный электрический ток с одновременным отводом воды через те же электроды, а затем выполнить электроосмотическое уплотнение оттаявшего грунта постоянным электрическим током. Предполагалось, что после проведения этих работ массив грунта оттаит на 3,5 м и уплотнится на 0,2 м (рис. 2).

Строители смогли выполнить проектное решение по подготовке основания лишь частично. Оттаяв грунт на глубину 1 м, они обнаружили, что в этих глинистых грунтах сделать отвод воды посредством электродов и тем более электроосмотического осушения невозможно. Строители предложили заменить переувлажненный оттаянный грунт на скальные грунты. Проектировщики согласовали это предложение. Однако продолжающееся естественное оттаивание мерзлых грунтов через 2 мес после

окончания возведения фундамента вызвало неравномерные осадки, превышающие 15 см.

Рассмотрим, о чем свидетельствует опыт предпостроечного оттаивания грунтов в Магадане. В 1960-е гг. на него возлагались большие надежды, так как предполагалось, что с помощью этого метода подготовки просадочных после оттаивания мерзлых грунтов можно будет отказаться от устройства глубоких котлованов глубиной 10–15 м. Работы по предпостроечному оттаиванию в Магадане велись под руководством Т. А. Айды [4, 5]. Им было получено, что крупнообломочные грунты, распученные льдом, после оттаивания быстро самоуплотняются [6]. Что касается глинистых грунтов, то осадка оттаивания и консолидация в них растягивалась на месяцы и даже годы. Это, в свою очередь, вызывало большие перерывы в строительстве между предпостроечным оттаиванием грунтов и возведением фундаментов.

Еще в 1950-х гг. проводившиеся исследования во Всесоюзном научно-исследовательском институте золота и редких металлов (ВНИИ-1) показали, что обезвоживание магаданских глинистых и мелкоземистых оттаявших грунтов с помощью электроосмоса в полевых и лабораторных условиях не дает положительных результатов [7]. Оказалось, что проще удалить эти оттаявшие грунты, названные «пльвунами», чем дожидаться, когда они осушатся.

Выглядело бы очень странным, что проектировщики ничего не знали об истории строительства Магадана, случаях деформации зданий на территории аэропорта «Сокол», о ненадежности при оттаивании сильно льдистых мерзлых дресвяных суглинков. И они действительно знали об этом, так как в проекте заранее предупреждают о неизбеж-

ных неравномерных осадках фундаментов!

Но знать и принять правильное решение — не одно и то же. Проектировщики не стали оспаривать предложение ФАУ «Главгосэкспертиза России» о замене первоначально предложенного ими свайного фундамента на объекте аварийно-спасательной станции на столбчатый и ленточный. Если бы на объекте в качестве фундаментов были использованы сваи-стойки, прорезающие слой просадочного при оттаивании грунта, а также опирающиеся на непросадочное талое или даже мерзлое основание ниже прогнозируемой чаши оттаивания, то надежность фундамента можно было гарантировать.

О состоянии этого объекта в конце 2018 г. сообщалось в работе [8]. В настоящее время фундамент возведен, установлен металлический каркас здания, однако из-за продолжающегося оттаивания грунтов неравномерные осадки уже приблизились к 30 см. Строительство приостановлено.

Расчетами установлено, что на этом объекте, после полного оттаивания ледяных мерзлых дресвяных суглинков на всю их мощность, неравномерные осадки достигнут 70–80 см. Ни один из рассмотренных вариантов (использование теплоизоляции, проветриваемые продухи), кроме свайного, не дает гарантии безаварийной эксплуатации этого здания.

## 2. Плитный фундамент

Проект современного комплекса по обработке, обезвреживанию, утилизации и размещению отходов на территории городских округов Магаданской обл. был разработан в 2019 г. На полигоне будут располагаться 34 объекта (здания и сооружения).



**Рис. 3.** Схема расположения зданий и сооружений на территории комплекса по обработке, обезвреживанию, утилизации и размещению отходов относительно пригодных (1), частично пригодных (2) и непригодных (3) зон к строительству

Предварительные изыскания были выполнены в 2020 г. На их основании территория строительства была разделена на зоны: пригодные, частично пригодные и не пригодные для строительства (рис. 3).

**Зона 1** — удовлетворительные условия для строительства зданий и сооружений. Грунты на участке крупнообломочные не ледястые, выдержанные по мощности и простираю. Их можно использовать для строительства и эксплуатации по принципу II с допущением их оттаивания.

**Зона 2** — условно пригодные условия для строительства. Грунты на участке — мерзлые биогенные (торф) и тонкодисперсные разности (супеси, пески средней крупности), озерно-болотные, пучинистые. Территорию можно использовать по принципу I, либо по принципу II. Рекомендуемый тип фундамента для зданий — свайный.

**Зона 3** — непригодные условия для строительства зданий и сооружений.

При проектировании десяти строительных объектов (административно-бытовой комплекс, гараж для техники, операторская, блок очистных сооружений, производственный (мусоросортиро-

вочный) корпус, котельная, резервуары-регуляторы, резервуары для приема фильтрата, локальные очистные сооружения, пункт термического обезвреживания) попали в зону 2.

По проекту на этих объектах были приняты плитные фундаменты. Решение принять этот тип фундаментов вызывает большие сомнения, так как по данным скважины № 1 ледястость за счет ледяных включений песка средней крупности на глубинах взятия проб 6,3 и 9 м равна 0,059 и 0,053 д. е., а для гравелистого грунта скважины № 2 на глубинах взятия проб 4,9 и 7,7 м — 0,050 и 0,046 д. е.

Даже имея только эти данные, можно прогнозировать при 10-метровой чаше оттаивания неравномерные осадки под разными частями здания не менее 20 см. Кроме того, все здания на площади 220×120 м были запроектированы по данным всего двух скважин (№ 1 и 2), находящихся на расстоянии 200 м одна от другой, что в соответствии с требованиями п. 8.4. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» (ч. IV «Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов») для данной территории недопустимо.

Исходя из опыта строительства в условиях Магадана, а также выполнения требований ч. IV СП 11-105-97 проектной организации было рекомендовано выполнить дополнительные изыскания. Было пробурено 98 новых скважин из расчета не менее пяти скважин на одно здание или сооружение. Выполнен геокриологический прогноз. Исходя из полученных уточненных данных о мерзлотно-грунтовых условиях для каждого здания и сооруже-

ния в окончательном экспертном заключении по этому объекту в пункт «Предложения и рекомендации» было внесено следующее: «С целью безаварийной эксплуатации зданий административно-бытового корпуса, производственного (мусоросортировочного) корпуса, гаража для техники, пункта термического обезвреживания рекомендуется плитный фундамент, принятый в проекте, заменить на свайный».

В повторной экспертизе проектных решений фундаментов организация СВНИМС ИМЗ СО РАН уже не участвовала. Поэтому приняли наши предложения проектировщики или нет — неизвестно. Теперь будем ждать начала строительства. Если через какое-то время строители обратятся к нам по поводу начавшихся на этом объекте деформаций зданий, то это будет значить, что в проект изменения внесены не были.

К сожалению, применение плитного фундамента в Магадане для грунтов, просадочных при оттаивании, имеет скорее отрицательный опыт использования, нежели положительный. О судьбе здания аварийно-спасательной станции, возведенной на плитном фундаменте, уже упоминалось ранее. Также неравномерные осадки плитного фундамента были отмечены у здания Дома Советов, учебного корпуса профтехучилища (ул. Гагарина), у двух жилых 5-этажных домов (Колымское ш.).

Первые два здания после усиления фундаментов удалось оставить в эксплуатации, а вот жилые дома подверглись таким сильным деформациям, что были признаны аварийными и в дальнейшем разобраны. Причина неравномерных осадков, вызвавших деформацию всех этих зданий, — протаивание сильнольдистых



**Рис. 4.** Подготовка грунтов основания под плитную часть плитно-свайного фундамента при строительстве физкультурно-оздоровительного комплекса с плавательным бассейном в Магадане

грунтов основания плитных фундаментов. Интенсивность протаивания ускорялась под действием поверхностных и грунтовых вод, а также частичных утечек из теплопроводно-канализационных коммуникаций. По мнению специалистов, занимавшихся изучением причин деформации этих зданий, плитный фундамент на территории Магадана не может являться надежным, если в качестве грунтов основания фундаментов приняты распученные льдом глинистые или гравийно-галечниковые грунты с супесчаным заполнителем.

### 3. Свайные фундаменты

Здания со свайными фундаментами рассмотрены на примере физкультурно-оздоровительного комплекса с плавательным бассейном (ул. Октябрьская) и детского сада на 135 мест в третьем мкр Магадана.

Преыдущие примеры фундаментов ясно показывают, что наилучшими в сложных мерзлотно-грунтовых условиях являются свайные фундаменты. Действительно, они могут прорезать слабые или просадочные при оттаивании грунты и опираться на прочное непросадочное основание. Вот только свайные фундаменты в Магадане проектировались с учетом одной особенности.

Известно, что в Магадане грун-

ты обладают особыми свойствами. Они имеют признаки литифицированности, т. е. являются грунтами, существенно изменившимися под действием многократного оттаивания и промерзания при проявлении сейсмике. Эта особенность грунтов была отмечена еще в 1970-х гг. [9], когда на большинстве строящихся объектов было выявлено, что фактическая несущая способность свай, полученная в результате статических испытаний,

в несколько раз превышает расчетную, определенную по СНиП II-Б. 5-67\* «Свайные фундаменты». Нормы проектирования».

Статистическая обработка более чем 3000 данных статических испытаний свай в Магадане показала, что фактические расчетные сопротивления под нижним концом комбинированных (набивных) свай для песчаных и глинистых грунтов на глубинах 5—15 м в среднем в 3,6 раза превышают данные, представленные в действующих в 1960—1990 гг. СНиП II-Б. 5-67\* [10], а в настоящее время СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты». Для буронабивных свай эта разница достигает 1,5 раза.

Таким образом, длина свай, найденная по СНиП II-Б. 5-67\* или СП 24.13330, для грунтов Магадана всегда будет больше длины, определенной по региональному ВСН 110-010-87 (Инструкция по проектированию и устройству свайных фундаментов в талых и оттаивающих грунтах Магаданской обл.). Чтобы не вступать в противоречие с действующим законодательством, проектировщики в 1980—1990 гг. на предварительном этапе расчетов несущую способность свай и их длину определяли по ВСН 110-010-87, но официальный расчет делался по



Рис. 5. Свайное поле детского сада в третьем мкр Магадана

результатам предпостроечных статических испытаний свай. Как правило, большой разницы между расчетами, выполненными по ВСН 110-010-87, и предпостроечными испытаниями не было.

Технико-экономические расчеты показали, что проектирование свайных фундаментов в Магадане в период 1975–1990 гг. на основании данных предпостроечных статических испытаний свай позволяло экономить в среднем 100 млн р. в год (в ценах 2019 г.). Такая же высокая эффективность проектирования фундаментов на основании предпостроечных испытаний свай сохраняется и сейчас [11], составляя около 10 млн р. для типового 5-этажного жилого дома с четырьмя подъездами. О том, что испытания свай не утратили своей актуальности, свидетельствуют многочисленные современные российские и зарубежные публикации, посвященные методике проведения испытаний свай, проектированию на их основании новых конструкций свайного фундамента [12–15], а также предпостроечным [16] и контрольным испытаниям свай [17, 18].

Можно с высокой степенью вероятности прогнозировать, что статические испытания свай вдавливающей

нагрузкой с использованием принципов волновой теории удара (метод PDA-испытаний) в ближайшее время полностью вытеснят (кроме особо ответственных объектов) классические статические испытания свай с помощью загрузочной платформы или анкерных свай [19, 20].

Применение метода PDA-испытаний показало его высокую эффективность и на объектах Магадана. Так, в начале возведения свайного фундамента физкультурно-оздоровительного комплекса с плавательным бассейном статические испытания свай вдавливающей нагрузкой с применением принципов волновой теории удара оперативно выявили, что используемые по проекту грунты в основании свайных фундаментов (суглинки талые с показателем текучести от 0 до 1) не могут под всем зданием обеспечить восприятие проектных нагрузок, даже если длина свай будет более 15 м. В этих условиях нужно либо увеличить количество свай на объекте, либо запроектировать плитно-свайный фундамент (рис. 4). Окончательно был принят второй вариант.

Что касается детского сада, то там предпостроечные статические испытания свайного фундамента, грунтами основания кото-

рого являлись в основном гравийные и галечниковые грунты с песком различной крупности, водонасыщенные, а местами талые суглинки и пылеватые пески, проведены не были. Проектирование фундаментов было выполнено на основании данных инженерно-геологических изысканий, а параметры забивки свай корректировались по результатам динамических испытаний свай.

Однако из-за того, что проектные 9-метровые сваи уже в полном объеме были приобретены подрядчиком и завезены на объект, внести существенные изменения в параметры забивки по длине свай не представлялось возможным. Не добытые в грунт сваи на строительной площадке и срубленные оголовки свай длиной 1,5–2,5 м свидетельствуют о неправильно подобранной длине свай из-за более высокого фактического сопротивления грунта под острием свай, чем это было выбрано в проекте (рис. 5).

После завершения работ по устройству свайного фундамента проводились статические испытания восьми свай вдавливающей нагрузкой с использованием принципов волновой теории удара. Было получено, что средняя расчетная предельная нагрузка на сваи по результатам испытаний превышает проектную нагрузку на сваи почти на 30 %. Фактически на объекте, за единичными исключениями, можно было обойтись 6-метровыми, в крайнем случае, 8-метровыми сваями.

### Вывод

В 2022–2023 гг. в Магадане планируется строительство нового жилого микрорайона за р. Магаданкой на территории «Горохового поля». Из-за крайне неблагоприятных для строительства мерзлотно-грунтовых и гидрологических условий проектировщики не решались вести на нем массовую застройку начиная с

1950-х гг., а одиночные попытки строительства постоянно терпели неудачу. Нет никаких сомнений в том, что для любых грунтовых условий можно подобрать надежные конструкции фундаментов, и лучше это делать до начала

строительства на опытном полигоне в реальных грунтовых условиях. Но даже в этом случае, как видно из проведенного в статье анализа, оптимальными по стоимости и надежности могут быть только те конструкции, проекти-

рование которых основывается как на современных технологиях и передовых достижениях науки, так и на многолетнем опыте строительства на данной территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Майстренко И. Ю., Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Кокодеев А. В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2017. № 4. Т. 4. URL: <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf> (дата обращения: 21.07.2021).
2. Agaiby S. W., Salem A. M., Ahmed S. M. The first William Selim Hanna honor lecture from failure to success: lessons from geotechnical failures [Первая почетная лекция Селима Ханны «от неудачи к успеху»: уроки геотехнических неудач] // Innovative Infrastructure Solutions. 2017. Vol. 2. Iss. 1. P. 35.
3. Бояринцев А. В. Репрезентативный анализ опыта строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах // Вестник ПНИПУ. 2019. № 1. Т. 10. С. 57–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.06.
4. Айдла Т. А. Опыт восстановления здания путем искусственной оттайки грунтов основания // Труды ВНИИ-1. Т. XIX. Магадан : ВНИИ-1, 1961. Вып. 19. С. 90–98.
5. Айдла Т. А. К освоению метода предпостроечного оттаивания грунтов основания // Труды ВНИИ-1. Т. XXII. Магадан : ВНИИ-1, 1963. С. 64–103.
6. Ведерников Л. Е. Некоторые итоги исследований в области инженерного мерзлотоведения Северо-Востока СССР. Труды ВНИИ-1. Т. XXIII. Магадан : ВНИИ-1, 1963. С. 389–407.
7. Калабин А. И. Проблемы мерзлотоведения в связи с освоением Северо-Востока // Сб. Дальстрой. Магадан : Магаданское книжное издательство, 1956. С. 100–136.
8. Гулый С. А. Современное строительство на оттаивающих вечномерзлых грунтах в г. Магадане – повторение ошибок проектирования 60-летней давности // Современные технологии проектирования и строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Москва, 14–15 ноября 2018 г.). М. : ООО «МАФ». С. 5–9.
9. Конаш В. Е. Свайные фундаменты в условиях островного распространения вечномерзлых грунтов (на примере Магадана). Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отд-е, 1977. 135 с.
10. Vlasov V. P. Engineering and geocryological peculiarities of using pile foundations in Magadan area [Инженерно-геокриологические особенности применения свайных фундаментов в Магаданской обл.] // Permafrost Sixth International Conference Proceedings. Published by South China University of Technology Press, 1993. Vol. 1. Pp. 951–954.
11. Гулый С. А. Снижение стоимости фундаментов в г. Магадане за счет предпостроечных статических испытаний свай // Жилищное строительство. 2019. № 9. С. 37–42.
12. Буланкин Н. Ф., Козаков Ю. Н. Опыт применения свай в просадочных грунтах Красноярска // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2014. № 2. С. 25–28.
13. He B., Wang L., Hong Y. Field testing of one-way and two-way cyclic lateral responses of single and jet-grouting reinforced piles in soft clay [Полевые испытания на боковую реакцию односторонними и двусторонними циклами одиночных и армированных струйно-цементных свай в мягкой глине] // Acta Geotech. 2017. Vol. 12. Pp. 1021–1034. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-016-0515-z>.
14. Gandhi S. R. Observations on pile design and construction practices in India [Результаты научных наблюдений за проектированием свайных фундаментов и их практическим конструированием в Индии] // Indian Geotech Journal. 2016. Vol. 46. Pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40098-015-0171-5>.
15. Ладыженский И. Г., Сергиенко А. В. Опыт проектирования свайных и свайно-плитных фундаментов на участке 16 ММДЦ «Москва-Сити» // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 46–54.
16. Haque M. N., Abu-Farsakh M. Y. Development of analytical models to estimate the increase in pile capacity with time (pile setup) from soil properties [Разработка аналитических моделей для оценки увеличения несущей способности свай со временем (установка свай) на основе свойств грунта] // Acta Geotech. 2019. Vol. 14. Pp. 881–905.
17. Жусупбеков А. Ж., Лукпанов Р. Е., Омаров А. Р. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 4. С. 19–22.
18. Жусупбеков А. Ж., Чанг Д.-В., Утепов Е., Борбекова К., Омаров А. Оценка несущей способности забивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. № 2. С. 26.
19. Моаеди Х., Мосалланежад М., Назир Р. Оценка статических (MLT) и динамических (PDA) методов испытаний при определении несущей способности забивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 3. С. 9–13.
20. Оффрихтер Я. В., Пономарев А. Б. Использование волновой теории удара для определения несущей способности свай // Вестник ПНИПУ. 2019. № 3. Т. 10. С. 35–43. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.04.

