



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр

# ВЕСТНИК

НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

№ 3 (22) 2019



**ЦНИИСК**  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



**НИИЖБ**  
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



**НИИОСП**  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

Номер содержит публикации докладов специалистов АО «НИЦ «Строительство» на конференциях, форумах, семинарах и других мероприятиях, состоявшихся в конце 2018 - начале 2019 гг.

Издается с 1932 г. под названием «Исследования по теории сооружений», с 2009 г. – ВЕСТНИК ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений», с 2010г. – ВЕСТНИК НИЦ «Строительство»  
Выходит четыре раза в год

Учредитель: АО «НИЦ «Строительство»

Адрес редакции: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, дом 6, стр. 1  
Тел.: +7 (495) 602-00-70 доб. 1014 / 1002  
e-mail: [vestnikstroy@list.ru](mailto:vestnikstroy@list.ru)

При цитировании ссылка обязательна.  
Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

- Главный редактор ЗВЕЗДОВ Андрей Иванович**, д-р техн. наук, проф.  
БАЖЕНОВ Валентин Георгиевич, акад. АИН, д-р физ.-мат. наук, проф. (НИИМ ННГУ, г. Н. Новгород)  
VAL Dimitri V., Dr. (School of the Built Environment, Heriot Watt University, Edinburgh, UK)  
ВЕДЯКОВ Иван Иванович, д-р техн. наук, проф. (дир. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
ДАВИДЮК Алексей Николаевич, д-р техн. наук (дир. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
ЕРЕМЕЕВ Павел Георгиевич, д-р техн. наук, проф. (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
КОЛЫБИН Игорь Вячеславович, канд. техн. наук, (дир. НИИОСП им. Н.М. Герсманова АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
КОНДРАТЬЕВА Лидия Никитовна, д-р техн. наук, проф. (СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург)  
КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич, д-р техн. наук, проф. (ПУТ МИИТ, г. Москва)  
LYAMIN Andrei, Prof. (School of Engineering, Callaghan, Australia)  
МАИЛЯН Дмитрий Рафаэлович, д-р техн. наук, проф. (ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону)  
МОНДРУС Владимир Львович, д-р техн. наук, проф. (МГСУ, г. Москва)  
НЕМЧИНОВ Юрий Иванович, акад. АИН, АСУ, д-р техн. наук, проф. (ГП НИИСК, г. Киев, Украина)  
НЕСВЕТАЕВ Григорий Васильевич, д-р техн. наук, проф. (ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону)  
ОБОЗОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф. (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
PUZRIN Alexander, Prof., Dr. (Institute for Geotechnical Engineering, Zurich, Switzerland)  
ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ Константин Пантелеевич, д-р техн. наук, проф. (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
СТАВНИЦЕР Леонид Рувимович, д-р техн. наук, проф. (НИИОСП им. Н.М. Герсманова АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
ТАМРАЗЯН Ашот Георгиевич, д-р техн. наук, проф. (МГСУ, г. Москва)  
ТЕР-МАРТИРОСЯН Армен Завенович, д-р техн. наук (ИГЭС НИУ МГСУ, г. Москва)  
ТРАВУШ Владимир Ильич, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (АО «Горпроект», ЦНИИЭП, г. Москва)  
ФАРФЕЛЬ Михаил Иосифович, канд. техн. наук (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
ФЕДОРОВСКИЙ Виктор Григорьевич, канд. техн. наук (НИИОСП им. Н.М. Герсманова АО «НИЦ «Строительство», г. Москва)  
ХАЧИЯН Эдуард Ефремович, акад. НАН РА, д-р техн. наук, проф. (ЕГУАиС, г. Ереван)

Вестник НИЦ «Строительство. Сб. статей. Вып. 3(22) /под ред. А. И. Звезда – М.:

АО «НИЦ «Строительство». 2019. – 156 с.

ISSN 2224-9494

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ ФС77 – 75188 от 22 февраля 2019 г.

Содержит статьи, посвященные актуальным проблемам развития теории сооружений, бетона и железобетона, геотехники и подземного пространства, непосредственно связанные с решением практических задач.

Для научных работников, инженеров-проектировщиков, преподавателей, аспирантов.