## REFERENCES

1. Majstrenko I. Yu., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Kokodeev A. V. Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. *Internet-zhurnal "Transportnye sooruzheniya"*, 2017, no. 4, vol. 4. Available at: <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf> (accessed 21.07.2021). (In Russian).
2. Agaiyby S. W., Salem A. M., Ahmed S. M. The first William Selim Hanna honor lecture from failure to success: lessons from geotechnical failures. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2017, vol. 2, iss. 1, p. 35.
3. Boyarincev A. V. Representational analysis of the experience of building foundations on frozen soils. *Vestnik PNIPU*, 2019, no. 1, vol. 10, pp. 57–68. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.06.
4. Ajdla T. A. Experience in restoring a building by artificial thawing of base soils. *Trudy VNI-1*, vol. XIX. Magadan, VNI-1 Publ., 1961. Iss. 19, pp. 90–98. (In Russian).
5. Ajdla T. A. Mastering the method of thawing soil before starting construction. *Trudy VNI-1*, vol. XXII. Magadan, VNI-1 Publ., 1963, pp. 64–103. (In Russian).
6. Vedernikov L. E. Some results of research in the field of engineering permafrost in the North-East of the USSR. *Trudy VNI-1*, vol. XXIII. Magadan, VNI-1 Publ., 1963, pp. 389–407. (In Russian).
7. Kalabin A. I. Permafrost problems in the mastering of the North-East. *Sbornik Dal'stoy*. Magadan, Magadanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1956. Pp. 100–136. (In Russian).
8. Gulyy S. A. Modern construction of foundation on thawing permafrost in Magadan – a repetition of 60-year-old mistakes. Modern technologies of design and construction of foundations on permafrost soils. *Collection of reports of the International scientific and technical conference (Moscow, November 14–15, 2018)*. Moscow, MAF Publ., pp. 5–9. (In Russian).
9. Konash V. E. *Svajnye fundamenty v usloviyah ostrovnogo rasprostraneniya vechnomerzlykh gruntov (na primere Magadana)* [Pile foundations in the conditions of the island distribution of permafrost (by the example of Magadan)]. Leningrad, Strojizdat, Leningradskoe otd-e Publ., 1977. 135 p. (In Russian).
10. Vlasov V. P. Engineering and geocryological peculiarities of using pile foundations in Magadan area. *Permafrost Sixth International Conference Proceed-*  
*ings. Published by South China University of Technology Press, 1993, vol. 1, pp. 951–954.*
11. Gulyy S. A. Reduction in the cost of foundations in the city of Magadan due to pre-construction static tests of piles. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2019, no. 9, pp. 37–42. (In Russian).
12. Bulankin N. F., Kozakov Yu. N. Use of piles in soils prone to slump-type settlement in the city of Krasnoyarsk. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2014, no. 2, pp. 25–28. (In Russian).
13. He B., Wang L., Hong Y. Field testing of one-way and two-way cyclic lateral responses of single and jet-grouting reinforced piles in soft clay. *Acta Geotech*, 2017, vol. 12, pp. 1021–1034. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-016-0515-z>.
14. Gandhi S. R. Observations on pile design and construction practices in India. *Indian Geotech Journal*, 2016, vol. 46, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40098-015-0171-5>.
15. Ladyzhenskiy I. G., Sergienko A. V. Experience in design of pile and raft-pile foundations on the plot 16 of MIBC "Moscow-City". *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2016, no. 10, pp. 46–54. (In Russian).
16. Haque M. N., Abu-Farsakh M. Y. Development of analytical models to estimate the increase in pile capacity with time (pile setup) from soil properties. *Acta Geotech*, 2019, vol. 14, pp. 881–905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11440-018-0654-5>.
17. Zhusupbekov A. Zh., Lukpanov R. E., Omarov A. R. Experience in applying pile static testing methods at the EXPO 2017 construction site. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2016, no. 4, pp. 19–22. (In Russian).
18. Zhusupbekov A. Zh., Chang D.-V., Utepov E., Borbekova K., Omarov A. Estimating the driven pile capacities. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2019, no. 2, pp. 26. (In Russian).
19. Moaedi H., Mosallanezhad M., Nazir R. Evaluation of maintained load test (MLT) and pile driving analyzer (PDA) in measuring bearing capacity of driven piles. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2017, no. 3, pp. 9–13. (In Russian).
20. Ofrihter Ya. V., Ponomarev A. B. Using the stress-wave theory to determine the bearing capacity of piles. *Vestnik PNIPU*, 2019, no. 3, vol. 10, pp. 35–43. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.04.

Для цитирования: Гулый С. А. Проектные решения фундаментов в условиях островного распространения многолетнемерзлых грунтов Магадана // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 33–40. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.33-40.

For citation: Gulyy S. A. Design Solutions of Foundations in the Conditions of Island Distribution of Permafrost Soils of Magadan. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 33–40. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.33-40. ■

# Волновая теория удара для контроля процесса погружения забивных свай

**Кирилл Александрович ФИЛИППОВ**<sup>1</sup>, ведущий конструктор, e-mail: 4155599@gmail.com

**Алексей Андреевич ЧУРКИН**<sup>2</sup>, кандидат технических наук, зам. заведующего лабораторией свайных фундаментов, e-mail: chaa92@mail.ru

**Алина Владимировна ГАВРЮТИНА**<sup>3</sup>, начальник лаборатории, e-mail: piles@aigeos.ru

**Александр Алексеевич МУХИН**<sup>3</sup>, технический директор

<sup>1</sup> АО «53 Центральный проектный институт», 129085 Москва, просп. Мира, 101Д, стр. 2

<sup>2</sup> НИИОСП им. Н. М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, Рязанский просп., 59

<sup>3</sup> ООО «Интергео», 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8, стр. 3

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы применения волновой теории удара для мониторинга процесса погружения забивных свай. Цель работы – анализ возможностей метода, основанного на принципах волновой теории удара, применительно к процессу устройства фундамента с использованием забивных свай. В задачи работы входило: проведение мониторинга процесса погружения свай в ходе натурных исследований для подтверждения ответственности их несущей способности проектным значениям, выявление возможностей для оптимизации конструкции и определение повреждения сваи в ходе забивки. Работы на двух объектах выполнялись с помощью аппаратного комплекса производства США, для обработки данных использовались кейс- и бета-методы. Мониторинг процесса погружения свай на первом объекте демонстрирует резкое возрастание сопротивления погружению свай при их заглублении в несущий слой плотного песка, фактическая несущая способность почти вдвое превосходит проектное значение. Несущая способность сваи меньшей глины по результатам мониторинга также подтверждена статическими испытаниями одной из свай. Результаты мониторинга процесса погружения свай на первом объекте позволяют заключить, что метод, использующий принципы волновой теории удара, может успешно применяться для мониторинга процесса погружения забивных свай. Кроме того, полученные данные об изменении несущей способности сваи в зависимости от глубины ее погружения позволяют корректировать проектные решения для повышения их надежности и экономической эффективности. По результатам испытаний забивной составной сваи на втором объекте было выявлено ее разрушение, произошедшее в процессе забивки. Косвенным подтверждением этому служат данные журнала забивки свай. Успешно выявленное разрушение сваи на втором объекте подтверждает перспективность применения бета-метода для оперативного получения информации о возникающих в ходе погружения сваи дефектах. При качественном выполнении сварного соединения составной забивной сваи в месте стыка не наблюдается явлений, влияющих на результат применения бета-метода для выявления повреждения сваи.

**Ключевые слова:** забивные сваи, испытания свай с применением волновой теории удара, PDA-испытания, контроль сплошности, бета-метод.

## HIGH STRAIN DYNAMIC TESTING FOR THE CONTROL OF THE PROCESS OF IMMERSION OF DRIVEN PILES

**Kirill A. FILIPPOV**<sup>1</sup>, e-mail: 4155599@gmail.com

**Aleksei A. CHURKIN**<sup>2</sup>, e-mail: chaa92@mail.ru

**Alina V. GAVRYUTINA**<sup>3</sup>, e-mail: piles@aigeos.ru

**Alexander A. MUKHIN**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 53 Central Design Institute, prospekt Mira, 8, str. 2, Moscow 129085, Russian Federation

<sup>2</sup> Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP) named after N. M. Gersevanov, Research Center of Construction, Ryazanskiy prospekt, 59, Moscow 109428, Russian Federation

<sup>3</sup> Interaigeo, ul. Mikluho-Maklaya, 8, str. 3, Moscow 117198, Russian Federation

**Abstract.** The issues of the application of the high strain dynamic testing for monitoring the process of immersion of driven piles are considered. The purpose of the work is to analyze the possibilities of the method based on the principles of the wave theory of impact, as applied to the process of foundation construction using driven piles. The tasks of the work included: monitoring the process of immersing piles during field studies to confirm that their bearing capacity corresponds to the design values, identifying opportunities for optimizing the design and determining damage to the pile during driving. Work on two objects was carried out using a hardware complex manufactured in the United States, case and beta methods were used for data processing. Monitoring of the pile driving process at the first object demonstrates a sharp increase in the resistance to driving of piles when they are buried in a load-bearing layer of dense sand, the actual bearing capacity is almost twice the design value. The bearing capacity of a pile of shorter length according to the monitoring results was also confirmed by static tests of one of the piles. The results of monitoring the

*process of sinking piles at the first object make it possible to conclude that the method using the principles of the high strain dynamic testing can be successfully used to monitor the process of immersing driven piles. In addition, the obtained data on the change in the bearing capacity of the pile depending on the depth of its immersion make it possible to adjust design solutions to increase their reliability and economic efficiency. According to the results of tests of the driven composite pile at the second object, its destruction was revealed, which occurred during the driving process. An indirect confirmation of this is the data from the pile driving log. Successfully detected destruction of the pile at the second object indicates the prospects of using the beta method for promptly obtaining information about the defects arising during the pile driving. When performing a high-quality welded joint of a composite driven pile at the junction, there are no phenomena that affect the result of using the beta method to detect damage to the pile.*

**Key words:** driven piles, high strain dynamic testing of piles, PDA testing, integrity testing, beta method.

## Введение

Забивные железобетонные сваи широко распространены в практике современного строительства. Этому способствует сравнительно низкая стоимость свай и высокая скорость производства работ по их погружению. Технологии и оборудование для погружения свай непрерывно совершенствуются. Современные сваевдавливательные машины и копровые установки обеспечивают погружение до 40 свай и более в смену, а их общее количество в пределах одной площадки может достигать многих тысяч.

Как и в других областях строительства, решающее значение в свайных работах имеют вопросы надежности и экономической эффективности, которые в значительной степени определяются качеством проектных решений.

Одна из основных проблем проектирования свайных фундаментов состоит в правильной оценке несущей способности свай. Расчет несущей способности по СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» (изменения № 1–3) не всегда дает удовлетворительный результат, поэтому правила производства работ, приведенные в СП 45.13330.2011 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты» (изменения № 1, 2), требуют контроля фактической несущей способности свай, который состоит в сравнении фактического отказа с расчетным. Расчетный отказ определяется по формуле, основанной на решении Н. М. Герсегова

[1] для данных сваи и молота. Если в процессе погружения фактический отказ превышает расчетный, то свая подвергается испытанию при контрольной добивке после отдыха в соответствии с положениями ГОСТ 5686–2020 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями».

Такой подход позволяет качественно оценивать изменение сопротивления грунтов погружению сваи и выявлять его значительное отклонение от проектного, однако для количественной оценки несущей способности точности методики недостаточно. Причина этого лежит в допущениях, положенных в основу решения задачи о забивке свай с точки зрения классической механики, а также связанных с учетом потерь энергии на деформации оголовка и отсутствием учета динамической составляющей сопротивления грунтов [2].

Еще одним недостатком подхода можно назвать отсутствие возможности получить информацию о причинах снижения сопротивления вмещающих грунтов вдавлению сваи по отношению к проектному значению. Подобное снижение может быть обусловлено следующими причинами: характеристики грунтов отличаются от принятых в расчете при проектировании; наблюдается явление «ложного отказа», вызванного тиксотропными свойствами глинистых грунтов [3, 4]; в процессе забивки возникло повреждение сваи. Контрольная добивка после отдыха решает вопрос «ложного отказа», но не

позволяет сделать однозначный выбор между оставшимися причинами. Для установления повреждения сваи можно использовать сейсмоакустический метод контроля сплошности [5] или прямой метод контроля, например, извлечение сваи (техническая сложность и экономическая нецелесообразность подобных операций, как правило, приводит к отказу от них).

В зарубежной практике для решения широкого спектра задач, связанных с устройством свайных фундаментов, применяют метод динамических испытаний свай PDA (Pile Driving Analyzer), основанный на волновой теории удара [2, 6–11]. Этот метод подходит как для контрольных испытаний свай после «отдыха», так и на начальном этапе устройства свайного поля с целью уточнения необходимой и достаточной глубины погружения, оптимального сечения сваи, подбора наиболее эффективного для данной площадки сваебойного оборудования, обеспечивающего максимальную производительность при гарантированной целостности свай в процессе погружения.

В данной статье приведены примеры PDA-мониторинга процесса забивки свай, а также сравнение результатов их контрольных испытаний методом PDA и статической нагрузкой по ГОСТ 5686. Кроме того, рассмотрен случай поломки и ее влияния на результаты испытаний PDA. В статье использованы материалы полевых испытаний свай, представленные ООО «Интерэгео».

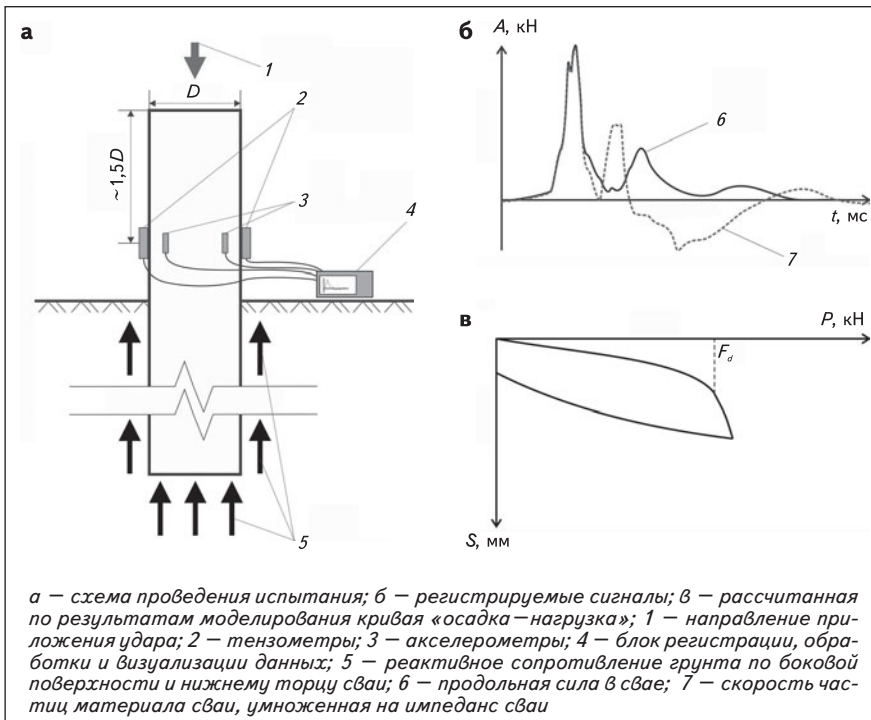


Рис. 1. Испытания свай на вдавливающую нагрузку методом, использующим принципы волновой теории удара [2]

### Материалы и методы

Методика проведения испытаний с применением волновой теории удара (PDA, PDR, HSDT и др.) основана на регистрации силовых и скоростных параметров отклика сваи на наносимый удар с помощью закрепленных в области верхнего торца сваи датчиков — тензометров и акселерометров (рис. 1а). Зарегистрированные кривые изменения деформации и ускорения частиц оголовка сваи пересчитываются в графики изменения напряжения и скорости, которые служат для оценки сопротивления сваи динамическому воздействию (рис. 1б). С использованием специализированных программных комплексов подбирают параметры сопротивления вмещающих грунтов и строят кривую «осадка—нагрузка» (рис. 1в), выполняют переход от динамического сопротивления к статическому [2].

Для измерений применялся аппаратный комплекс Pile Drive-

ing Analyzer (PDA-8G, Pile Dynamics Inc.), который включает в себя электронный блок с графическим дисплеем для визуализации и предварительной обработки данных, набор датчиков для измерения ускорения, деформации и соединительные кабели (рис. 2).

Несущая способность свай в ходе мониторинга определялась с помощью кейс-метода (Case Method) [11], теоретические основы которого приведены в [2]. В основу метода положено решение Сен-Венана для дифференциального уравнения продольного упругого удара применительно к стержню постоянного сечения:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $u$  — перемещение точки стержня, имеющей координату  $x$  по оси, которая совпадает с осью стержня, в рассматриваемый момент времени  $t$  от динамического воздействия;  $\rho$  и  $E$  — соответственно плотность и модуль упругости материала сваи.



Рис. 2. Комплект оборудования Pile Driving Analyzer (PDA-8G) и процесс установки датчиков при проведении испытаний

Кейс-метод позволяет по измеренным параметрам упругих волн установить сопротивление сваи вдавливанию статической нагрузкой:

$$R_{st} = R_t - R_d, \quad (2)$$

где  $R_t$  — полное сопротивление сваи вдавливающей нагрузке, включающее статическую и динамическую составляющие;  $R_d$  — динамическая составляющая сопротивления сваи.

Полное сопротивление сваи определяется по формуле

$$R_t = \frac{F_{t1} + F_{t2}}{2} + \frac{Z(v_{t1} - v_{t2})}{2}, \quad (3)$$

где  $v_{t1}$  и  $F_{t1}$  — скорость и продольная сила, измеренные вблизи оголовка сваи в момент времени  $t_1$ , когда волна от ударной нагрузки  $F$  доходит до датчиков;  $v_{t2}$  и  $F_{t2}$  — то же, в момент времени  $t_2 = t_1 + 2L/c$  ( $L$  — участок сваи от места расположения датчиков до острия,  $c$  — скорость распространения механических волн в продольном направлении сваи), когда до датчиков доходит отраженная волна.

Динамическая составляющая сопротивления сваи равна:

$$R_d = J_v v_b, \quad (4)$$

где  $J_v$  — коэффициент демпфирования;  $v_b$  — скорость нижнего конца сваи, которую вычисляют согласно зависимости

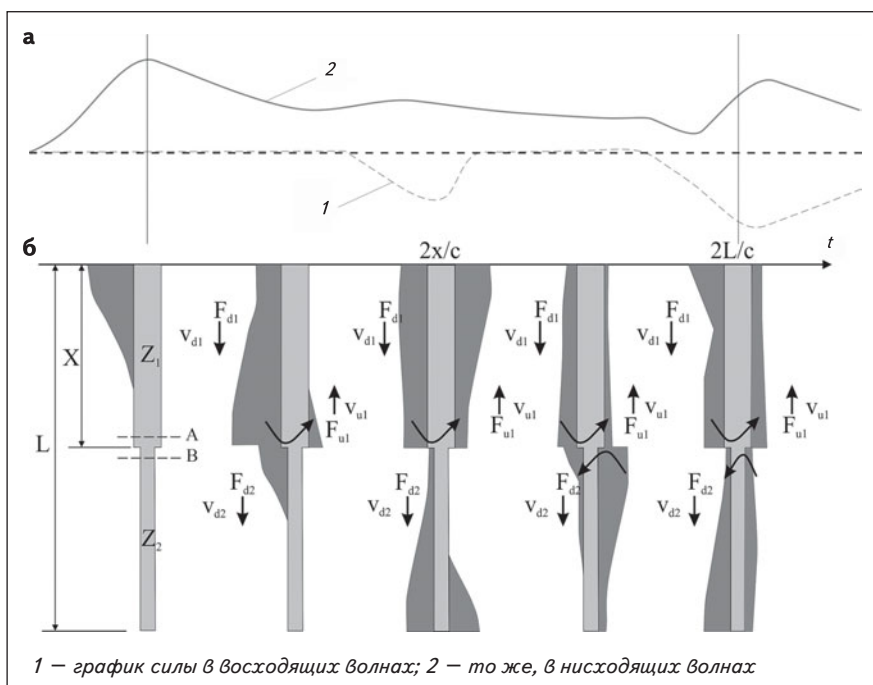


Рис. 3. Графики данных (а), измеренных вблизи верхнего торца сваи, совмещенные с графическим представлением распространения волн от удара и их отражения от дефекта (б)

$$v_b = \frac{2 \left( \frac{F_{t1} + v_{t1}Z}{2} \right) - R_t}{Z}, \quad (5)$$

где  $Z = EA/c$  – импеданс сваи ( $E$  – модуль упругости материала сваи,  $A$  – площадь сечения сваи,  $c$  – приведена в экспликации к формуле (3)).

При выявлении повреждения сваи использовали бета-метод (Beta Method), рассмотренный в [12] и более подробно в поздних работах [13–17]. Метод основан на известных закономерностях поведения плоской продольной волны в стержне с дефектом сечения [18].

Изложение теории метода, приведенное в данной статье, базируется на материалах технического руководства к комплексу PDA-8G [7].

Рассмотрим стержень переменного сечения (рис. 3): верхняя часть стержня до сечения  $A$  обладает импедансом  $Z_1$ , нижняя часть после сечения  $B$  – импедансом  $Z_2$ , причем  $Z_1 > Z_2$ .

При достижении нисходящей волной от удара по верхнему тор-

цу стержня  $F_{d1}$  участка  $A-B$  произойдет ее частичное отражение в виде восходящей волны растяжения  $F_{u1}$ , эффект от которой будет заметен у верхнего торца стержня спустя время  $2x/c$  с момента удара. При этом нисходящая волна сжатия уменьшенной интенсивности  $F_{d2}$  продолжит свое движение вниз по стволу сваи. Для соблюдения условия равновесия должно выполняться равенство

$$F_{d1} + F_{u1} = F_{d2}. \quad (6)$$

Из условия неразрывности следует, что скорости в волнах, проходящих через сечения  $A$  и  $B$ , должны удовлетворять соотношению

$$v_{d1} + v_{u1} = v_{d2}, \quad (7)$$

где  $v_{d1}$  – скорость частиц в нисходящей ударной волне;  $v_{u1}$  – скорость частиц в восходящей волне, отраженной от переходной зоны  $A-B$ ;  $v_{d2}$  – скорость частиц в нисходящей волне уменьшенной интенсивности.

Учитывая условия пропорциональности между силой и скоростью в ударной волне [7], уравнение (7) можно записать в виде:

$$\frac{F_{d1}}{Z_1} - \frac{F_{u1}}{Z_1} = \frac{F_{d2}}{Z_2}. \quad (8)$$

Выразим изменение импеданса сваи через коэффициент  $\beta$ :

$$\beta = Z_2/Z_1. \quad (9)$$

В случае сваи постоянного сечения без повреждений  $\beta = 1$ , для полностью разрушенной сваи  $\beta = 0$ . Преобразуем выражение (8) с учетом введенного коэффициента:

$$F_{d2} = \beta(F_{d1} - F_{u1}), \quad (10)$$

получим:

$$\beta = \frac{F_{d1} + F_{u1}}{F_{d1} - F_{u1}}. \quad (11)$$

Данное выражение справедливо для свободного стержня, в случае сваи требуется дополнительно учесть влияние сопротивления по боковой поверхности, снижающего интенсивность регистрируемых волн:

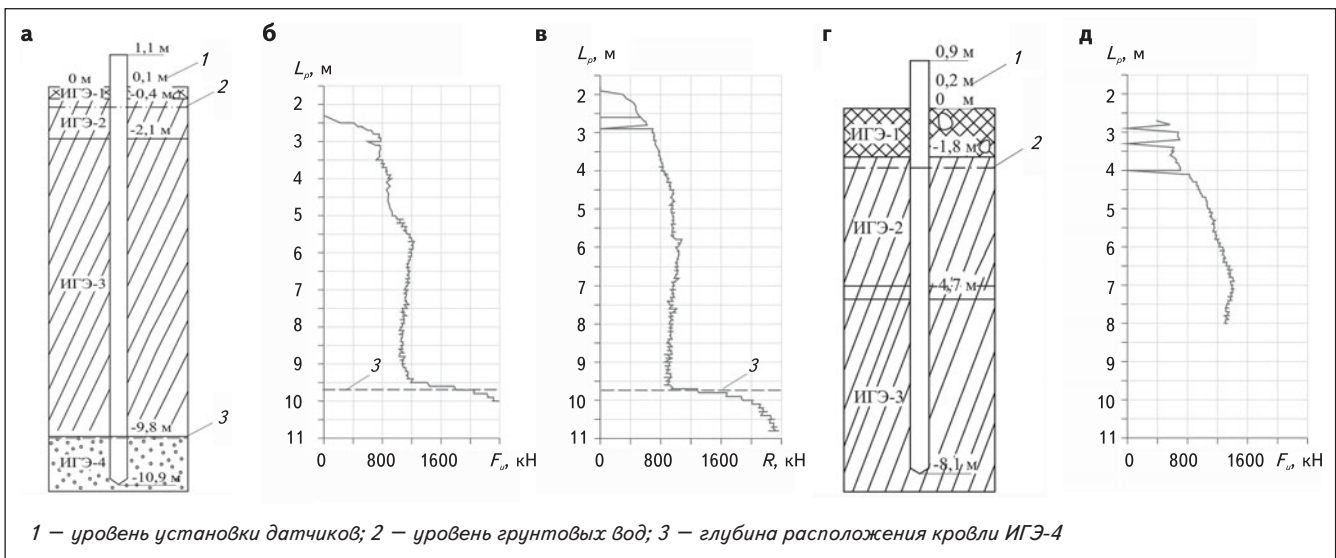
$$\beta = \frac{F_{d1} - 1,5R_x + F_{u1}}{F_{d1} - 0,5R_x - F_{u1}}, \quad (12)$$

где  $R_x$  – сопротивление сваи на участке от верхнего торца сваи до предполагаемого места изменения сечения.

Для выявления повреждения сваи, по полученному значению коэффициента  $\beta$ , используется классификация, предложенная в работе [12]:

- $\beta = 1$  – повреждения отсутствуют;
- $0,8 < \beta < 1$  – свая повреждена незначительно;
- $0,6 < \beta < 0,8$  – свая повреждена значительно;
- $\beta < 0,6$  – свая сломана.

Значения  $F_{d1}$ ,  $F_{u1}$ ,  $R_x$  устанавливаются по графикам изменения силы и скорости или по графикам силы в нисходящих и восходящих волнах.  $F_{d1}$  соответствует первому пику графика силы в нисходящей волне,  $F_{u1}$  – первому минимуму в восходящей волне растяжения,  $R_x$  – удвоенной величине первого максимума силы в восходящей волне сжатия (так



**Рис. 4.** Инженерно-геологические условия площадки строительства для свай № 69, 70 (а) и 33 (г), графики зависимости предельного сопротивления свай статической вдавливающей нагрузке в зависимости от глубины их погружения (сваи № 69 – б; № 70 – в; № 33 – д)

как восходящая волна от действия сопротивления по боковой поверхности равна половине амплитуды действующей силы).

Следует отметить, что данный подход к определению  $R_x$  связан с рядом допущений, занижающих его значение:

- величина сопротивления принимается по пику первого максимума силы в восходящей волне сжатия, хотя корректнее находить ее по максимальному значению, полученному при экстраполяции графика до предполагаемого места дефекта;
- в число факторов, которые не учитываются, входят: эффект демпфирования; влияние микротрещин в бетоне; реакция грунта, возникающая при полном разрушении сваи; возможность отражения волны сжатия от нижней границы поврежденного участка в случае, если этот участок не превышает длину волны.

Приведенные допущения могут занижать коэффициент  $\beta$ , поэтому следует учитывать их, особенно если на участке сваи выше предполагаемого дефекта может иметь место значительное сопротивление по боковой поверхности.

### Результаты исследования

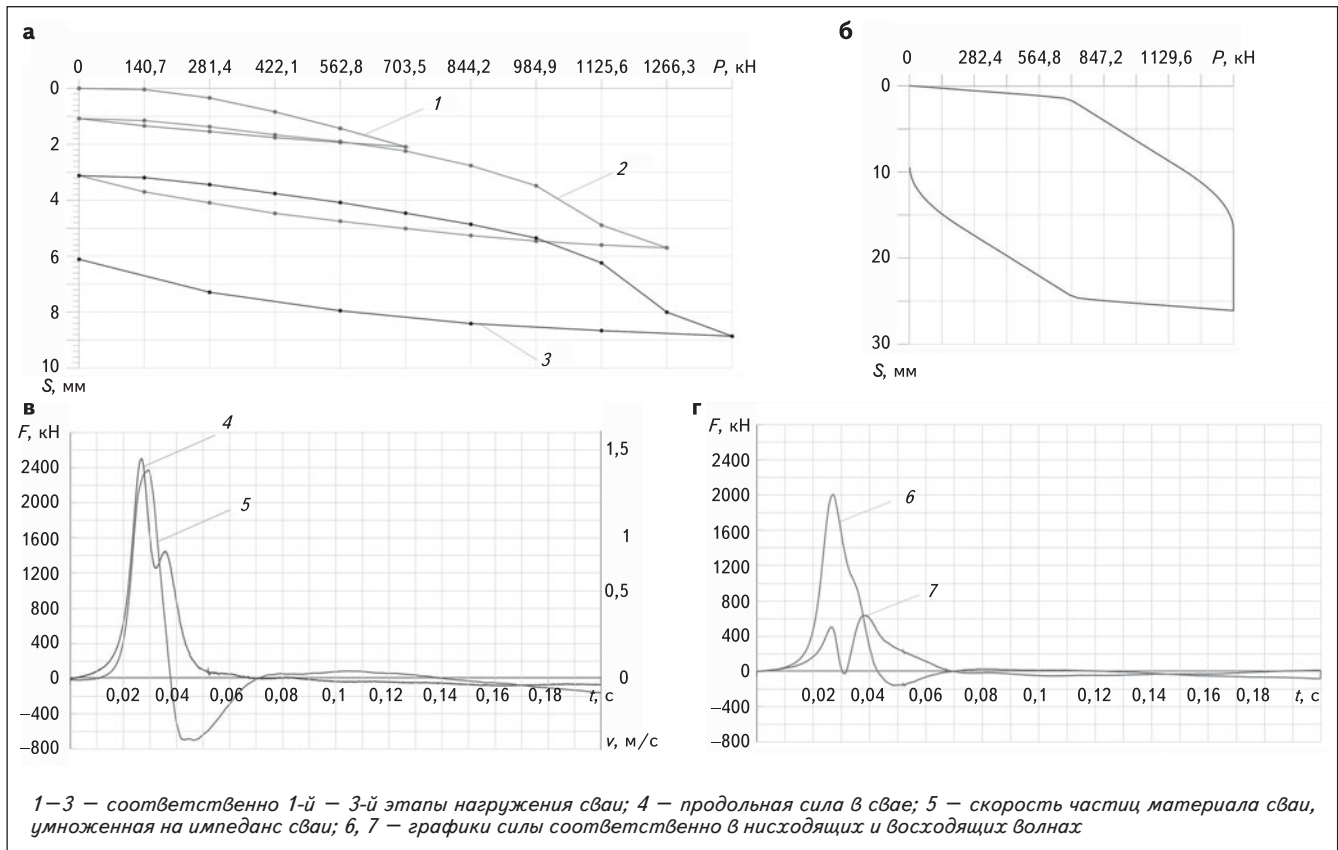
Исследуемая часть конструкции *первого* объекта (опора моста в Тверской обл.) представляет собой железобетонные призматические сваи длиной 12 м (№ 69, 70) и 9 м (№ 33, 34) сечением 35×35 см. Инженерно-геологические условия площадки строительства (ИГЭ-1 – насыпной грунт слежавшийся; ИГЭ-2 – суглинок песчаный, тугопластичный с линзами суглинок полутвердых; ИГЭ-3 – суглинок пылеватый, мягкопластичный с прослойками песка; ИГЭ-4 – песок пылеватый, плотный, водонасыщенный) приведены на рис. 4а, г. Проектная несущая способность свай по грунту – 921,65 кН (сваи № 69, 70) и 869,66 кН (сваи № 33, 34).

Для забивки использовали штанговый дизель-молот DD-35 с массой ударной части 3,5 т, высотой сброса 1,2 м. В ходе испытаний требовалось выполнить проверку соответствия несущей способности свай расчетным нагрузкам, установленным в проекте.

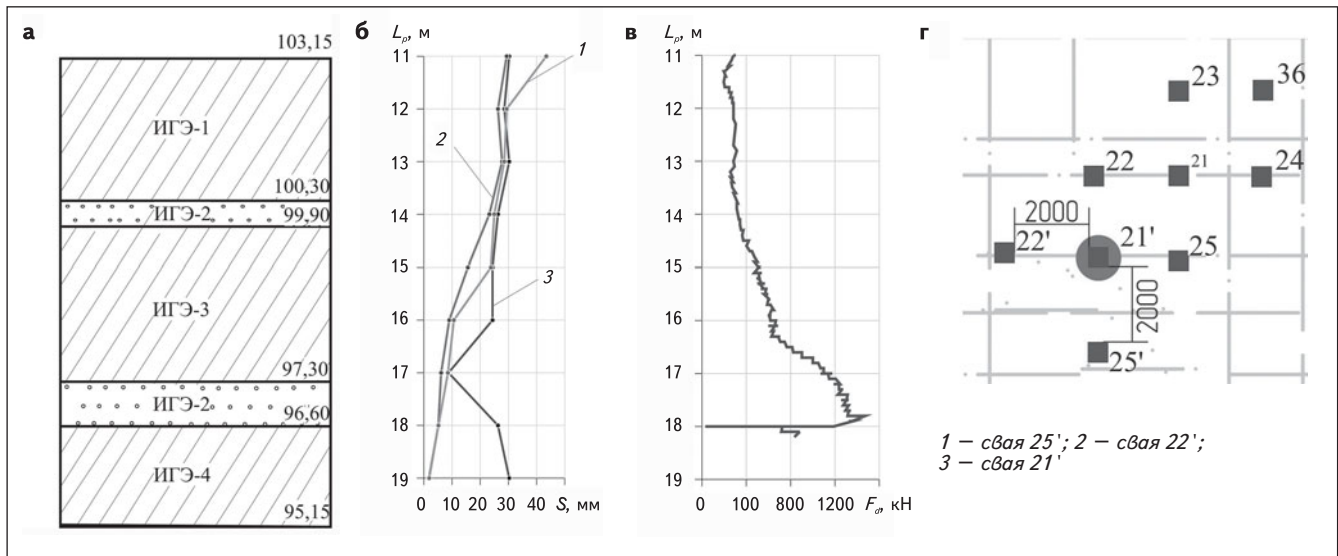
Для трех исследуемых свай (№ 69, 70, 33) были проведены измерения параметров упругих

волн при забивке. Для сваи № 34 аналогичные измерения выполнили при контрольной добивке. По зарегистрированным данным с использованием кейс-метода были получены значения предельного сопротивления свай в зависимости от глубины погружения.

Графики наглядно иллюстрируют процесс погружения свай (рис. 4б, в, д). Закономерно наблюдается возрастание предельного сопротивления до 2286 кН для сваи № 69 и до 2237 кН для сваи № 70 при заглублении острия свай в плотные пески. Выявленное превышение предельного сопротивления по сравнению с проектным значением более чем в 2 раза – ощутимый для практики результат. Для сваи № 33 не наблюдается такого же резкого возрастания несущей способности, что свидетельствует о достижении острием сваи несущего слоя, однако полученное значение максимального предельного сопротивления (1265 кН) подтверждает достаточность несущей способности сваи со значительным запасом. Контрольные испытания сваи № 34 (рис. 5б–г) показали, что норматив-



**Рис. 5.** График зависимости осадки  $S$  сваи № 34 от нагрузки  $F$  в ходе статического испытания (а), построенный по результатам моделирования график «осадка – нагрузка» (б), результат контрольного испытания PDA сваи № 34 (в, г)



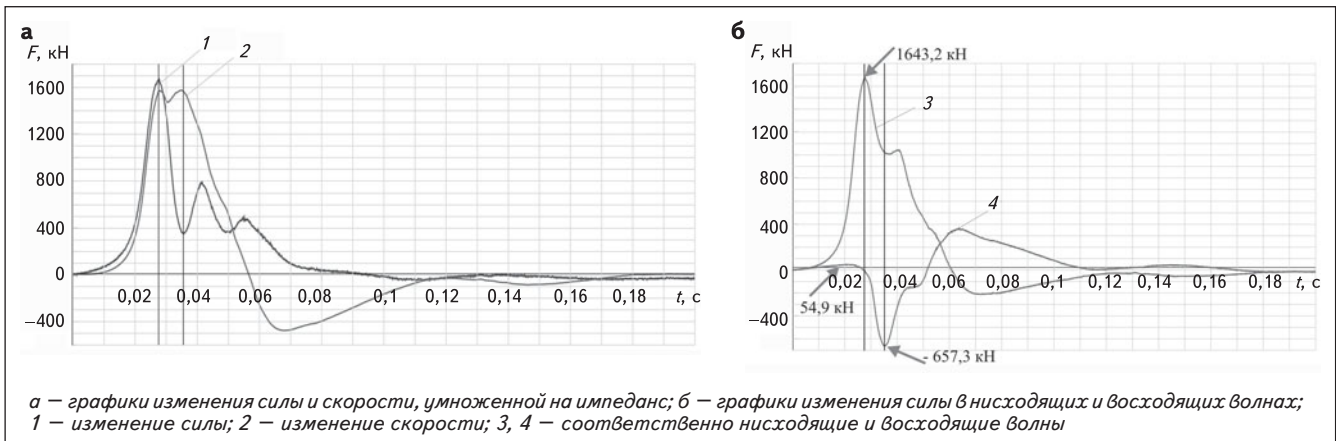
**Рис. 6.** Инженерно-геологический разрез площадки строительства (а), графики зависимости отказа свай № 21', 22', 25' от глубины их погружения (б), график зависимости несущей способности сваи № 21' от глубины погружения (в), схема расположения свай в плане (г)

ное значение ее предельного сопротивления после отдыха составляет 1413 кН.

Для верификации полученного

результата были проведены статические испытания сваи № 34 (рис. 5а), которые были прекращены из-за исчерпания несущей

способности используемого испытательного стенда. Максимальная осадка головы сваи при нагрузке в 1406,95 кН составила



**Рис. 7.** Совмещенные графики изменения характеристик волн от удара молота при контрольной добивке сваи № 21'

8,86 мм. Таким образом, хотя установленное с применением PDA предельное сопротивление сваи не было напрямую подтверждено результатом статического испытания, демонстрируемое превышение предельного сопротивления над проектным значением не подлежит сомнению и в действительности может отклониться лишь в большую сторону.

На *втором* объекте (фундаменты жилого комплекса в г. Рязани) исследуемая часть конструкции — составная призматическая забивная свая (№ 21') длиной 20 м (имеет две секции 12 и 8 м, сварной стык между секциями), сечением 30×30 см. Инженерно-геологический разрез площадки строительства (ИГЭ-1 — суглинок пылеватый, мягкопластичный, тяжелый с примесью органики; ИГЭ-2 — песок рыхлый, водонасыщенный; ИГЭ-3 — суглинок песчанистый, легкий, мягкопластичный; ИГЭ-4 — суглинок песчанистый, легкий, тугопластичный) представлен на *рис. 6а*. Максимальная нагрузка на сваю по заданию на испытания равна 1177 кН.

Для забивки использовался штанговый дизель-молот с массой ударной части 2,5 т и высотой сброса 1,8 м. По значениям отказа, зафиксированным в ходе

забивки сваи № 21' и находящихся в непосредственной близости от нее сваи № 22' и 25' (*рис. 6г*), был построен график (*рис. 6б*). Он демонстрирует резкое повышение отказа сваи № 21' (снижение несущей способности) на глубине 17 м, которое можно интерпретировать как повреждение сваи. График зависимости несущей способности сваи № 21' от глубины погружения, полученный по результатам мониторинга PDA, представлен на *рис. 6в*. Данные для последнего метра погружения сваи не были зарегистрированы датчиками, что предположительно может быть вызвано грубыми погрешностями в наблюдаемых показателях из-за существенного повреждения сваи.

В ходе испытаний требовалось установить причины снижения несущей способности сваи. Для исследуемой сваи была проведена контрольная добивка тем же молотом, который использовался для ее забивки. Испытания производились сериями ударов (по три удара за серию) с измерением среднего отказа нивелированием оголовка.

Графики данных, зарегистрированных измерительной аппаратурой для одного из ударов, приведены на *рис. 7*. На графике изменения силы в восходящих

волнах (*рис. 7б*) отчетливо виден экстремум — минимум (правая вертикальная черта), характеризующий восходящую волну растяжения, дошедшую до датчиков спустя 0,078 с после первого пика силы (левая вертикальная черта).