ISSN 2224-9494 © АО «НИЦ «Строительство», «Вестник НИЦ «Строительство», 2019

# Содержание

<b>А. В. Беляев, С. С. Антипов</b> Практический опыт построения информационной и расчётной моделей по результатам технического обследования на примере башни «Эволюция» .....	5
<b>И. А. Боков, В. Г. Федоровский</b> Усовершенствованные функции влияния для расчета по МКВВ. Сравнение результатов расчетов с численным решением и опубликованными результатами. ....	14
<b>И. И. Ведяков, М. И. Фарфель</b> Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации при реконструкции большой спортивной арены «Лужники» в г. Москве к ЧМ по футболу в 2018 году .....	27
<b>И. И. Ведяков, П. Д. Одесский</b> Современные отечественные стандарты и вопросы расширения применения металлических конструкций в строительстве.....	42
<b>А. Н. Давидюк, Ю. С. Волков</b> Об оценке результативности деятельности НИИ строительного профиля по методике Минобрнауки РФ .....	54
<b>А. Н. Давидюк, А. Е. Никитин</b> Опыт изготовления и монтажа сборных стеновых панелей на строительной площадке для сельского и коттеджного строительства .....	61
<b>Х. А. Джантимиров, И. Ф. Валиев</b> Рекультивация промзоны БЦБК и прилегающей территории побережья оз. Байкал с применением геотехнических технологий. Краткая концепция .....	69
<b>С. С. Жоробаев</b> Контроль влажности бетона при интенсификации твердения бетона монолитных железобетонных конструкций .....	79
<b>С. А. Подмазова, М. В. Глушкова</b> О необходимости входного контроля бетона на стройплощадке .....	85
<b>В. В. Ремнев, А. В. Ремнев</b> Строительство транспортной инфраструктуры на островах Арктики и побережья Крайнего Севера с использованием инновационных материалов на основе технической серы .....	90
<b>В. Ф. Степанова, А. В. Бучкин, Е. Ю. Юрин, Е. И. Никишов, И. В. Абрамов, Ю. В. Турыгин, П. В. Лекомцев</b> Приспособление анкерного типа для реализации натяжения композитной полимерной арматуры для преднапряжённых бетонных конструкций.....	98
<b>М. И. Фарфель, М. И. Гукова, Д. В. Кондрашов, Д. Ю. Коняшин</b> Вынужденное усиление каркаса здания производственно-складских помещений в г. Хотьково Московской области.....	112
<b>И. В. Хритин</b> Экспериментальные исследования влияния деформаций массива грунта, вмещающего котлован, на усилия в конструкциях ограждения котлована при сезонном изменении температуры.....	121
<b>Р. И. Чернов, В. А. Китайкин, Р. И. Коновалов, Е. В. Челикова</b> Исследование работы грунтовых анкеров в группе при разработке котлована под защитой ограждения в виде «стены в грунте».....	131
<b>В. И. Никитин</b> Неклассическая наука. От предметов к процессам .....	142

# Content

<b>A. Belyaev, S. Antipov</b> The practical experience in compiling information and analytical models based on the results of technical inspection, on the example of the Evolution Tower.....	5
<b>I. Bokov, V. Fedorovsky</b> Improved influence functions for influence factors method calculations. Comparison of calculation results with numerical solution and published results.....	14
<b>I. Vedyakov, M. Farfel</b> Scientific and Technical support of design, manufacture, installation and operation during the reconstruction of Grand Sports Arena «Luzhniki» in Moscow to the football World Cup in 2018.....	27
<b>I. Vedyakov, P. Odesskiy</b> Modern Russian standards and issues of the expanding of metal structures in construction.....	42
<b>A. Davidyuk, Y. Volkov</b> On the evaluation of the performance of the activity of the research institute of the construction profile by the methodology of the Russian Ministry of Education and Science.....	54
<b>A. Davidyuk, A. Nikitin</b> Experience in manufacturing and installation of prefabricated wall panels on the construction site for rural and cottage construction.....	61
<b>K. Dzhantimirov, I. Valiev</b> Recultivation of the industrial zone of the pulp and paper mill and surrounding coast of lake Baikal. Brief concept.....	69
<b>S. Zhorobayev</b> Concrete humidity control under intensification of concrete hardness of monolithic reinforced concrete constructions.....	79
<b>S. Podmazova, M. Glushkova</b> About the need of advance control of concrete mixture at construction site.....	85
<b>V. Remnev, A. Remnev</b> The construction of transport infrastructure on the Arctic islands and the coast of the Far North with the application of innovative materials on the basis of technical sulfur.....	90
<b>V. Stepanova, A. Buchkin, E. Yurin, E. Nikishov, I. Abramov, Y. Turygin, P. Lekomtsev</b> Anchoring device for realizing the tension of composite polymer reinforcement for prestressed concrete structures.....	98
<b>M. Farfel, M. Gukova, D. Kondrashov, D. Konyashin</b> The required strengthening of the building frame production-warehouse premises in Khotkovo, Moscow region.....	112
<b>I. Khritin</b> Experimental studies of the effect of deformation of the soil body on efforts in constructions of excavation shoring with seasonal change of temperature.....	121
<b>R. Chernov, V. Kitaykin, R. Konovalov, E. Chelikova</b> Research of group soil anchors during the development of the pit with «wall in trench».....	131
<b>V. Nikitin</b> Nonclassical science. From objects to processes.....	142

# ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ И РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕХНИЧЕ- СКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БАШНИ «ЭВОЛЮЦИЯ»

## THE PRACTICAL EXPERIENCE IN COMPILING INFORMATION AND ANALYTICAL MODELS BASED ON THE RESULTS OF TECHNICAL INSPECTION, ON THE EXAMPLE OF THE EVOLUTION TOWER

А. В. БЕЛЯЕВ

С. С. АНТИПОВ

*Рассмотрены основные особенности построения информационной и расчетной моделей на стадии технического обследования на примере башни «Эволюция». Особое внимание уделяется пониманию необходимости информационной модели как результата работ по обследованию и создания структурированной базы данных по объекту.*

*Также рассмотрены некоторые особенности выполнения поверочного расчета башни Эволюция и ее отдельных элементов в виде практических примеров выполнения требований нормативных документов к расчету конструкций. Описан практический опыт разработки конечно-элементной модели.*

### Ключевые слова:

*Жизненный цикл объектов строительства, информационное моделирование, расчет конструкций, техническое обследование*

*The main features of the design of information and computational models at the technical inspection stage shown by the example of the Evolution tower. Special attention is given to understanding the need for an information model as a result of survey work and the creation of a structured database on an object.*

*Also in the article are some features of the execution of the calculation of construction of the Evolution tower and its particular elements in the form of practical examples of compliance the requirements of regulatory documents for the calculation of structures. It also provides practical experience in developing a finite element model.*

### Keywords:

*Calculation of structures, information modelling, life cycle, technical inspection*

## **Введение**

Необходимость технического обследования несущих конструкций здания или сооружения возникает в случае инициации события, при котором изменяются нагрузки на несущие конструкции, меняется форма конструкций (устраиваются проемы, выполняются усиления и т.д.), либо эксплуатирующая организация выявляет дефект (дефекты). В первую очередь специалист-обследователь собирает исходные данные о здании.

Процесс получения исходных данных напрямую связан с тем, в каком состоянии хранилась информация об объекте обследования до его начала. Возможны случаи, когда документация об объекте утеряна полностью. Специфика работы при таких обстоятельствах в настоящей статье не рассматривается.

Наиболее распространен случай, когда эксплуатирующая организация передает набор документации в виде архивных чертежей в бумажном либо электронном формате. При этом состав и объем обследования здания в соответствии с действующей нормативной документацией [1] достаточно легко определить. Возможны случаи, когда заказчик либо предоставляет информационную модель здания, либо просит ее разработать по результатам технического обследования.

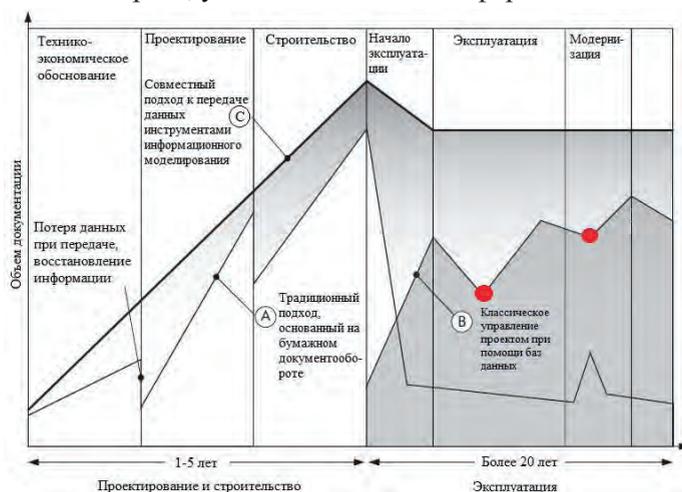
При работе по обследованию башни «Эволюция» заказчиком был предоставлен неполный набор документации в бумажном и в электронном виде. По результатам работы необходимо было создать информационную модель башни и прилегающего стилобата, а также выполнить поверочный расчет несущих конструкций комплекса зданий.