Отраженная от острия сваи волна должна дойти до датчиков не ранее чем спустя

$$t = \frac{2l}{c} = \frac{2 \cdot 19,3}{3500} = 0,011 \text{ с,}$$

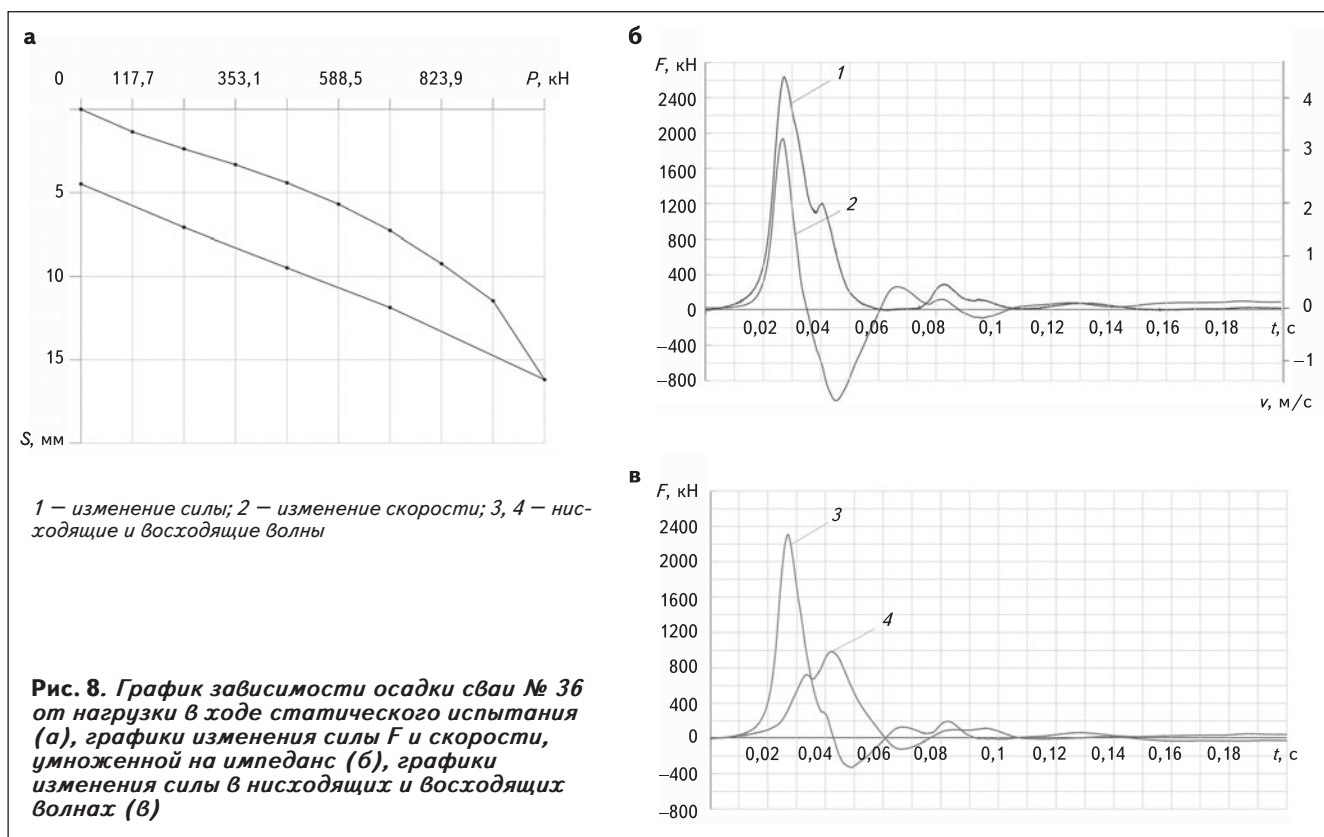
где  $l$  — расстояние от места установки датчиков до острия сваи.

Таким образом, зарегистрированная волна растяжения является эффектом отражения ударной волны от места изменения импеданса сваи.

По измеренным данным коэффициент  $\beta$  согласно формуле (12) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \beta &= \\ &= \frac{1643,2 - 1,5 \cdot 54,9 + (-657,3)}{1643,2 - 0,5 \cdot 54,9 - (-657,3)} = \\ &= 0,397. \end{aligned}$$

В соответствии с вышеприведенной классификацией коэффициент ( $\beta = 0,397$ ) свидетельствует о том, что свая сломана. По расположению минимума графика силы в восходящих волнах расстояние от места расположе-



ния датчиков до предполагаемого места разрушения было определено как 0,687 доли глубины погружения сваи и составило 13,75 м.

Для исключения влияния инженерно-геологических условий на несущую способность свай было выполнено статическое испытание сваи № 36 (рис. 8а), забитой в непосредственной близости от сваи № 21' и имеющей аналогичную конструкцию. По результатам испытания было установлено, что частное значение предельного сопротивления сваи № 36 составляет 1059,5 кН. Для исключения влияния конструкции составной сваи (наличие сварного стыка) на результат применения бета-метода были рассмотрены данные контрольной добивки предположительно не имеющей повреждений сваи № 25' длиной 20 м (12 м + 8 м) (рис. 8б, в).

Результаты проведенных испытаний показывают, что несущая способность сваи № 36 не снижена по сравнению с проектной, что свидетельствует об отсутствии значительных отклонений грунтовых условий от принятых в расчете. В то же время график изменения силы в восходящей волне для сваи № 25' (рис. 8б) не имеет характерного отрицательного пика в промежуток времени  $t = 0,011$  с, что исключает возможность влияния на результат бета-метода особенностей конструкции сваи. Следовательно, единственной причиной снижения несущей способности сваи № 21' можно считать разрушение при забивке.

### Выводы

1. Метод, использующий принципы волновой теории удара, может успешно применяться для

мониторинга процесса погружения забивных свай.

2. По данным мониторинга с использованием волновой теории удара можно получить сведения об изменении несущей способности сваи в зависимости от глубины ее погружения, что позволяет корректировать проектные решения для повышения их надежности и экономической эффективности.

3. В ходе мониторинга процесса погружения сваи или при ее контрольных испытаниях для оперативного получения информации о возникающих дефектах может быть применен бета-метод.

4. При качественном выполнении сварного соединения составной забивной сваи в месте стыка не наблюдается явлений, влияющих на результат использования бета-метода для выявления повреждения сваи.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Герсеванов Н. М. Собрание сочинений. Свайные основания и расчет фундаментов сооружений. М. : Стройвоенмориздат, 1948. Т. 1. 270 с.
1. Gersevanov N. M. *Sobranie sochinenij. Svajnye osnovanija i raschet fundamentov sooruzhenij* [Collected works. Pile foundations and calculation of structure foundations]. Moscow, Stroyvoenmorizdat Publ., 1948, vol. 1. 270 p. (In Russian).
2. Мухин А. А., Чуркин А. А., Филиппов К. А., Гаврютина А. В. К вопросу о применении метода испытания свай динамической нагрузкой с использованием принципов волновой теории удара // Геотехника. 2020. Т. XII. № 2. С. 70–87.  
DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-2-70-87.
2. Mukhin A. A., Churkin A. A., Filippov K. A., Gavryutina A. V. About application of the method of high strain dynamic testing of piles. *Geotechnika*, 2020, vol. XII, no. 2, pp. 70–87. (In Russian).  
DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-2-70-87.
3. Радугин А. Е. Об увеличении несущей способности коротких свай во времени // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1969. № 2. С. 16–19.
3. Radugin A. E. On increasing the bearing capacity of short piles in time. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 1969, no. 2, pp. 16–19. (In Russian).
4. Бахолдин Б. В., Большаков Н. М. Исследование зависимости несущей способности свай от времени нахождения их в грунте // Тр. НИИОСП. Вып. 65. Свайные фундаменты. М. : Стройиздат, 1975. С. 37–42.
4. Bakholdin B. V., Bolshakov N. M. Study of the dependence of the bearing capacity of piles on the time they are in the ground. *Tr. NIIOSP, iss. 65. Svajnye fundamenty*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975, pp. 37–42. (In Russian).
5. Капустин В. В., Чуркин А. А., Лозовский И. Н., Кувалдин А. В. Возможности сейсмоакустических и ультразвуковых методов при контроле качества свайных фундаментов // Геотехника. 2018. Т. X. № 5–6. С. 62–71.
5. Kapustin V. V., Churkin A. A., Lozovsky I. N., Kuvaldin A. V. Capabilities of seismoacoustic and ultrasonic methods for quality control of pile foundations. *Geotechnika*, 2018, vol. X, no. 5–6, pp. 62–71. (In Russian).
6. Likins G., Rausche F. *Case Method* [Кейс-метод]. The second seminar on the dynamics of pile driving. University of Colorado at Boulder, Pile Dynamics Inc., 1981. Cleveland, OH, USA.  
Available at: <https://www.pile.com/wp-content/uploads/2017/03/CaseMethod.pdf> (accessed 10.05.2020).
7. *Pile Dynamics Inc.*, 2019. Cleveland, OH, USA,  
Available at: <https://www.pile.com/> (accessed 10.05.2020).
8. Komurka V., Walton W., Rusk R., Hannigan P. High-capacity driven-pile foundation for a 33-story high-rise in Milwaukee, Wisconsin [Фундамент с забивными сваями большой несущей способности для 33-этажного высотного здания в Милуоки, штат Висконсин]. *USA DFI 42nd Annual conference on deep foundations*, New Orleans, LA, 2017, pp. 278–294.
9. Liang L., Li X., Xu X. The role of dynamic testing and analysis in current practice of design and construction of driven pile foundation in USA [Роль динамических испытаний в современной практике проектирования и устройства забивных свайных фундаментов в США] (in Chinese). *Proc. of the 12th China foundation engineering conference*, 2015.  
Available at: <https://www.pile.com/reference-papers> (accessed 10.05.2020).
10. Sellountou A., Duffy P., Holman T. Optimization of drilled shaft design using high strain dynamic monitoring [Оптимизация конструкции буровых свай по результатам испытаний с использованием волновой теории удара]. *Proc. from geotechnical and structural engineering congress*, Phoenix, Arizona, 2016, pp. 724–734.
11. Liang L., Webster S., Yuan R. et al. Prediction of long term capacity using dynamic testing for underwater skirt pile foundation [Прогнозирование долговременной несущей способности по результатам динамических испытаний для свай подводных опор]. *Proc. of the twenty-fourth international ocean and polar engineering conference*, Busan, Korea, 2014, pp. 660–667.
12. Rausche F., Goble G. Determination of pile damage by top measurements [Выявление повреждения сваи по результатам измерений у оголовка]. *Behavior of deep foundations*. ASTM STP 670. Raymond Lundgren, Ed., American Society for Testing and Materials. 1979, pp. 500–506.  
Available at: [https://www.pile.com/wp-content/uploads/2017/03/558\\_DeterminationOfPileDamagebyTopMeasurements.pdf](https://www.pile.com/wp-content/uploads/2017/03/558_DeterminationOfPileDamagebyTopMeasurements.pdf) (accessed 10.05.2020).
13. Likins G., Rausche F. Pile damage prevention and assessment using dynamic monitoring and the Beta Method [Предотвращение и оценка повреждений свай с использованием динамического мониторинга и бета-метода]. *Geo-Institute Geotechnical Special Publication*, 2014, no. 233, pp. 428–442.
14. Bungenstab F., Beim J. Ensaio de Integridade (PIT) – Interpretação de resultados obtidos para os casos de estacas dos tipos hélice contínua monitorada e raiz [Анализ сплошности (PIT) – интерпретация результатов, полученных для свайчатых свай, изготовленных методом непрерывного полого шнека и свай с уширением]. *Fundações & Obras Geotécnicas*, 2014, no. 46, pp. 60–68.
15. Webster S., Teferra W. Pile damage assessments using the pile driving analyzer [Выявление повреждения сваи с использованием оборудования Pile Driving Analyzer]. *Proc. of the fifth international conference on the application of stress-wave theory to piles*, Orlando, FL, 1996, pp. 980–990.
16. Hussein M., Garlanger J. Damage detection for concrete piles using a simple nondestructive method [Выявление повреждений железобетонных свай методами неразрушающего контроля]. *Proc. of the first international conference on fracture mechanics of concrete structures*, Breckenridge, CO., 1992.

Available at: <https://www.pile.com/reference-papers> (accessed 10.05.2020).

17. Hussein M., Rausche F. *Determination of driving induced pile damage* [Выявление повреждений свай, вызванных их забивкой]. *Fondations Profondes*, Paris, France, 1991, pp. 455–462.

Available at: <https://www.pile.com/wp-content/uploads/2017/03/>

determinationofDrivingInducedPileDamage.pdf (accessed 10.05.2020).

18. Капустин В. В. К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // *Инженерные изыскания*. 2011. № 11. С. 10–15.

18. Kapustin V. V. On the acoustic method basic physics of pile testing. *Inzhenernye izyskaniya*, 2011, no. 11, pp. 10–15. (In Russian).

Для цитирования: Филиппов К. А., Чуркин А. А., Гаврютина А. В., Мухин А. А. Волновая теория удара для контроля процесса погружения забивных свай // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 8. С. 41–50. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.41-50.

For citation: Filippov K. A., Churkin A. A., Gavryutina A. V., Mukhin A. A. High Strain Dynamic Testing for the Control of the Process of Immersion of Driven Piles. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 41–50. (In Russian).

DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.41-50.

## AlumForum и ArchGlass в Сколково

21–23 сентября 2021 г. в Технопарке Инновационного центра «Сколково» состоится II Международный форум «Алюминий в архитектуре и строительстве» — AlumForum 2021 (учредитель — Алюминиевая ассоциация) и III Международный форум индустрии архитектурного стекла ArchGlass 2021.

Впервые форумы проводятся на одной площадке по единой программе и в обновленном формате. Мероприятия пройдут при поддержке Минстроя и Минпромторга России в рамках Года архитектуры и градостроительства стран СНГ.

Организаторы: Союз архитекторов России и Союз московских архитекторов.

Программа форумов направлена на межпрофессиональное взаимодействие, укрепление деловых контактов между компаниями алюминиевой, стекольной и строительной отраслей, лидерами рынка и ведущими архитекторами, дизайнерами, девелоперами, проектировщиками из России, СНГ и других стран.

Цель форумов — способствовать выполнению государственных программ по развитию отечественной экономики через реализацию новых перспективных национальных проектов, в том числе проекта «Экология».

Деловая программа включает в себя стратегические сессии, панельные дискуссии, «круглые столы», презентации, мастер-классы:

- строительство в России и странах СНГ. Курс на устойчивое развитие. Итоги и будущее;
- реализация национальных проектов. Эра «зеленой» архитектуры и эко-материалов в строительстве;
- нормативно-техническое регулирование в строительной отрасли как драйвер внедрения инноваций;
- передовые решения для современной инфраструктуры;
- архитектурный язык новых технологий;
- компетенции будущего;

- 3R: реставрация, реконструкция и реновация с применением алюминия и стекла;

- positive Alum-emotion. Алюминий в дизайне среды. В рамках форума запланирован международный диалог: Россия — Япония — Европа — Китай — ОАЭ.

По итогам конкурсной программы вручаются национальные премии — Гран-при — за лучшие реализованные объекты с применением алюминия и стекла:

- смотр-конкурс «Алюминий в архитектуре»;
- смотр-конкурс «Стекло в архитектуре»;
- конкурс «Aluminium Design».

К участию приглашаются отечественные и зарубежные архитекторы, проектировщики, реставраторы, дизайнеры, архитектурные бюро, студии и мастерские, проектные институты, студенты профильных вузов, отделения творческих союзов, производственные и строительные организации, заказчики, инвестиционные и девелоперские компании, органы архитектуры и градостроительства регионов и городов России, стран СНГ.

Кроме основной выставочной экспозиции будет представлена специальная экспозиция:

- мосты из алюминия Now&Next;
- алюминий: объекты транспортной инфраструктуры (транспортные хабы, аэропорты, вокзалы, станции метрополитена);
- строительные инновации в мире стекла.

Предусмотрена образовательная программа (мастер-классы, лекции, профессиональные дискуссии для студентов и выпускников вузов от ведущих архитекторов, дизайнеров и производителей алюминия и стекла), а также интерактивная программа с демонстрацией новых технологий.

С подробной информацией о форумах и условиях участия можно ознакомиться на сайтах: [www.alumforum.ru](http://www.alumforum.ru), [www.archglass.ru](http://www.archglass.ru).

# Свайная оболочка «Reline» – эффективная защита при морозном пучении грунтов

**Дмитрий Вячеславович АЛЯВДИН**, советник генерального директора, e-mail: uzpt@polymerpro.ru

**Владимир Михайлович БЕЛЯКОВ**, технический директор

**Артемий Дмитриевич ЛЕВИН**, генеральный директор, e-mail: levin@polymerpro.ru

ЗАО «Уральский завод полимерных технологий «Маяк» (ЗАО «УЗПТ «Маяк»), 456780 Челябинская обл., г. Озерск, ул. Красноармейская, 5, корп. 3

**Аннотация.** Рассмотрена проблема строительства свайных малонагруженных фундаментов на сезоннопромерзающих и многолетнемерзлых пучинистых грунтах. Это вызвано неравномерными деформациями грунтового основания и агрессивным влиянием засоленных грунтов на свайные основания. Приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований. Проведена оценка результатов испытаний свайной противопучинной термоусаживаемой оболочки по ряду параметров, в числе которых: противопучинные свойства, прочность покрытия при ударе, эластичность покрытия при изгибе, диффузионная проницаемость для углекислого газа и хлорид-ионов, морозостойкость, адгезионная прочность. Сформулированы основные выводы по эффективности применения системы покрытия свайных фундаментов данной оболочкой для борьбы с морозным пучением грунтов, а также в качестве вторичной защиты фундаментов от коррозии. Свайную противопучинную оболочку применяют для покрытия металлических и железобетонных свай. Срок службы покрытия в сложных грунтовых условиях составляет 50 лет.

**Ключевые слова:** свая, морозное пучение, касательные напряжения, термоусаживание, сезоннопромерзающие грунты, деформации морозного пучения, засоление грунтов.

## HEAT-SHRINKABLE POLYMER COATING "RELIN" AN EFFECTIVE PROTECTION AGAINST FROST HEAVING OF SOILS

**Dmitry V. ALYAVDIN**, e-mail: uzpt@polymerpro.ru

**Vladimir M. BELYAKOV**

**Artemy D. LEVIN**, e-mail: levin@polymerpro.ru

Ural Plant of Polymer Technology "MAYAK", ul. Красноармейская, 5, корп. 3, Cheljabinskaja obl., g. Ozersk 456780, Russian Federation

**Abstract.** The problem of construction of low-loaded pile foundations on seasonally freezing and permafrost heaving soils is considered. It is associated with uneven deformations of the soil base, as well as with the aggressive effects of saline soils on pile foundations. The results of experimental laboratory studies are presented. The evaluation of the results of the tests for the pile anti-heaving heat-shrinkable shell by a number of parameters including: anti-heath properties, the strength of the coating upon impact, the elasticity of the coating during bending, diffusion permeability to carbon dioxide and chloride ions, frost resistance, adhesion strength, is made. The main conclusions on the effectiveness of the application of the system of covering pile foundations with this shell for the fight against frost heaving of soils, and as a secondary protection of foundations against corrosion are formulated. Pile anti-heaving shell is used to cover metal and reinforced concrete piles. The service life of the coating in difficult ground conditions is 50 years.

**Key words:** pile, frost heaving, shear stresses, heat shrinking, seasonally freezing soils, frost heaving deformations, salinization of soils.

### Введение

Обустройство месторождений нефти и газа на территории Российской Федерации зачастую неразрывно связано с вопросами обеспечения безаварийной эксплуатации сооружений и систем трубопроводов при низких среднегодовых температурах, в сложных грунтовых условиях, выражающихся в негативном влиянии сил морозного пучения на фун-

даменты и основания, а также при высокой скорости коррозии свайных конструкций.

При проектировании фундаментов как на пучинистых грунтах, так и грунтах, агрессивных по отношению к материалу свай, до сих пор сталкиваются с недостатком сведений о взаимодействиях грунтов со сваями в деятельном слое, особенно при использовании современных мето-

дов защиты свай. Различные защитные покрытия могут значительно изменять характер данных взаимодействий.

Силы морозного пучения напрямую негативно влияют на частоту аварийных ситуаций на таких объектах, как магистральные нефтепроводы, насосные станции, линии электропередачи. В настоящее время для обеспечения несущей способности фун-

даментов этих сооружений в мерзлых грунтах чаще всего используются свайные конструкции в различном исполнении согласно требованиям СП 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» (изменения № 1–4).

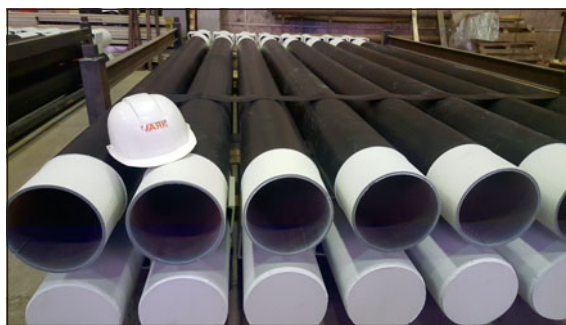
На металлические свайные фундаменты в Арктическом регионе негативно влияют не только силы морозного пучения, но и степень засоленности грунтов. Подобного типа грунты ведут себя по отношению к стальным сваям как агрессивная среда при длительной их эксплуатации.

Таким образом, повышение эксплуатационных характеристик свайных фундаментов и обеспечение их надежной защиты на весь срок эксплуатации, а также применение комплексной противопучинной и антикоррозионной системы для стальных и железобетонных свай — перспективное направление исследований.

ЗАО «УЗПТ «Маяк» разработало новое защитное покрытие (рис. 1) — оболочку свайную противопучинную термоусаживаемую ОСПТ «Reline» (далее — ОСПТ «Reline»).

В силу цикличности нагрузок в деятельном слое грунт воздействует на защитное покрытие свай как абразив. В связи с этим в рамках исследования требуется оценить не только противопучинные свойства и параметры вторичной защиты покрытия ОСПТ «Reline», но и его долговечность, так как конструктивно срок службы свайных оснований должен быть сопоставим со сроком службы сооружения в соответствии с СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» (с изменениями № 1–3).

Для определения эффективности применения противопучинной термоусаживаемой обо-



**Рис. 1.** Термоусаживаемая противопучинная оболочка ОСПТ «Reline» на стальной свае

лочка ОСПТ «Reline» в качестве противопучинного мероприятия проведены исследования механического взаимодействия покрытия с разными видами грунтов при различных температурах смерзания. По результатам испытаний определены коэффициенты снижения удельной касательной силы пучения для различных грунтовых условий, которые следует учитывать при проектировании свайных фундаментов исходя из рекомендаций [1].

#### **Защитное покрытие свай — ОСПТ «Reline»**

Данная свайная оболочка представляет собой двухслойную втулку, состоящую из термостабилизированной, радиационно-сшитой и ориентированной в продольном направлении композиции и клеевого подслоя на основе модифицированных термопластичных адгезивов.

ОСПТ «Reline» устанавливается на стволе сваи в зоне деятельного слоя грунта с целью снижения касательных сил морозного пучения на боковую поверхность сваи, а также служит для вторичной защиты свайных оснований от коррозии. Оболочка монтируется на сваю путем нагрева до температуры 130...150 °С. Температура длительной эксплуатации ОСПТ «Reline» в смонтированном состоянии установлена в диапазоне от –60 до 80 °С.

ОСПТ «Reline» разработана

в развитие руководящего документа РАО «Газпром» [2], выпускается серийно на предприятии ЗАО «УЗПТ «Маяк» по техническим условиям [3] в соответствии со спецификацией производителя и сертифицирована в системах ГОСТ Р и Газпромсерт. Для проектирования и устройства свайных фундаментов, расположенных преимущественно в условиях широкого распространения сезоннопромерзающих пучинистых грунтов, АО «НИЦ «Строительство» разработало стандарт организации [4].

#### **Лабораторные исследования**

Оценка эффективности применения ОСПТ «Reline» в качестве противопучинной системы включает в себя проведение испытаний по определению сопротивления срезу по поверхности смерзания металлических плашек (моделей свай), покрытых ОСПТ «Reline», а также проведение сравнительных испытаний с металлическими плашками без покрытия. Испытания проводились при трех значениях отрицательной температуры (–1, –2 и –6 °С) для песчаного грунта (песок пылеватый), глинистого грунта (суглинок легкий), а также цементно-песчаного раствора.

Результаты испытаний для грунтов позволяют оценить эффективность применения покрытия в качестве мероприятия по снижению касательных сил морозного пучения при расчетах фундаментов на выпучивание (СП 25.13330) и при расчетах несущей способности фундаментов, проектируемых на многолетнемерзлых грунтах.

Лабораторные испытания выполнены аккредитованной лабораторией сектора лабораторных исследований мерзлых грунтов Центра геокриологических и

геотехнических исследований НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство».

*Определение удельных касательных сил морозного пучения стандартными методами*

При определении сопротивления срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента (сталь с покрытием ОСПТ «Reline» и сталь без покрытия) выполнено 63 испытания.

Цель работы — установить расчетные значения сопротивления срезу по поверхности смерзания грунтов с материалом свай в указанном выше спектре температур для стальных свай, покрытых ОСПТ «Reline», и сравнение этих результатов с аналогичными для неокрашенных поверхностей стальных свай. Результаты могут быть использованы для определения как касательных сил пучения (при расчете фундаментов на выпучивание), так и несущей способности грунтов (при расчетах фундаментов на мерзлых грунтах). Результаты испытаний представлены в *табл. 1*.

Для сопоставления результатов провели отдельную серию испытаний на плашках без покрытия с шероховатостью поверхности, близкой к шероховатости натуральных стальных свай. Значения сопротивления срезу по поверхности смерзания  $R_{af}$ , полученные в этой серии, принимались за эталонные. После сравнения результатов испытаний с покрытиями и без вычислялись безразмерные коэффициенты, показывающие относительное снижение/увеличение касательных сил пучения и сопротивления срезу по поверхности смерзания при покрытии стальных свай ОСПТ «Reline». Такой подход позволяет получить сравнительные характеристики несмотря на то, что значения сопротивления срезу по поверхности смерзания для при-

**1. Сопротивление срезу по поверхности смерзания грунта стальных свай без покрытия и с покрытием ОСПТ «Reline»**

Номер опыта	Грунт, смесь	Температура $T$ , °C	Влажность $W$ , %	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Сопротивление срезу по поверхности смерзания, МПа			Дополнительный коэффициент $\gamma_{af}$	
					опытное $R_{af}$	нормативное $R_{af}^H$	расчетное $R_{af}^P$		
<i>Стальные сваи без покрытия</i>									
43	Песок пылеватый (смесь модельная)	-1	18,1	1,99	0,129	0,128	0,123	-	
41			18	1,91					
42			18,7	1,92					
48		-2	18	1,94	0,223	0,231	0,221	-	
46				1,92	0,26				
47				17,4	1,94				0,22
60		-6	18	1,96	0,6	0,643	0,616	-	
58				18,1	1,92				0,728
59				19	1,95				0,607
44	Суглинок легкий (смесь модельная)	-1	27,4	1,88	0,111	0,115	0,11	-	
39				1,86	0,082				
40			27,8	1,86	0,071				
54		-2	28,2	1,87	0,273	0,206	0,197	-	
52				27,4	1,97				0,214
53				27,2	1,93				0,239
63		-6	26,8	1,88	0,586	0,57	0,546	-	
61				28,2	1,95				0,557
62				28,9	1,89				0,557
45	Цементно-песчаный раствор (1:5)	-1	8	1,96	0,171	0,117	0,104	-	
37			12,8	1,99	0,099				
38			13	2,03	0,129				
51		-2	13	1,88	0,129	0,191	0,17	-	
49				13,2	1,99				0,179
50				12,5	1,84				0,214
57		-6	11,5	1,94	0,657	0,487	0,434	-	
55				12,7	1,98				0,44
56				13,1	1,96				0,387

родных грунтов варьируются в широких пределах в зависимости от многих факторов (влажность и плотность конкретного грунта, минеральный и гранулометрический состав, а также другие характеристики). Данные коэффициенты (*см. табл. 1*) можно

применять и для пересчета табличных значений СП 25.13330 (табл. 7.8 и табл. В.3 прил. В).

Результаты испытаний показывают, что при использовании ОСПТ «Reline» во всех типах грунтов (песчаные и глинистые), а также в цементно-песчаном

Окончание табл. 1

Номер опыта	Грунт, смесь	Температура T, °C	Влажность W, %	Плотность ρ, г/см <sup>3</sup>	Сопротивление срезу по поверхности смерзания, МПа			Дополнительный коэффициент γ <sub>af</sub>
					опытное R <sub>af</sub>	нормативное R <sub>af</sub> <sup>H</sup>	расчетное R <sub>af</sub> <sup>P</sup>	
<i>Стальные сваи с покрытием ОСПТ «Reline»</i>								
1	Песок пылеватый (смесь модельная)	-1	18,7	2,02	0,016	0,018	0,15	
2			18,1	1,98				
3			17,9	2,02				
4			18,7	2,02				
13		-2	18,7	1,98	0,063	0,061	0,06	0,27
14			19,2	1,96				
15			18,3	2,01				
16			19,4	1,88				
25		-6	18,2	2,02	0,238	0,231	0,38	
26			1,94					
27			18,6	2,02				
28			18,5	2,06				
5	Суглинок легкий (смесь модельная)	-1	28,3	1,87	0,04	0,053	0,051	0,48
6			27,6	1,9	0,056			
17		-2	28,3	1,93	0,095	0,092	0,088	0,47
18			28,5	1,91	0,103			
19		-6	27,2	1,87	0,238	0,248	0,239	0,45
30			27,9	1,91				
31			27,5	1,94				
32			27,6	1,91				
10	Цементно-песчаный раствор (1:5)	-1	13,9	1,96	0,037	0,02	0,015	0,14
11			11		0,008			
21		-2	12,3	2,07	0,063	0,04	0,023	0,14
23			12,6	2,06	0,016			
24			12,7	2,03	0,041			
33		-6	11,1	2,18	0,111	0,12	0,088	0,2
34	12,4		2,15	0,095				
35	12,5			0,198				
36	12		2,16	0,095				

Примечание. Во всех опытах нормальная нагрузка σ = 0,1 МПа.

растворе для исследованного диапазона температур наблюдается эффект снижения сил смерзания (а следовательно, и касательных сил пучения), который зависит от температуры. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что снижение

сил смерзания и касательных сил пучения составляет 62–85 % для пылеватого песка, 52–55 % для легкого суглинка и 80–86 % для цементно-песчаного раствора. В пылеватом песке и цементно-песчаном растворе наблюдается снижение эффекта уменьшения сил смерзания и касательных сил пучения при понижении температуры. В легком суглинке этот эффект, напротив, усиливается при понижении температуры.

Использовать дополнительные коэффициенты γ<sub>af</sub> для покрытия свай ОСПТ «Reline» при работе с табл. 7.8 СП 25.13330 следует таким образом: значение касательных сил морозного пучения (табличные значения получены для бетонной поверхности) умножается сначала на коэффициент 0,7 (переход от бетонной на стальную поверхность) и затем на дополнительный коэффициент γ<sub>af</sub> в соответствии с табл. 1.

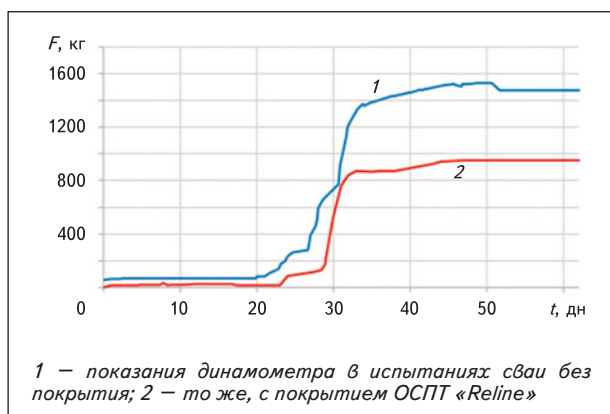
*Определение удельных касательных сил морозного пучения с использованием макромоделей*

Для определения удельной касательной силы морозного пучения и деформации морозного пучения при температуре грунта –4 °C (рис. 2) провели четыре лотковых испытания (сталь с покрытием ОСПТ «Reline» и без покрытия). В испытаниях использовали каолинитовую глину, которая проявляет пучинистые свойства и хорошо подходит в качестве «эталонного» грунта для испытаний. Длительность каждого испытания составила 2 мес вплоть до полного промерзания грунта.

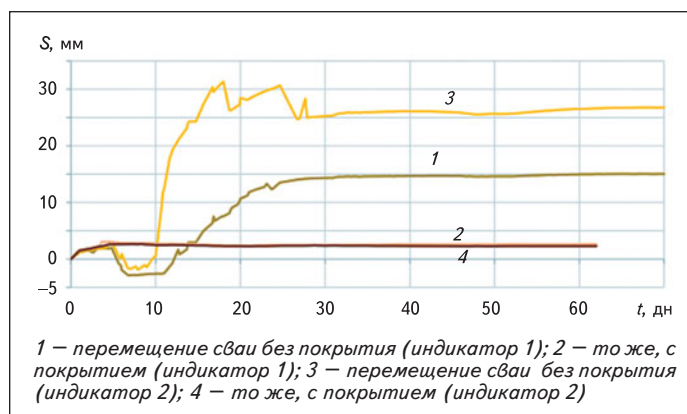
Результаты испытаний по определению касательной силы морозного пучения показывают, что происходит снижение показателей в глине на 41 % при температуре –4 °C (табл. 2).

При определении деформации морозного пучения были получены следующие результаты: металлическая свая без по-

При определении деформации морозного пучения были получены следующие результаты: металлическая свая без по-



**Рис. 2.** Изменение давления  $F$  сваи на динамометр от времени  $t$  промораживания грунта



**Рис. 3.** Перемещение  $S$  (абсолютное) сваи во время испытания

крытия в промерзающем грунте поднялась на 14,3–25,8 мм, свая с покрытием ОСПТ «Reline» – всего на 3–3,5 мм. Графики, которые получены по измерениям индикаторов на каждой из свай, представлены на рис. 3. Таким образом, снижение относительной деформации морозного пучения составило 82 % для глины при температуре  $-4$  °С.

#### Определение морозостойкости покрытия ОСПТ «Reline»

Оценка морозостойкости покрытия проводилась на основе данных о механических повреждениях после воздействия отрицательных температур. Для такого вида материалов отсутствует нормативная документация на методы по определению морозостойкости, также не нормированы параметры морозостойкости и их допустимые значения. Следовательно, при оценке морозостойкости ОСПТ «Reline» возможно только сравнение результатов испытаний эталонных образцов (образцы материала до воздействия отрицательных температур) с результатами испытаний образцов, подвергавшихся температурному воздействию. Оценка механической стойкости после воздействия температур была проведена тремя методами испытаний: на изгиб, сбрасывание

#### 2. Результаты лотковых испытаний по определению касательной силы морозного пучения и деформации морозного пучения

Показатель	Сталь 09Г2С		Снижение показателей при применении ОСПТ «Reline», %
	без покрытия	с покрытием ОСПТ «Reline»	
Касательная сила морозного пучения, МПа	0,22	0,13	41
Относительная деформация морозного пучения, д. е.	0,025	0,0044	82

груза и определение удлинения при разрыве.

По результатам испытания на изгиб пластинок с противоположным покрытием ОСПТ «Reline» установлено, что при изгибе образцов пластинок, подвергшихся как ступенчатому, так и циклическому воздействию отрицательных температур, дефектов (трещины, заломы, растяжения материала покрытия) не обнаружено.

Проведенные испытания на удлинение при разрыве показали отсутствие различий в характеристиках до воздействия отрицательных температур и после. По результатам комплекса испытаний можно сделать вывод о том, что механическая стойкость покрытия ОСПТ «Reline» не зависит от температурных воздействий.

Результаты испытаний для пылеватых песков, легких суглинков и цементно-песчаного раствора допускается принимать при расчетах оснований и фунда-

ментов по устойчивости на воздействие сил морозного пучения (п. 6.3.16 СП 25.13330), а также при расчетах несущей способности фундаментов в многолетнемерзлых грунтах (п. 4.7 СП 25.13330). Полученные коэффициенты эффективности покрытий разработаны применительно к данным таблиц СП 25.13330: табл. 7.8 (касательные силы морозного пучения), а также табл. В.3 прил. В (расчетные сопротивления мерзлых грунтов по поверхности смерзания) в дополнение к коэффициентам  $\gamma_{af}$  (прил. В п. В.3 СП 25.13330).

Испытанное противоположное полимерное термоусаживаемое покрытие ОСПТ «Reline» удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к работе покрытий в грунтах, и может быть рекомендовано к применению в проектной практике для защиты элементов металлических фундаментов и свай при бурозабивном

и буроопускном способах погружения, а также для защиты стволов винтовых свай, в том числе и в сезонноталом (сезонномерзлом) слое как эффективное противопучинное мероприятие для снижения касательных сил морозного пучения грунтов, при проектировании сооружений со сроком службы до 50 лет включительно.

**Испытания образцов бетонных и стальных элементов фундаментов с системой защитного покрытия на основе ОСПТ «Reline»**

Для проведения испытаний системы защитного покрытия на бетоне и металле в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» выбрали систему на основе противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline».

Поскольку данное термоусаживаемое полимерное покрытие разработано впервые и не имеет нормированных показателей, установленных ГОСТ 31384–2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования» и СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии» (изменения № 1, 2), оценка эффективности покрытия основана на методе сравнения основных показателей, полученных при испытаниях контрольных образцов без покрытия и с покрытием.

*Определение диффузионной проницаемости бетона*

Диффузионную проницаемость для углекислого газа бетонных образцов с системой покрытия ОСПТ «Reline» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) определяли в соответствии с требованиями

**3. Результаты испытаний на морозостойкость по прочности при сжатии**

Бетонные образцы	Класс бетона	$X_{min}^I$ , МПа	$X_{min}^{II}$ , МПа, при числе циклов испытаний замораживания–оттаивания			Марка по морозостойкости не менее
			5	10	20	
Образцы с системой покрытия ОСПТ «Reline»	B20W8	22,2	21,6 <sup>1</sup>	21,4 <sup>1</sup>	21,1 <sup>5</sup>	F <sub>200</sub>
	B20W10	23,4	22,9 <sup>1</sup>	22,8 <sup>1</sup>	22,3 <sup>5</sup>	
Контрольные образцы бетона	B20W8	23,9	22,9 <sup>2</sup>	21,7 <sup>3</sup>	18,7 <sup>6</sup>	F <sub>2150</sub>
	B20W10		23 <sup>2</sup>	21,8 <sup>4</sup>	18,9 <sup>6</sup>	

Примечание. Изменение внешнего вида образцов в процессе испытания на морозостойкость: 1 – без изменений; 2 – на отдельных гранях шелушение поверхности бетона; 3 – шелушение поверхности бетона, оголение крупного заполнителя; 4 – шелушение поверхности бетона на отдельных гранях; 5 – на отдельных гранях отслоение системы покрытия, шелушение грунтового слоя и бетона; 6 – разрушение бетонных образцов.  
 $X_{min}^I$  – нижняя граница доверительного интервала прочности контрольных образцов,  $X_{min}^{II}$  – то же, основных образцов.

ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний». Испытания проводили на установке для испытаний бетона в среде углекислого газа УИУГ-10 с автоматическим поддержанием заданной концентрации углекислого газа.

Результаты испытаний показали, что система защитного покрытия ОСПТ «Reline» по бетону является непроницаемой для углекислого газа – бетон всех граней образцов под покрытием не карбонизирован, в то время как глубина карбонизированного слоя контрольного бетона достигала 6–8 мм для разных классов бетона, а среднее значение эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в бетоне (B20W8 и B20W10) составило  $0,46 \times 10^{-4}$  и  $0,67 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с соответственно.

*Определение проницаемости бетона для хлорид-ионов*

При определении проницаемости для хлорид-ионов бетонных образцов с системой покрытия ОСПТ «Reline» и бетонных образцов без защиты (контрольные образцы) использовали экспресс-метод, разработанный в

НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. Метод основан на хорошей растворимости хлористых солей и на различии в окраске смеси растворов хромата серебра и хлористых солей в зависимости от концентрации хлорид-иона. Экспресс-метод позволяет оценить содержатся ли хлориды в бетоне в опасной концентрации для арматурной стали и установить содержание хлоридов в пределах от 0 до ≤ 0,45 % по массе цемента в бетоне.

Пробы отбирали на расстоянии 0–10, 20, 30, 50 мм от поверхности образца. Результаты испытаний показали, что применение системы защитного покрытия на основе материала ОСПТ «Reline» полностью защищает бетон от проникновения в него хлорид-ионов из растворов. Они не были обнаружены ни под покрытием, ни в центре образцов, в то время как в контрольных образцах содержание хлоридов по всему объему бетона превышало критическую концентрацию (более 0,45 % по массе цемента).

*Определение морозостойкости бетона*

Испытания на морозостойкость бетонных образцов с сис-

темой покрытия ОСПТ «Reline» и контрольных бетонных образцов без покрытия проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».

Результаты испытаний на морозостойкость по изменению прочности при сжатии и внешнего вида бетонных образцов с покрытием ОСПТ «Reline» по сравнению с бетоном без защиты представлены в *табл. 3*.

Результаты испытаний на морозостойкость показали следующее:

- контрольные бетонные образцы (без защиты) обоих составов выдержали 10 циклов по третьему ускоренному методу, что соответствует марке по морозостойкости F<sub>2</sub>150;
- бетонные образцы с покрытием ОСПТ «Reline» обоих составов выдержали не менее 20 циклов по третьему ускоренному методу, что соответствует марке по морозостойкости не менее F<sub>2</sub>200.