## **Применение информационного моделирования на стадии технического обследования зданий и сооружений**

На протяжении всего жизненного цикла объекта строительства генерируется огромное количество информации, которую необходимо хранить в каком-либо виде и управлять ею. В настоящее время для решения этих задач применяют современные технологии, программные средства, а также используют мировой опыт проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов различными организациями. Наиболее актуальной и перспективной технологией, позволяющей работать с информацией о строительном объекте, является технология информационного моделирования, которая позволяет работать с данными на протяжении всего жизненного цикла здания и затрагивает множество аспектов строительства, таких как построение бизнес-процессов, архитектурное проектирование, прочностные расчеты, эксплуатация объектов и многое другое [2].

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции зданий подвергаются воздействию различных факторов, как контролируемых, так и неконтролируемых (влияние агрессивной среды, температурно-влажностного режима, превышение допустимых эксплуатационных нагрузок, проведение строительных работ низкого качества и прочее), изменяющих их начальные свойства и приводящих к потере работоспособности всей несущей системы здания. Информация о подобных воздействиях на конструкции должна храниться в информационной модели, а рациональное решение на основе этой информации должен принимать специалист. Применение рассматриваемой технологии

позволяет сократить потери информации (рис. 1), что было детально описано основоположниками информационного моделирования (Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston) и подмечено сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева относительно состояния вопроса в нашей стране [3, 4]. Красными точками на рис. 1 показаны инициированные события, часть из которых сопровождается техническим обследованием, которое, в свою очередь, увеличивает объем информации о здании.



**Рис. 1.** Потери информации на жизненном цикле объекта: А – традиционный подход, основанный на бумажном документообороте; В – классическое управление проектом с помощью баз данных; С – работа без информационного моделирования

Уместно отметить, что приведенные выше данные больше относятся к сводной цифровой модели, включающей в себя все разделы проектной документации, либо к информационной модели, в состав которой, в соответствии с СП 333.132.5800.2017 [5], входят цифровая информационная модель (ЦИМ), инженерная цифровая модель местности (ИЦММ), а также совокупность всех представленных в электронном виде документов, размещаемая в среде общих данных и представляющая собой единый достоверный источник информации по объекту. Что же касается информационной модели конструктивной системы здания, то в настоящее время можно говорить, что она требуется только при необходимости увеличения нагрузок, при изменении формы конструкций, либо выявлении дефектов конструкций. До наступления этих событий информационная модель несущих конструкций является неизменной. Исключением может быть получение новых данных при мониторинге за поведением зданий и сооружений. Сама по себе, разработанная в рамках работ по обследованию башни цифровая информационная модель не является полной, так как содержит только данные об архитектурных и конструктивных решениях.

Изучение процесса построения цифровой информационной модели здания во время его технического обследования является развитием как технологии информационного моделирования (building information modeling), так и технологии управления техническими объектами недвижимости (facility management).

## Построение информационной модели несущих конструкций башни «Эволюция»

Как и при любом применении технологии информационного моделирования, для работы с башней «Эволюция» требовалось получить от заказчика цель разработки информационной модели, а также степень ее проработки.

Цель построения цифровой информационной модели – получение заказчиком актуальной информации о несущих конструкциях здания (фактическое расположение, сечения элементов, наличие проемов и т.д.) и сведения их в одну базу – информационную модель. Степень проработки здания до этого не была описана в виде уровней проработки (LOD – level of Detail). Наполнение модели определялось перечнем параметров, которые должны быть получены в результате обследования. Кроме несущих конструкций, модель должна была содержать фактические нагрузки, а также информацию о материалах и дефектах несущих конструкций. Общий вид полученной цифровой информационной модели показан на рис. 2.