Таким образом, нанесение на поверхность бетона системы защитного покрытия ОСПТ «Reline» позволяет повысить марку бетона по морозостойкости с F<sub>2</sub>150 до не ниже F<sub>2</sub>200.

*Определение прочности покрытия ОСПТ «Reline» на металлической подложке при ударе и эластичности при изгибе*

Испытания на эластичность системы покрытия при изгибе проводили согласно ГОСТ 31974–2012 «Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности покрытия при изгибе вокруг цилиндрического стержня». Сущность метода заключается в определении минимального диаметра металлического цилиндрического стержня, изгибание на котором металлической пластинки с покрытием не вызывает механического разрушения, трещин в месте изгиба, растрескивания и/или от-

**4. Результаты испытаний системы ОСПТ «Reline» на бетоне и металле по основным показателям качества**

Показатель	Норматив	Бетон с системой покрытия ОСПТ «Reline»	Бетон без защиты		ОСПТ «Reline» на металлической подложке
		B20W8, B20W10	B20W8	B20W10	
Эффективный коэффициент диффузии CO <sub>2</sub> , см <sup>2</sup> /с	ГОСТ 31383	0	0,46×10 <sup>-4</sup>	0,67×10 <sup>-4</sup>	—
Проницаемость хлорид-ионов, % по массе цемента		Хлорид-ионы отсутствуют	≥ 0,45		
Морозостойкость, F <sub>2</sub>	ГОСТ 10060	Не менее F <sub>2</sub> 200	F <sub>2</sub> 150		
Прочность сцепления системы с бетоном (адгезия), МПа	ГОСТ 28574	0,5	—	—	Не менее 100
Прочность покрытия при ударе, кг·см	ГОСТ 31974	—	—	—	
Эластичность покрытия при изгибе, мм	ГОСТ 53007	—	—	—	

слаивания покрытия от поверхности. Число циклов испытаний замораживания–оттаивания составило 10, 20, 30.

По результатам испытаний система покрытия ОСПТ «Reline» на металле выдержала 30 циклов замораживания–оттаивания без изменений внешнего вида, дефектов защитного покрытия не обнаружено. Система покрытия ОСПТ «Reline» обладает высокими деформативными свойствами (эластичность при изгибе не более 1 мм, прочность при ударе не менее 100 кг·см). При воздействии знакопеременных температур деформативные свойства системы покрытия не изменяются и сохраняются на исходном уровне.

Результаты испытаний системы защитного покрытия на основе противопучинной термоусаживаемой оболочки ОСПТ «Reline» по основным показателям приведены в обобщенной *табл. 4*.

На основании полученных результатов установлено, что исследуемая термоусаживаемая оболочка ОСПТ «Reline» — надежное гидроизоляционное покрытие.

Скорость коррозии бетона, защищенного покрытием, в хлоридных и сульфатных средах равна 0.

В соответствии с СП 28.13330 исследуемое покрытие ОСПТ «Reline» может применяться для защиты бетона в слабо-, средне- и сильноагрессивных жидких и твердых средах, группа условий эксплуатации покрытий в зависимости от степени агрессивности среды — IVахтр.

Исходя из результатов испытаний на проницаемость полимерного покрытия ОСПТ «Reline» сделан вывод об отсутствии разрушающих факторов для бетона, защищенного указанным покрытием. Срок службы покрытия, в том числе в сложных грунтовых условиях, составляет 50 лет и более.

**Вывод**

Испытанное противопучинное полимерное термоусаживаемое покрытие ОСПТ «Reline» удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к работе покрытий в грунтах, и рекомендовано к применению в проектной практи-

ке для защиты элементов металлических и железобетонных фундаментов, а также свай при бурозабивном и буроопускном способе погружения и стволов винтовых свай, в том числе и в сезонноталом (сезонномерзлом) слое как эффективное противо-

пучинное мероприятие для снижения касательных сил морозного пучения грунтов, в соответствии со сроками службы проектируемых сооружений.

Результаты проведенных испытаний образцов с системой защитного покрытия на основе

ОСПТ «Reline» по основным показателям качества коррозионной стойкости системы и сроку службы указывают на эффективность ее применения как в качестве противопучинного материала, так и для вторичной защиты свайных фундаментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. М. : Стройиздат, 1986. 72 с.
2. РД 51-00158623-10-95. Инструкция по возведению и расчету анкерных противопучинных свай конструкции ВНИИГАЗ-НКК для опор надземных трубопроводов в районах распространения вечной мерзлоты. М. : ВНИИГАЗ, 1995.
3. ТУ 2247-004-75457705-2014. Оболочки для свай противопучинные термоусаживаемые серии ОСПТ «Reline». Озерск : УЗПТ «Маяк», 2014.
4. СТО 36554501-054-2017. Проектирование и устройство свайных фундаментов с противопучинной оболочкой ОСПТ «Reline». М. : АО «НИЦ «Строительство», 2017.

#### REFERENCES

1. *Rekomendacii po uchetu i preduprezhdeniju deformacij i sil moroznogo puchenija gruntov* [Recommendations for accounting and prevention of deformations and forces of frost heaving of soils]. Moscow, Strojizdat Publ., 1986. 72 p.
2. RD 51-00158623-10-95. *Instrukcija po vozvedeniju i raschetu ankernyh protivopuchinnyh svaj konstrukcii VNIIGAZ-NNK dlja opor nadzemnyh truboprovodov v rajonah rasprostraneniya vечноj merzloty* [Instructions for the construction and calculation of anchor antispring piles of construction for aboveground pipe-
- line supports in various permafrost distribution areas]. Moscow, VNIIGAZ Publ., 1995.
3. TU 2247-004-75457705-2014. *Obolochki dlja svaj protivopuchinnye termousazhivaemye serii OSPT "Reline"* [Shells for piles, anti-spring heat-shrinkable series OSPT "Reline"]. Ozersk, UZPT "Majak" Publ., 2014.
4. SТО 36554501-054-2017. *Proektirovanie i ustrojstvo svajnyh fundamentov s protivopuchinnoj obolochkoj OSPT "Reline"* [Design and installation of pile foundations with a spring-proof shell of the HSPC "Reline"].

Для цитирования: Алявдин Д. В., Беяков В. М., Левин А. Д. Свайная оболочка «Reline» – эффективная защита при морозном пучении грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.51-58.

For citation: Alyavdin D. V., Belyakov V. M., Levin A. D. Heat-Shrinkable Polymer Coating "Reline" an Effective Protection Against Frost Heaving of Soils. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 51–58. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.51-58. ■

## Фестиваль «Зодчество 2021»

1–3 октября 2021 г. в Москве, в выставочном комплексе «Гостинный двор» состоится XXIX Международный архитектурный фестиваль «Зодчество». Организатор: Союз архитекторов России при поддержке Минстроя России, правительства Москвы, Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы, а также Международного союза архитекторов (UIA).

Главная тема фестиваля в этом году – «Истина». Ее предложил куратор и идеолог экспозиции А. О. Комов, главный архитектор Калуги. «Главная ценность «Зодчества» – широкое единовременное представительство архитектурного пространства страны», – убежден куратор фестиваля. По мнению архитектора, зодчество – не просто искусство, это культурный

код цивилизации, по которому прочитывается история. Необходимо сохранение культурных связей между прошлым и настоящим.

В этом году «Зодчество» пройдет в Гостином дворе одновременно с архитектурным фестивалем Best Interior Festival и выставкой Build School. Участниками крупномасштабного события станут архитекторы, градостроители, дизайнеры, искусствоведы, руководители проектных бюро и мастерских, представители органов власти и преподаватели профильных учебных заведений. Основу фестиваля по традиции составят конкурсная, выставочная и деловая программы.

Официальный сайт фестиваля:

[www.zodchestvo.com](http://www.zodchestvo.com).

# Методологические особенности подготовки документов территориального планирования в современных условиях

**Сергей Дмитриевич МИТЯГИН**, член-корреспондент РААСН, доктор архитектуры, профессор, генеральный директор, e-mail: msd710@mail.ru

ООО «Научно-Исследовательский Институт Перспективного Градостроительства» (ООО «НИИ ПГ»), 197342 Санкт-Петербург, наб. Черной речки, 41, корп. 2, литера Б, пом. 3

**Аннотация.** Природосберегающее, социально справедливое и экономически эффективное развитие РФ требует оптимизации содержания и форм градостроительной деятельности от постановки задач территориальной организации экологически допустимого природопользования через отраслевые и региональные балансы объемов и территориальное распределение объектов материально-пространственной среды до реализации инвестиционно-строительных проектных документов и эксплуатации объектов. За рациональное размещение объектов капитального строительства отвечают документы стратегического и территориального планирования. Общий недостаток этих документов – отсутствие экологических обоснований допустимости требуемых и планируемых параметров территорий и видов их использования в текущем, средне- и долгосрочном периодах. Между тем изменение состояния, параметров и конфигурации участков земной поверхности в результате хозяйственной и градостроительной деятельности оказывает существенное влияние на качественные и количественные характеристики процессов массоэнергообмена в биосфере и климатические изменения. Необходимость учета таких процессов в решении задач территориального планирования обуславливает потребность совершенствования методологической базы подготовки документов в части балансировки состава функциональных зон, определении их параметров и планировочной структуры территории.

**Ключевые слова:** территориальное планирование, функциональное зонирование, массоэнергообмен в биосфере, климатообразующая роль градостроительной деятельности.

## METHODOLOGICAL FEATURES OF THE PREPARATION OF TERRITORIAL PLANNING DOCUMENTS IN MODERN CONDITIONS

**Sergei D. MITIAGIN**, e-mail: msd710@mail.ru

NIIPG, nab. Chernoy rechki, 41, korp. 2, litera B, pom. 3, St. Petersburg 197342, Russian Federation

**Abstract.** The nature-saving, socially fair and economically effective development of the Russian Federation requires optimization of the content and forms of urban planning activity from setting tasks for the territorial organization of environmentally acceptable nature use through sectoral and regional balances of volumes and territorial distribution of objects of the material and spatial environment to the implementation of investment and construction project documents and the operation of these objects. Strategic and territorial planning documents are responsible for the rational placement of capital construction projects. A common disadvantage of these documents is the practical lack of environmental justifications for the permissibility of the required and planned parameters of territories and types of their use in the current, medium and long - term periods. Meanwhile, changes in the state, parameters and configuration of the Earth's surface areas as a result of economic and urban planning activities have a significant impact on the qualitative and quantitative characteristics of mass and energy exchange processes in the biosphere and climate changes. The need to take these processes into account in solving the problems of territorial planning itself generates the need to improve the methodological basis for preparing documents in terms of balancing the composition of functional zones, determining their parameters and the planning structure of the territory.

**Key words:** territorial planning, functional zoning, mass and energy exchange in the biosphere, climate-forming role of urban planning activity.

### Глобальный инструмент в социальной эволюции биосферы

Градостроительство — единственный и по-своему уникальный вид деятельности, который в своих составных частях: теоретической базе, методологии, практике прогнозирования, планирования и проектировании, а также мате-

риально-пространственных формах реализации, может комплексно решать социально обусловленные, экологически и экономически сбалансированные задачи обеспечения благоприятных условий устойчивых процессов жизнедеятельности человека в любых природно-климатических и ландшафтно-географичес-

ких ситуациях, вне зависимости от социально-политического и административного устройства общества в целом и отдельных общественных групп.

Преобразование окружающей среды путем последовательной трансформации функционально-планировочной организации любых природных и культурных

(сельских и городских) ландшафтов, а также размещение объемно-пространственных форм имущественных комплексов, определение видов и сроков их наиболее эффективного использования в текущем и отдаленных периодах должны являться содержанием научно-методологических обоснований и нормативно-проектных инструментов, применяемых при решении градостроительных задач на всех таксонометрических уровнях подготовки планировочной, архитектурно-строительной и инженерно-технической документации, определяющей программно-целевые установки и стратегическое и территориальное планирование административных образований, их функционально-планировочную организацию и архитектурно-строительное использование выделяемых земельных участков [1].

Конституционные требования обеспечения комфортных условий жизнедеятельности населения России и создания экологически здоровой и возобновляемой окружающей среды устанавливают необходимость достижения в каждой конкретной градостроительной ситуации сбалансированного сочетания природных и социально-экономических количественных параметров и качественных характеристик. В свою очередь, этот вызов может быть воспринят только в результате комплексного сочетания природоведческих, социальных, экономических и технических знаний, дополняющих друг друга и создающих на интеграционной основе уникальные планировочные и объемно-пространственные модели, а также расчетные механизмы экологически допустимых, технически совершенных, экономически эффективных и эстетически выразительных градостроительных композиционных решений и архитектурных форм, которые составляют в со-

вокупности основу социально-экономического развития административно-территориальных образований.

Потребность учета сведений имущественной регистрации картографируемых сохраняемых, создаваемых и планируемых объектов в условиях глобального развития урбанизационных процессов определяет последовательное совершенствование инструментов пространственной организации и рационального функционального назначения территории в составе документов градостроительной деятельности.

Балансовые соотношения между видами хозяйственного использования и строительных преобразований земной поверхности в разных природно-хозяйственных зонах ответственны за параметры окружающей среды, комфортные и некомфортные условия жизни населения, устанавливают допустимые и опасные с экологической точки зрения характеристики масштабов и направлений урбанизационных процессов, их позитивную и негативную социально-экономическую эффективность и возможности градостроительного развития на ближайшую и отдаленную перспективу [2].

Фактурные особенности и плановый рисунок участков различных видов земной поверхности: лесной растительности, сельскохозяйственных угодий, арктических пустынь и аридных зон, заболоченных территорий, горных массивов, акваторий и населенных пунктов, сохраняемых природных комплексов и зон полной или частичной деградации естественных ландшафтов — в совокупности определяют содержание массоэнергообменных процессов на локальных, региональных и континентальных, а следовательно, и на планетарном уровнях биосферной организации планеты.

Знание этих особенностей для территорий любых административных образований дает возможность обеспечить рациональное проектное экономически целесообразное и экологически сбалансированное моделирование устойчивого природопользования и градостроительного развития в границах этих образований. Кроме того, это открывает перспективы совершенствования общей методологии градостроительной деятельности, развития ее как проектного инструмента социальной эволюции биосферы и экологических ограничений технологий хозяйственной деятельности [3].

#### **Региональные инструменты социально-экономического развития**

К сожалению, с изменением социально-политического и экономического устройства страны в конце XX в. стала крайне важна и приоритетна не комплексная, а отраслевая ресурсообеспеченность административно утверждаемых проектных документов территориального планирования муниципальных образований. Набор технико-экономических показателей, по которым оценивается социальная и экономическая эффективность, а также экологическая допустимость градостроительного развития населенных пунктов и систем расселения фактически не менялся до настоящего времени [4]. Также принципиально не изменились функциональное содержание и структура территорий теперь уже муниципальных образований городских и сельских поселений, городских округов и городов федерального значения. От этих показателей требуется достижение как общероссийских стандартов, так и местных и региональных нормативов градостроительного проектирования, не предусматривающих оценки биосферных и

климатических последствий хозяйственной и градостроительной деятельности<sup>1</sup>.

Нормативы градостроительного проектирования определяются реальными возможностями конкретных административно-территориальных образований локального и даже регионального уровней, необходимостью достичь в планируемый период показателей, обеспечивающих минимально достаточный количественно-качественный стандарт условий жизнедеятельности населения данных градостроительных образований [5].

При этом расчетные механизмы определения местных потребностей в организации и характеристиках проектируемой архитектурно-градостроительной среды фактически не пересматривались. Теоретико-методологической базы градостроительного проектирования в изменившихся социально-экономических условиях на уровне населенных пунктов и их систем своевременно не было создано. Нет ее и сейчас. Федеральные (государственные) стандарты в области коммунально-бытовой организации жизни населения до сих пор переключаются из строительных норм и правил в области планировки и застройки городов, сельских населенных пунктов 1970–1990-х гг. в региональные и местные нормативы градостроительного проектирования. Нормируемые значения этих показателей практически не менялись даже исходя из региональных, а иногда и местных особенностей достигнутого уровня жилищной обеспеченности и производных от них характеристик развития социальных и инженерно-транспортных систем населенных пунктов.

Функции этих производных показателей, как правило, носят характер отраслевых инфраструктурных норм и слабо меняются даже под воздействием новых технологий организации жизне-

деятельности населения, степени его мобильности, разнообразия форм и структуры занятости трудоспособного контингента, достижения экологически чистых решений в различных областях производственной, коммунально-складской деятельности, современных мировых практик обеспечения благоприятной и безопасной архитектурной среды, организации пассажирских и грузовых корреспонденций в различных формах безмоторных и нескоростных коммуникаций, развития информационных технологий и средств связи во всех сферах национальной экономики.

Отраслевой консерватизм на фоне отсутствия научно-методологических и технологических новаций в градостроительной сфере противодействует инновационным подходам к организации современной и удобной во всех отношениях окружающей среды. Не развивая комплексную градостроительную науку и нормативную базу на основе актуальных и перспективных социальных, инженерных и технологических разработок, Россия объективно остается на обочине архитектурно-градостроительного прогресса, оперируя старыми, уже сегодня неэффективными технологиями природопользования и организации среды с высокочувствительным внутренним валовым продуктом, по крайней мере в коммунально-бытовом, социальном, инженерно-транспортном и энергетическом секторах экономики, которые к тому же не соответствуют сложившимся условиям размещения и обновления основных фондов производственно-энергетических комплексов, объектов транспортной и социальной инфраструктуры.

В нашей стране нет органа, от-

ветственного за реально эффективную, хотя бы в планируемой перспективе, пространственную организацию социально-экономической системы. При этом вопросы комплексного формирования архитектурной среды на локальном уровне отнесены к полномочиям местных муниципальных администраций, однако у них нет ни обязанностей, ни ресурсов для научно-методического обеспечения этих вопросов, которые отнесены к полномочиям разных отраслевых министерств и ведомств и никаким рабочим органом не сводятся в целостную систему взаимосвязанных нормативов параметров создаваемых отраслевых инфраструктур в единых проектных градостроительных документах<sup>2</sup>.

#### **Местные, интегральные инструменты устойчивого и комфортного развития**

В реальной практике подготовки градостроительной документации главенствует целевая установка на удовлетворение сиюминутных разнонаправленных запросов заинтересованных лиц и поиск возможностей при этом обеспечить в минимальном объеме социальные потребности нынешнего и будущего населения в явно урезанном с точки зрения комфортности виде. Полученные в результате такого подхода схемы территориального планирования муниципальных образований и генеральные планы любых населенных пунктов в лучшем случае характеризуются прежде всего формальным повтором кадастровых планов землеустройства территории с незначительной трансформацией видов использования и границ, во многом конъюнктурно выбранных участков из состава муниципальных

<sup>1</sup> Градостроительный кодекс РФ. Гл. 3.1. Нормативы градостроительного проектирования. Ст. 29.1–29.4.

<sup>2</sup> Указ президента РФ «Об упразднении Министерства регионального развития Российской Федерации» от 08.09.2014 г. № 612 (ред. от 15.05.2018).

депрессивных, заброшенных и неиспользуемых сельскохозяйственных наделов, а иногда и лесных угодий, попавших по каким-либо основаниям в ведение местных администраций, и которыми эта администрация была, иногда не вполне законно, вправе распоряжаться.

Поэтому ранее утвержденные документы территориального планирования не имеют реальной перспективы быть реализованными в полном объеме в отведенные законодательством сроки и не могут служить пространственной основой функционального резервирования территорий для последовательного и устойчивого социально-экономического и градостроительного развития административно-территориальных образований. При этом практически исключены градостроительные обоснования ресурсной целесообразности видов и объектов такого развития. Эти вопросы при утверждении проектных документов территориального планирования остаются как текущие задачи местных администраций будущих периодов и как их ответ на коммерческие предложения заинтересованных структур, иногда имеющих коррупционное содержание и рассчитанных на обеспечение собственной текущей эффективности на основе использования предоставляемых муниципалитетами территориальных, социальных, инженерных и транспортных ресурсов<sup>3</sup>.

Таким образом, если в проектах комплексной и районной планировки генеральных планов населенных мест 1960–1970-х гг. методологический упор делался на архитектурно-композиционные, возможные в пределах расчетного срока, планировочные решения и, как правило, ожидаемый расчетный рост населения, развитие градообразующей базы и градообслуживающих систем,

то проекты документов территориального планирования текущего периода представляют собой комбинацию элементов планировочной структуры территории однородных по видам использования земельных наделов, т. е. оказываются фактически незначительной трансформацией исходного опорного плана, представляемого сейчас в виде схемы современного использования территории<sup>4</sup>.

Это значит, что в проектных документах территориального планирования, и прежде всего в генеральных планах городских и сельских поселений, за полвека произошла методологическая трансформация от желаемой функционально-планировочной организации территории к фактической легализации и закреплению имущественных прав собственников. Смена основного вида собственности на земельные наделы и объекты капитального строительства от общенациональной государственной на частную и частично муниципальную при сохранении государственной (федеральной и региональной) собственности породила необходимость трансформации методологии и целей подготовки документации городских и сельских поселений, городских округов и городов федерального значения административно-территориальных образований районного и регионального уровней.

При сохранении нормативной опоры на принятые документы социально-экономического планирования возможность их адекватного применения ограничивается в основном текущим периодом, для которого фиксируется финансовое обеспечение планируемых мероприятий по государственным национальным и региональным проектам, а также отраслевым программам и программам естественных монополий, местным программам соци-

ально-экономического развития, которые определяют перечень и задачи размещения необходимых объектов капитального строительства. Поэтому содержание проектных документов территориального планирования свелось согласно норме Градостроительного кодекса РФ к установлению мест локализации этих объектов в соответствующих по функциональному назначению элементах планировочной структуры тех или иных поселений. В силу чего любые предложения инвестиционного характера, не закреплённые в государственных, отраслевых и муниципальных программах и не получившие одобрения в правовых актах местного уровня, не могут попасть в утверждаемые части проектных документов территориального планирования и не являются основанием для выделения необходимых земельных участков в составе муниципальных территорий. Их роль ограничена возможностью быть рассмотренными в инициативных и ненормативных документах типа концепций планировочного развития (или пространственной организации) территорий в границах административно-территориальных образований или их частей. В лучшем случае они могут попасть в материалы обоснований проектов документов территориального планирования, которые в свою очередь могут быть востребованы в перспективе, возможно даже за пределами расчетного срока, если для этого создадутся благоприятные условия<sup>5</sup>.

Таким образом, утверждая проектные документы территориального планирования национального и регионального уров-

<sup>3</sup> Градостроительный кодекс РФ, ст. 9, 20, 21.

<sup>4</sup> Градостроительный кодекс РФ, ст. 23.

<sup>5</sup> Градостроительный кодекс РФ, ст. 23, пп. 5, 8.

ней, а также муниципальных образований и городов федерального значения, одновременно закладываются условия для внесения в эти проекты частичных изменений, которые допускает действующая редакция Градостроительного кодекса РФ, или пересмотра решений данных документов в целом в рамках текущих локальных, региональных, федеральных и отраслевых задач стратегического и тактического характера в целях обеспечения условий и создания перспективной базы социально-экономического и градостроительного развития территорий данных образований.

Следовательно, градостроительная документация переходного периода в новейшей истории России объективно приобрела следующие важные методологические особенности.

1. Фактическая краткосрочность планирования и невозможность реального резервирования территорий для реализации долгосрочных и среднесрочных целей.

2. Периодическое внесение недостаточно обоснованных изменений в решения документов территориального планирования в связи с текущими потребностями социально-экономического развития и изменениями программных документов федерального, регионального и местного уровней, отраслевыми документами естественных монополий и предложениями заинтересованных лиц, а также инвестиционно-строительных компаний без комплексного анализа последствий их реализации.

3. Строгий учет существующего землеустройства на основе разрешенных видов использования территорий земельных участков и комбинирования на их базе соседних функциональных зон (территорий) для выбора рисунка планировочной структуры всего муниципального образования,

а также городов федерального значения.

4. Требование геодезически точного отображения положения объектов капитального строительства и занимаемых ими участков, так же как и свободных от застройки территорий, в официальных границах административно-территориальных образований в качестве подготовки схем современного использования территории (опорных планов).

5. Применение нормативного перечня видов функционального предназначения территорий и расположенных в их границах объектов капитального строительства в установленных форматах графического отображения и информационного описания Минэкономразвития России для выявления проблемных ситуаций и возможностей оптимизации развития функционально-планировочной структуры любого городского или сельского образования.

6. Анализ действующих тенденций в области количественных и качественных изменений, а также демографической структуры населения с целью обоснования расчетной численности административно-территориальных образований, его постоянных и временных контингентов для определения необходимых территориальных, инженерно-экологических и экономических ресурсов в целях обеспечения условий комплексного и устойчивого развития административно-территориального образования и определения оптимальной структурно-планировочной формы его организации. Выбор на этой основе базовых предложений и показателей проектного документа территориального планирования.

7. Необходимость анализа данных местной администрации, сформулированных в исходных материалах, техническом задании и предусмотренных контрак-

том на подготовку документации, а также предложений заинтересованных лиц и общественности по содержанию проекта документа территориального планирования с точки зрения соответствия законодательству, нормативной базе, территориальным и иным инфраструктурным ресурсам.

8. Замена по сути ранее применяемых категорий градоформирующей и градообслуживающей групп населения административно-территориального образования на категории, занятых на предприятиях и в организациях, а также самозанятых и индивидуальных предпринимателей в границах этого и соседних градостроительных образований в качестве расчетной базы демографических показателей развития данного образования.

9. Применение обновленных нормативов в области социального, транспортного и инженерно-ресурсного обеспечения и обслуживания населения в качестве основы для расчетных параметров развития социальной сферы, улично-дорожной сети и коммунальной инфраструктуры, определения в каждом случае дефицита и возможности его ликвидации в рамках действующих инфраструктурных программ социально-экономического развития.

10. Целесообразность сравнения действующих нормативных требований и стандартов, федеральных, региональных и местных установок с достигнутым уровнем организации экологической инфраструктуры муниципального (городского, сельского) образования для определения текущих и перспективных возможностей структурного и планировочного совершенствования системы рекреационных зон и системы зеленых насаждений на периоды реализации проектного документа территориального планирования.

Перечисленные особенности отражают сложившееся к настоящему времени в России профессиональное понимание проектной градостроительной деятельности. Ясно, что такое понимание находится в плену прошлого опыта архитектурно-строительной практики, когда вопросы рациональной организации материально-пространственной среды существования людей фактически не ставились для проектного осмысления. Хотя исторический процесс развития цивилизации неразрывно связан с целенаправленным преобразованием окружающего мира, потребность в формировании новой и адаптации сложившейся материально-пространственной среды функционирования человеческих сообществ требует развития комплекса научных знаний и практических умений, основной закономерностью и следствием которых является последовательное расширение области природопреобразующей экономической деятельности, переход от использования и приспособления естественных ландшафтов и компонентов природы к конструированию окружающей среды с заданными характеристиками [1].

При этом, как показывает практика, чрезвычайно важно, чтобы направления и параметры природопреобразующей и средоформирующей деятельности на каждом историческом этапе находились в допустимых пределах естественного массоэнергообмена внутри природных комплексов, вовлекаемых в хозяйственные и градостроительные процессы. Таким образом, задача проектного моделирования пространственной организации материально-вещественной оболочки жизнедеятельности социума закономерно и содержательно расширяется: от интерьеров сооружений к экстерьерам сельских и городских населенных пунктов и

далее к рациональному социально, экономически и экологически обоснованному пространственному распределению видов хозяйственной деятельности и природопользования, размещению объектов капитального строительства в составе документов территориального планирования, которые естественным образом приобретают дополнительную функцию оптимизации климатообразующих компонентов биосферы.

Сегодня возможности и потенциал преобразования природы в результате развития экономики достиг таких объемов, что, безусловно, был прав В. И. Вернадский, назвав человечество — новой геологической силой. В развитии этого тезиса можно вполне обоснованно считать градостроительство средством социальной эволюции био- и литосферы, инструментом создания пространственных условий устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития общества. Поэтому совершенно закономерно развитие архитектуры через градостроительство в ноосферогенез. На этом пути пространственно расширяющейся средоформирующей деятельности также закономерно расширяется область необходимых сопутствующих знаний и научных обоснований принимаемых проектных и планировочных решений [3].

В современных условиях профессиональные компетенции в сфере формирования материально-пространственной среды — архитектуры зданий и сооружений, ландшафтной архитектуры и организации территории населенных пунктов, городских и сельских поселений, городских округов и городов федерального значения — должны также включать компетенции в области территориального планирования и

стратегического пространственного социально-экономического развития всей иерархии административно-территориальных образований. Отсюда вытекает актуальность интеграции природо-ведческих и социально-экономических обосновывающих инструментов в градостроительной проектно-планировочной деятельности, которая последовательно приводит к необходимости совершенствования методологии процесса перманентного антропогенного преобразования и адаптации окружающей среды в пространственных условиях.

В настоящее время задачи социально-экономического развития России, сформулированные в посланиях и указах президента страны в последние годы в области градостроительной деятельности, преломляются в проблемы поиска инструментов обеспечения устойчивого развития каждого административно-территориального образования. Этим определяется актуальность и значимость развития градостроительной теории и методологии. Однако вопросы влияния градостроительной документации городских и сельских поселений, административных муниципальных районов и субъектов РФ на возможность обеспечения условий устойчивого социально-экономического развития этих образований, как объектов градостроительной деятельности, не отработаны, не обоснована целесообразность применения тех или иных методических инструментов для выработки конкретных планировочных решений.

Формирование системы таких обоснований и определения проектной градостроительной деятельности в целом в качестве специального набора инструментов создания необходимых материально-пространственных условий для устойчивого и сбалансированного социально-экономи-

ческого и градостроительного развития раскрывают перспективы совершенствования методологии в проектной градостроительной сфере.

Учет природной составляющей и социально-экономического потенциала территории в качестве базы развития градостроительных образований разного уровня раскрывает перспективы многоаспектного теоретического анализа и взвешенного, экологически допустимого распределения планируемых объектов градостроительной деятельности в границах административных образований, а также определения для них приоритетов хозяйственного назначения.

Распределение видов хозяйственной деятельности и объектов капитального строительства по земельным участкам, которое является результатом подготовки градостроительной документации, оказывает непосредственное влияние на создание условий устойчивого развития как на уровне регионов, так и на уровне муниципальных образований. При этом для каждого вида документов могут устанавливаться свои требования к результатам их подготовки и формироваться механизмы определения степени влияния размещения объектов капитального строительства федерального, регионального и муниципального уровней на создание таких условий для обеспечения устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития административно-территориальных образований.

Возможность пространственной детерминированности каждого объекта градостроительной деятельности позволяет обеспечить переход от данного определения к формированию бюджетов развития любых административно-территориальных образований через взвешенную и взаимовязанную налоговую полити-

ку и систему имущественных (арендных) платежей, что в свою очередь сможет сформировать экономическую составляющую создания условий устойчивого развития этих административно-территориальных образований.

В результате в градостроительном проектировании могут появиться обоснованные предложения по ряду показателей градостроительной деятельности, которые станут качественными и количественными критериями оценки успешности или ошибочности проектного моделирования условий устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития на любом таксонометрическом уровне пространственной организации страны.

Экономический потенциал каждого административно-территориального образования, его социально-демографические особенности, состояние окружающей среды, энергообеспеченность, применяемые производственные и коммунальные технологии на фоне устойчивых микроклиматических характеристик активности биосферных процессов массоэнергообмена, как нейтрализующих локальные техногенные воздействия, так и обеспечивающих воспроизводство и восстановление природных комплексов, в совокупности определяют возможность и задачи формирования предпосылок сбалансированного социально-экономического развития в конкретных природно-хозяйственных ландшафтных нишах.

Выделение природно-хозяйственных ландшафтных комплексов, так же как и обоснование допустимых направлений и объемов использования природных, экономических и социальных ресурсов, должно находиться в системе целей подготовки стратегий пространственного развития страны, стратегий, планов и программ со-

циально-экономического развития любых административно-территориальных образований, подготовки стандартной градостроительной документации. Данные цели могут быть достигнуты с помощью приемов зонирования и районирования территории, ее деления на макро-, мезо- и микрохозяйственные зоны, для которых в сложившейся градостроительной и экономико-географической ситуации целесообразно сформировать иерархически организованный ряд регламентов для установления видов хозяйственной и градостроительной деятельности в экологически, экономически и социально допустимых параметрах.

Виды и параметры допустимых преобразований ландшафтных комплексов уточняются в документах территориального планирования, в части размещения объектов производственно-энергетической, транспортно-логистической, природоохранной и социальной инфраструктуры не только на пригодных для реализации указанных целей территориях, но также на приморских и внутренних акваториях. Выбор места размещения может рассматриваться в качестве следствия соответствующего природно-хозяйственного зонирования и градостроительного районирования и требований, вытекающих из задач подготовки стратегических документов пространственной организации и социально-экономического развития административно-территориальных образований.

Следовательно, условия устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития в градостроительной плоскости природно-хозяйственной (функционально-планировочной) организации территорий формируются исключительно в рамках экологически и экономически уравновешенного природополь-

зования в границах ландшафтных выделов путем обоснованного экономически эффективного и экологически допустимого размещения объектов капитального строительства необходимого отраслевого предназначения. Поэтому обеспечение условий устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития административно-территориальных образований может быть достигнуто на основе сочетания рациональной организации природопользования и комплексной социальной и экономической обоснованности зон размещения объектов капитального строительства всех уровней и значимости.

Территориальное планирование, градостроительное зонирование и планировка территорий как инструменты, с помощью которых может быть проведена данная работа, методологически направлены на локализацию и обоснование задач необходимой программной трансформации сложившейся системы земельно-имущественных отношений и функционально-планировочной структуры муниципальных образований разного таксонометрического уровня и видов. Таким образом, цели градостроительной деятельности заключаются в безусловной реализации в пределах расчетных периодов всего комплекса соответствующих мероприятий, предусмотренных в документах федерального, регионального и местного уровней, в которых определяются и предлагаются возможные решения по недопущению и снятию внутренних противоречий между этими мероприятиями, а также по преодолению явных ресурсных ограничений в системе реализации.

Качество жизни и комфортная среда — это субъективная оценка взаимозависимых условий жизнедеятельности. Уровень комфорта жизни в культурно-быто-

вом и пространственно-средовом, интеллектуально-творческом и экономическом отношении ощущается и оценивается каждым индивидуально в зависимости от степени его интеграции и социализации в обществе. С ощущением комфортности жизни городским и сельским населением связана возможность достижения и сохранения количественных и качественных параметров устойчивого и прогнозируемого социально-экономического развития в пространственных рамках административно-территориальных образований любых таксонометрических уровней и комбинаций объектов градостроительной деятельности.

Эти параметры в виде актуальных показателей по каждому из направлений социально-экономического развития определяют достигнутые стандарты качества жизни населения и степени комфортности среды сельских и городских поселений, городских округов и городов федерального значения в разных природно-климатических зонах страны и в различных региональных экономико-географических условиях их дислокации. Комплексные и отраслевые прогнозы научно-технологического развития и трансформации социально-демографической структуры общества, а также его общей численности, состояния здоровья, образовательного и культурного уровня населения позволяют формулировать перспективные стандарты качества жизни и комфортности среды, которые могут быть достигнуты как в пределах текущего периода, так и в среднесрочной и долгосрочной перспективе в виде нормативов градостроительного проектирования.

На основе нормативов градостроительного проектирования административно-территориальных образований формируются отраслевые схемы и программ-

ные документы с перечнем мероприятий организационно-управленческого и финансового обеспечения условий достижения желаемых параметров качества жизни и комфортности среды. Их закрепление в разряде нормативных правовых актов государственного и муниципального уровней переводит мероприятия по реализации градостроительных планировочных решений в задачи органов государственного и муниципального управления в соответствии с полномочиями этих органов.

В практическом смысле совокупность направлений и подходов к совершенствованию методологии градостроительного проектирования означает:

- развитие механизмов эколого-ландшафтных, бассейновых и социально-экономических обоснований и их использование на всех уровнях проектной градостроительной деятельности в виде материалов по обоснованию решений в документах стратегического и территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки и застройки территорий;
- расширение информационной базы и вовлечение в проектный процесс формирования комфортных средовых условий обеспечения безопасной рациональной и устойчивой хозяйственной деятельности сведений о потенциалах природных и социально-экономических ресурсах поселений, муниципальных районов, субъектов Российской Федерации, в том числе ресурсах внутренних и внешних морских акваторий, подземного и надземного пространства;
- совершенствование инструментов и приемов эстетически обоснованной пространственной организации материально-вещественной среды в урбанизированных зонах страны: в городских образованиях и населенных

пунктах разной величины, в городских и сельских поселениях.

В этом свете перед научным градостроительным сообществом формируются новые задачи и открываются перспективы развития теоретических основ и методологии как в традиционных сферах архитектурно-градостроительной науки в области организации пространственной среды, так и в новых смежных направлениях стратегического эколого-ландшафтного (бассейнового), морского и в перспективе космического пространственного планирования.

На такой теоретико-методологической базе градостроительное проектирование сможет приобрести пространственные характеристики и цифровое содержание, которые поддаются автоматизированной обработке и могут оперировать практически неограниченным множеством реальных объектов градостроительной деятельности в проектом процессе их совместного преобразования.

Одним из важных следствий предлагаемых направлений развития методологии градостроительного проектирования станет возможность превращения формальных документов территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территорий в обосновывающие и расчетные материалы доходных и расходных частей бюджетов муниципальных образований поселенческого и районного уровней, а также бюджетов субъектов РФ, бюджетов, построенных на определении стоимости занимаемой каждым градостроительным объектом пространственной ячейки, величины затрат на функционирование данного объекта и вели-

чины получаемых доходов от его экономической деятельности.

Превращение градостроительной проектной документации в бюджетно-обосновывающие материалы разных таксонометрических уровней наряду с углублением их природоведческой и социально-экономической обоснованности может оказаться важным направлением, которое будет соответствовать развитию современной информационной модели организации градостроительной деятельности в нашей стране, иметь общетеоретическое значение в части совершенствования методологии пространственной организации материально-вещественной среды жизнедеятельности любых общественных групп, объединений и коллективов в градостроительном пространстве России.

#### В ы в о д

Представляя методологию градостроительного проектирования как инструмент экономически целенаправленной и экологически допустимой социальной эволюции био- и литосферы, а также как средство создания условий для комфортного и безопасного пространственного развития административно-территориальных образований РФ, можно дать следующие определения содержания видов стандартных документов пространственной организации страны:

- *стратегия пространственного развития административно-территориальных образований* — обоснование приоритетов экологически допустимого, экономически целесообразного и социально эффективного природопользования на основе ландшафтно-бассейного и

социально-экономического анализа ситуации и потенциалов, а также задач социально-экономического развития территории;

- *территориальное, ландшафтное и морское планирование* — оптимизация пространственных форм экономической деятельности, элементов планировочной структуры территории, систем расселения, определение ареалов (мест, районов) размещения объектов капитального строительства, в том числе объектов транспортной и инженерной инфраструктуры с учетом эколого-ландшафтных и социально-экономических обоснований видов и допустимых объемов использования природных возобновляемых и невозобновляемых ресурсов;

- *градостроительное зонирование территорий* — экологически устойчивое, социально обоснованное и экономически сбалансированное распределение видов и параметров территориальных зон в границах элементов планировочной структуры муниципальных образований и отдельных населенных пунктов;

- *планировка, межевание и застройка территорий* — образование эстетически выразительной системы комфортных и благоустроенных архитектурных пространств с заданными качествами, сформированными на основе закономерностей и психофизиологических особенностей визуального восприятия и ориентации человека в урбанизированной среде.

Данные целевые и содержательные установки разных масштабных уровней проектной градостроительной документации открывают реальные глубокие перспективы и особенности развития ее методологии.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Митягин С. Д. Экономика биосферы и градостроительство // Биосфера. 2011. Т. 3. № 2. С. 264–275.

2. Буров М. П. Современные проблемы земельных преобразований // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 10. С. 1–5.

3. Митягин С. Д. Развитие биосферы и градостроительство // Экспресс-информация АН СССР. Все-союз. совет НТО. 1986. № 6.
4. Исадченко А. П. Установление местоположения земельных участков с повышенной инвестиционной привлекательностью при территориальном плани-

ровании и градостроительном зонировании // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2009. № 4. С. 74–81.

5. Алексеев А. А. Некоторые тенденции учета земельных участков для целей налогообложения // Бизнес в законе. 2010. № 1. С. 17–19.

#### REFERENCES

1. Mityagin S. D. Biosphere economics and urban planning. *Biosfera*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 264–275. (In Russian).
2. Burov M. P. Modern problems of land transformations. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel*, 2015, no. 10, pp. 1–5. (In Russian).
3. Mityagin S. D. Biosphere development and urban planning. *Ekspress-informatsiya AN SSSR*. 1986, no. 6. (In Russian).
4. Isadchenko A. P. Establishing the location of land plots with increased investment attractiveness in territorial planning and urban zoning. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel*, 2009, no. 4, pp. 74–81. (In Russian).
5. Alekseev A. A. Some trends in the accounting of land plots for tax purposes. *Biznes v zakone*, 2010, no. 1, pp. 17–19. (In Russian).

**Для цитирования:** Митягин С. Д. Методологические особенности подготовки документов территориального планирования в современных условиях // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 59–68. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.59-68.

**For citation:** Mitiagin S. D. Methodological Features of the Preparation of Territorial Planning Documents in Modern Conditions. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 59–68. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.59-68. ■

## Школы и детские сады на BUILD SCHOOL в Москве

1–3 октября 2021 г. в Москве, в выставочном комплексе «Гостиный двор», состоится 5-я Международная выставка проектирования, строительства, ремонта, реконструкции, модернизации и оснащения школьных и дошкольных зданий, игровых площадок и детских спортивных сооружений Build School.

Мероприятие проходит в рамках Года архитектуры и строительства в СНГ.

Организаторы: Союз архитекторов России и Союз московских архитекторов.

Выставка проводится при поддержке Минпросвещения и Минстроя России, Аналитического центра при правительстве РФ, ФГБУ «ДИРЕКЦИЯ «ШКОЛА-2025», Комплекса градостроительной политики и строительства г. Москвы, Москомархитектуры, НИЦ «Строительство», Российской академии архитектуры и строительных наук.

Выставочная экспозиция включает проекты, образцы современных и инновационных строительных, отделочных материалов, мебели и оборудования для школ и дошкольных учреждений, а также примеры спортивных и игровых площадок.

Жюри единственного в России конкурса архитектурных проектов Build School Project, который проводится с 2017 г., будет оценивать проекты по

трем разделам: школы, детские сады, благоустройство территорий и игровые пространства.

Будут представлены проекты комплексного благоустройства территорий с учетом потребностей семей с детьми, задающие стандарты дворовых пространств, территорий образовательных и спортивных центров, отвечающих запросам родителей по безопасности, а детей — в игре и развитии.

Обширная деловая программа международной выставки включает панельные дискуссии, «круглые столы», презентации, мастер-классы по наиболее актуальным темам. Архитекторы и строители, производители и поставщики продукции, госзаказчики, девелоперы и операторы инфраструктурных объектов, новаторы образовательных систем обсудят актуальные вопросы создания современной инфраструктуры для детей.

С подробной информацией о выставке и условиях участия можно ознакомиться на сайте: [www.buildschool.ru](http://www.buildschool.ru).

Одновременно с выставкой Build School в Гостином дворе будут проходить XXIX Международный архитектурный фестиваль «Зодчество» и 3-й Всероссийский архитектурный фестиваль Best Interior Festival (BIF).

## Проект храма в честь святителя Спиридона Тримифунтского в Минске

Архитектура храма в честь святителя Спиридона Тримифунтского (см. 1-ю с. обложки) — это сочетание традиционных византийских элементов, черт модерна и старобелорусской храмовой архитектуры.

Основной храм комплекса, спроектированный мастерской «Прохрам» (руководитель проекта — Д. Остроумов, архитектор — П. Аскарлова), обрамлен развитыми галереями и соединен с колокольней, стилистически близкой к колокольне храма на о. Корфу, в котором находятся мощи святителя Спиридона. Малый храм представляет собой компактную, но вместительную ротонду с галереями и эркерами, своей архитектурой он ориентирован на раннехристианские ротонды Византии, в частности тектоникой близок храму Санта-Фоско в Торчелло (Италия). Впоследствии, после прохождения всех необходимых согласований, эту ротонду пришлось заменить на небольшую часовню, а вместо причтового дома появился временный деревянный храм, выполненный в современном стиле, однако при этом гармонично вписанный в общую архитектуру комплекса.

Участок расположен в Минске, на пересечении улиц Мазурова и Скрипникова. С востока расположен парк Дививелка. По рельефу участок понижен относительно улиц в среднем на 1 м. Генплан разработан в соответствии с обеспечением пожарного проезда вокруг зданий и возможности проведения крестных ходов. Спроектированы гостевая и служебная парковки, концептуально решено озеленение, размещение скамеек, малых форм и ограждения.

Материал стен зданий — кирпич. Фундамент железобетонный. Кровля — медь и фальцевый металл. Наружное покрытие стен — облицовочный кирпич, штукатурка; декоративные элементы и барельефы из армированного стеклофибробетона под натуральный камень и непосредственно из камня. Швы проработаны известково-цемяночным декоративным раствором.

Общая площадь основного храма — 720 м<sup>2</sup>. Он рассчитан на 650 человек и состоит из притвора, основного объема, боковых галерей, алтаря и колокольни. Храм одноглавый, бесстолпный. Основной объем перекрыт четырьмя несущими арками, образующими крещатый свод с наклонными щельгами распалубок, венчающийся световым барабаном. С южной и северной сторон расположены галереи, расширяющие основное пространство храма. В галереях предполагается также размещение Голгофы с панихидным столом и исповедального места. Ближе к алтарю, через отдельные двери, галереи переходят в пономарку и ризницу. С востока расположен алтарь, перекрытый сводами, центральная часть завершается апсидой с конхой. Притвор перекрыт крестовыми сводами. На втором уровне расположены хоры, переходящие в П-образ-



Часовня

ные небольшие галереи, регентская, кабинет, выход на колокольню и переход в причтовый дом. В притворе предусмотрен гардероб, церковная лавка, кабинет дежурного священника, комната уборочного инвентаря. Венчают храм традиционный византийский купол и соответствующая система кровли.

Относительно уровня земли храм поднят в среднем на 0,8 м. В здании один основной выход и три дополнительных, к одному из них примыкает пандус для маломобильных групп населения.

В процессе согласований с государственными структурами, проект несколько видоизменился. Уменьшился размер основного храма, но в нем появился цокольный этаж, однако первоначальный проект включал в себя большой храм, малый и причтовый дом.

Малый храм рассчитан на 350 человек. Он представляет собой ротонду диаметром 10 м с обходной трехметровой галереей, являющейся частью помещения для молящихся. В храме спроектирована купель с южной стороны в эркерной апсиде с помещением для переодевания приходящих к таинству крещения, а также выделены места под свечную лавку и для размещения клироса. Из храма предусмотрено три выхода, спроектирован пандус для маломобильных групп населения.

Конструкция храма представляет собой купол с 16 световыми проемами на четырех тропках и четырех подпружных арках. Галереи перекрыты крестовыми сводами, эркеры с юга и севера венчаются конхами, в алтарной части два крестовых свода и по центру — цилиндрический, завершающийся конхой с апсидой под ней. Относительно уровня земли храм поднят на 0,45 м. Фасады украшены пилястрами с арочными

молдингами, мозаичными фрагментами и барельефами, а также декоративной кирпичной кладкой.

Причтовый дом спроектирован для приходских нужд и для миссионерско-просветительской и социально-благотворительной работы. Все необходимые инженерные помещения для функционирования комплекса расположены на нижнем уровне причтового дома. Там также спроектированы санузлы для посетителей с отдельным входом с улицы. Помимо этого, на нижнем уровне расположены мастерская и зал. На первом этаже причтового дома — трапезная с возможностью выхода на террасу, дополнительные помещения и церковный магазин. На втором этаже — классы для занятий, кабинеты и зал для собраний с выходом через балкон на эвакуационную лестницу. Потолок зала выше потолков остальных помещений второго этажа за счет поднятия конструкции кровли. Через второй этаж осуществляется переход на хоры основного храма. Сам переход может функционировать как отдельное помещение для занятий воскресной школы.

На территории храмового комплекса спроектирована часовня. Ее архитектура созвучна византийской стилистике главного храма, но декоративные элементы более детализированы: фасад украшают изящные пилястры с резными капителями, окантовый орна-

мент, витражи. Планировочная схема предельно проста: квадратный план с полукруглой апсидой с востока символизирует земное, а купол над ним отсылает к небесному. Наружная отделка стен выполнена штукатуркой с применением элементов из композитного материала под натуральный камень или из натурального камня, покрытие кровли — свинец.

Эскизный проект комплекса разработан в соответствии с основными архитектурно-строительными нормативными актами, с соблюдением всех необходимых богослужебных и функциональных особенностей деятельности прихода и в контексте традиционной архитектуры православной церкви.

В процессе согласований с государственными структурами проект несколько видоизменился: уменьшились размеры обоих храмов и был исключен причтовый дом, вместо которого в обоих храмах появились цокольные этажи.

*На XXVIII Международном архитектурном фестивале «Зодчество 2020» проект храма в честь святителя Спиридона Тримифунтского в Минске удостоен золотого диплома смотра-конкурса «Храмовая архитектура».*

*(По материалам мастерской «Прохрам»)*

## Благоустройство правобережной набережной Енисея в Красноярске

В Красноярске связь территорий города с рекой — это мощный потенциал для развития целостного рекреационного каркаса и возврата природы в город. Енисей и впадающие в него реки Кача, Базаиха и множество ручьев за тысячелетия сформировали впечатляющий своей красотой природно-ландшафтный каркас. На его основе образовались такие крупные рекреационные кластеры, как «Бобровый лог», заповедник «Столбы», экопарк «Гремячая грива», Николаевская сопка, Торгашинский хребет. В центре города каркас включает в себя островные, прибрежные территории и набережные.

Задачей авторского коллектива было сохранить и дополнить озеленение, применяя многолетники, кустарники и деревья хвойных пород. Озеленение обеспечивало создание ветрозащитных барьеров и понижение температуры воздуха в жаркий период. Одной из его составляющих была посадка групп сосен для дополнения цветовой палитры набережной в зимнее время, улучшения визуальной панорамы и визуальной защиты от объектов технической инфраструктуры.

На участке второй очереди набережной предусмотрено создание небольшого водно-ландшафтного парка. Растения, формирующие ландшафтный дизайн и высаживаемые на стыке воды и береговой полосы, устойчивы к изменяемому уровню Енисея и яв-

ляются биологическими очистителями воды. Посадка таких растений особенно важна на участках, где расположены точки сброса горячей воды ТЭЦ, поскольку из-за высокой температуры и медленного течения вода здесь начинает цвести в летний сезон.

В организации системного благоустройства набережной авторы определили одним из ключевых подходов тактичное отношение к пространственным кодам, заложенным предыдущим автором набережной архитектором А. Брусняным: была максимально сохранена планировочная и пространственная структура, в облицовке стен и лестниц применен натуральный камень — знаковый материал, относящий нас к названию города на Красном Яре.

Одним из ключевых ориентиров в организации пространств и отдельных объектов набережной являются визуальные связи. Три основных направления восприятия — это коммунальный мост с восточной стороны, ставший своеобразным памятником истории; с западной стороны — это вид, открывающийся на русло Абаканской протоки, на Николаевскую сопку на левом берегу; в юго-западном направлении — акцент на г. Такмак. Параллельно набережной, на другом берегу реки, — природная панорама о. Отдыха.

Особенно важно было понять — на какой контингент должно быть рассчитано благоустройство. Жите-

ли давно построенного прилегающего жилого района — это в основном пожилые люди. В то же время строительство ЖК «Белые росы» в 2010–2019 гг. предопределило появление множества молодых семей с детьми, студентов. Эти аспекты и определили ориентацию на разновозрастные группы и создание разнообразной программы для них.

Согласно проекту правобережная набережная — это многоуровневый линейный парк, разные участки которого имеют свои средовые и тематические особенности. Начинаясь с упорядоченной, регулярной планировочной композиции в районе Предместной площади, он меняет свои пространственные свойства в зоне детских площадок, где формируется структура дорожек, отвечающая естественному рельефу и существующему озеленению.

Авторы благоустройства правобережной набережной (см. 4-ю с. обложки) запроектировали в выступающей части набережной, где разрушалась подпорная стенка, амфитеатр, объединяющий два уровня набережной. В его композиционном центре, на верхнем уровне, расположен акцентный элемент — арт-объект, архитектура которого олицетворяет тезис — «Енисейская Сибирь». Его расположение — визуальный перекресток, видимый со всех точек окружающего пространства. Арт-объект продолжает стратегическую линию, взятую городом, на создание элементов активного светового дизайна, качественно дополняющего городскую среду, реализуемую и в подсветке моста. Применяемые деревянные конструкции — не просто дань современным тенденциям, но и определенная тональность сибирского контекста; используемые также в сиденьях амфитеатра, «утопленные» в гранит они несут в себе оттенок тепла, сохраняя городскую стилистику дизайна.

Променадная часть уходит в западную сторону от амфитеатра, сохраняя свои основные качества в планировке озелененных треугольных элементов. В этой части появляются навесы «лотосы» со скамьями, ориентированными в разных направлениях. Со стороны велодорожки, скамьи — это место общения велосипедистов, роллеров, скейтбордистов и жителей, увлекающихся оздоровительным бегом. Здесь появляются и велопар-

ковки. Линейно расположенные группы навесов в окончании зеленой оси выходят на открытую площадку. В этом месте среда набережной от парадно-идейной составляющей в районе амфитеатра, далее прогулочного променада постепенно переходит в зону более активного времяпрепровождения, а в озелененных участках аллеи появляются спортивные и детские площадки.

Площадка, где расположен амфитеатр со сценой, завершается спуском к воде. Пространство здесь организовано таким образом, чтобы проводить массовые мероприятия. В перспективе на верхнем уровне будет расположен «Визит-центр», в котором разместятся комната матери и ребенка, торговые точки, прокат спортивного оборудования, санузлы.

Рядом со сценой появится многофункциональный виадук-терраса. Он развернут от продольной оси движения в сторону Николаевской сопки, раскрывая вид на дальнюю перспективу. На нижнем уровне виадука, на территории, покрытой деревьями, разворачивается комплекс детских площадок, завершающийся детским скалодромом.

**Организации:** ООО «АДМ», ООО «АНИКС», АО «Гражданпроект», ООО «Ред-бизнес», ООО «Тектоника».

**Авторский коллектив:** Е. А. Зыков, Ю. А. Кузнецова, А. Д. Мякота, А. Н. Спиридонов при участии: О. А. Михайленко, В. И. Ульянова, Ю. С. Оглоблиной, К. Е. Савицкой, А. А. Емашкиной, В. И. Пахомовой, Е. В. Елизаровой, Л. В. Грибакиной, М. В. Туровиной, А. Ю. Якимовой, Е. А. Спиридонова, Ю. Е. Коротцовой, М. И. Сафоновой, Е. Ю. Зябликовой, К. А. Юдиной, Р. Ю. Волошко.

*На XXVIII Международном архитектурном фестивале «Зодчество 2020» проект благоустройства правобережной набережной Енисея в Красноярске удостоен серебряного знака смотря-конкурса «Архитектурные произведения. Постройки 2018–2020» в номинации «Открытые общественные пространства».*

*(По материалам ООО «Тектоника»)*

Журнал «ПГС» входит в Перечень ВАК по специальностям:

- 05.23.01. Строительные конструкции, здания и сооружения;
- 05.23.02. Основания и фундаменты, подземные сооружения;
- 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение;
- 05.23.04. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов;
- 05.23.05. Строительные материалы и изделия;
- 05.23.08. Технология и организация строительства;
- 05.23.11. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей;
- 05.23.17. Строительная механика;
- 05.23.19. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства;
- 25.00.07. Гидрогеология.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ, ЖЕЛАЮЩИХ ОПУБЛИКОВАТЬ СТАТЬИ В ЖУРНАЛЕ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

1. Для публикации статьи в нашем журнале вам необходимо представить:

- сопроводительное письмо-заявку (форму нужно скачать с сайта [www.pgs1923.ru](http://www.pgs1923.ru), раздел «Авторам»);
- экспертное заключение о возможности публикации статьи в открытой печати (для тематики, по которой такие запреты возможны, например строительство атомных станций, загрязнение окружающей среды и т. п.);
- электронную версию статьи;
- список цитируемой или использованной литературы (желательно не менее 20 источников), оформленный в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5—2008 «Библиографическая ссылка» (по аналогии со списками литературы, приводимыми в конце диссертаций). Русскоязычные источники обязательно должны содержать транслитерацию на латинице (<http://ru.translit.net>, вариант BGN). При этом после транслитерируемого заглавия статьи или книги в квадратных скобках дается перевод названия статьи или книги на английский язык. Аналогично: для иностранных источников в квадратных скобках дается перевод заглавия статьи или книги на русский язык;
- аннотацию (100–150 слов) и ключевые слова (5–10 слов или словосочетаний) на русском и английском языках;
- индекс УДК;
- сведения об авторах на русском и английском языках: полное имя и отчество, фамилия; точное место работы или учебы каждого автора; адрес места работы или учебы; электронные адреса для публикации в журнале и для высылки корректуры статьи (разграничить, что для публикации, а что **только** для редакции), номера телефонов авторов для снятия вопросов по статье (телефоны **не** публикуются, а используются только для оперативного решения возникающих вопросов).

2. Рекомендуемый объем статьи — до 12–15 страниц (включая таблицы и рисунки), с умеренным количеством формул (без их вывода на страницах журнала).

3. Плата за публикацию научных статей с аспирантов не взимается.

4. Статьи, содержащие формулы и пересылаемые по электронной почте, помимо word-файла, должны дублироваться pdf-файлом, чтобы избежать искажения формул.

5. Обозначения физических величин следуют объяснить при первом упоминании в тексте или в экспликации к формуле. Единицы физических величин должны быть приведены в соответствии с Международной системой единиц (СИ).

6. Рисунки и таблицы должны иметь названия.

7. Список литературы должен содержать преимущественно ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов, в первую очередь статьи, опубликованные за последние пять лет в рецензируемых, индексируемых в РИНЦ, Web of Science, Scopus научных периодических изданиях.

Не следует ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную литературу (если только они не являются объектом исследования), а также авторефераты и диссертации (если они не находятся в открытом доступе в Интернете). Полное описание ГОСТ, СНИП, постановлений и т. п. приводится непосредственно в тексте статьи при первом упоминании, в дальнейшем указывают только номер документа.

8. Следует избегать необоснованного самоцитирования, т. е. избыточного количества ссылок на собственные работы, опубликованные в разных журналах. Рекомендуемый объем самоцитирования — в пределах 20 % общего числа ссылок.

9. Все поступившие статьи проходят процесс рецензирования.

10. Статья, принятая к публикации в согласованные автором и редакцией сроки, проходит принятый в редакции процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, снятие вопросов с автором, художественно-техническое редактирование, верстку, корректуру.

11. Технические требования к оформлению статей:

- форматы файлов для текста — OpenOffice (.odt) или MS Word (.doc), версии не старше Word XP (не .docx);
- векторные рисунки (схемы и графики) — в формате CorelDRAW (.cdr) до 12-й версии включительно, все шрифты — в кривых;
- растровые рисунки (фото) — в TIFF (JPG или GIF), с разрешением не менее 300 dpi (цветные в режиме CMYK) и физическим размером не менее 10 см по меньшей стороне;
- все графические файлы должны быть представлены отдельными файлами: один рисунок — один файл графического формата.

12. Рукописи статей, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

**Редакция надеется на понимание со стороны авторов, так как эти правила продиктованы современными требованиями, предъявляемыми к научным периодическим изданиям.** ■

Организатор конференции



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



**21-23**  
**СЕНТЯБРЯ**  
2021

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**«РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА  
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ»**

**МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:**  
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ  
УЛ. СУЩЁВСКИЙ ВАЛ, 74, 2 ЭТАЖ

Генеральный спонсор  
конференции



ГК «ЛАРСЕН ГРУПП»



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)  
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

ЛАУРЕАТ ФЕСТИВАЛЯ «ЗОДЧЕСТВО-2020»  
БЛАГОУСТРОЙСТВО ПРАВОБЕРЕЖНОЙ НАБЕРЕЖНОЙ ЕНИСЕЯ,  
КРАСНОЯРСК