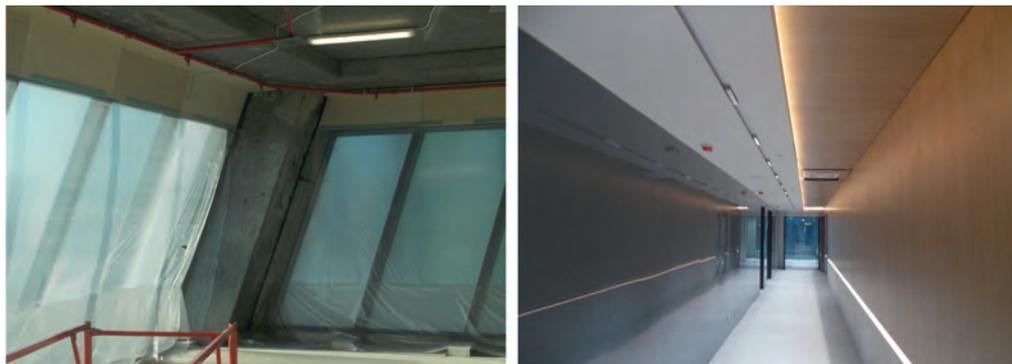


Рис. 2. Цифровая информационная модель башни

По результатам работ можно выделить следующие особенности обследования и построения информационной модели высотных зданий.

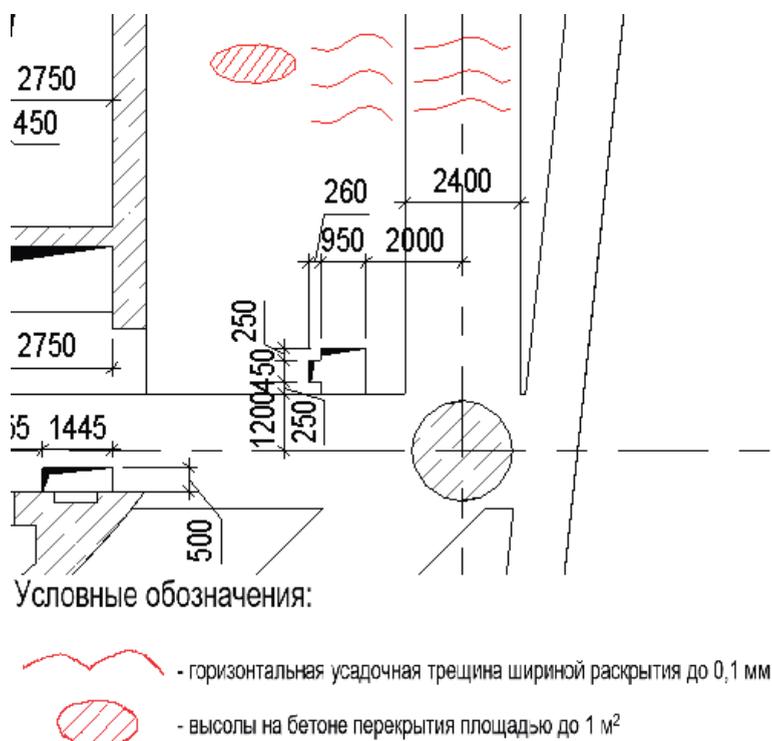
1. Наличие большого объема технической документации на здание значительно увеличивает процесс составления программы обследования. Были проанализированы 210 томов рабочей документации раздела конструктивных решений, а также многочисленные отчеты о прочностях конструкций и прочие разделы документации.

2. График выполнения работ по обследованию несущих конструкций здания необходимо разрабатывать с учетом проведения ремонтных работ. В процессе обследования, которое выполнялось в течение трех месяцев, во многих помещениях несущие конструкции стали недоступны для работ (рис. 3).



**Рис. 3.** Помещения, доступные для обследования (слева), и с выполненным во время обследования ремонтом (справа)

3. С целью конкретизации информации, присваиваемой элементам модели, необходимо определять уровень проработки элементов с учетом требований к информации, получаемой в результате обследования. Уровень проработки должен зависеть от того, каким образом далее будет использоваться информационная модель. Например, на практике применимы как варианты с нанесением дефектов на планы (рис. 4), так и с моделированием дефектов на самих элементах конструкций (рис. 5). В обоих случаях информация приводится в информационной модели.



**Рис. 4.** Нанесение дефектов на планы этажей

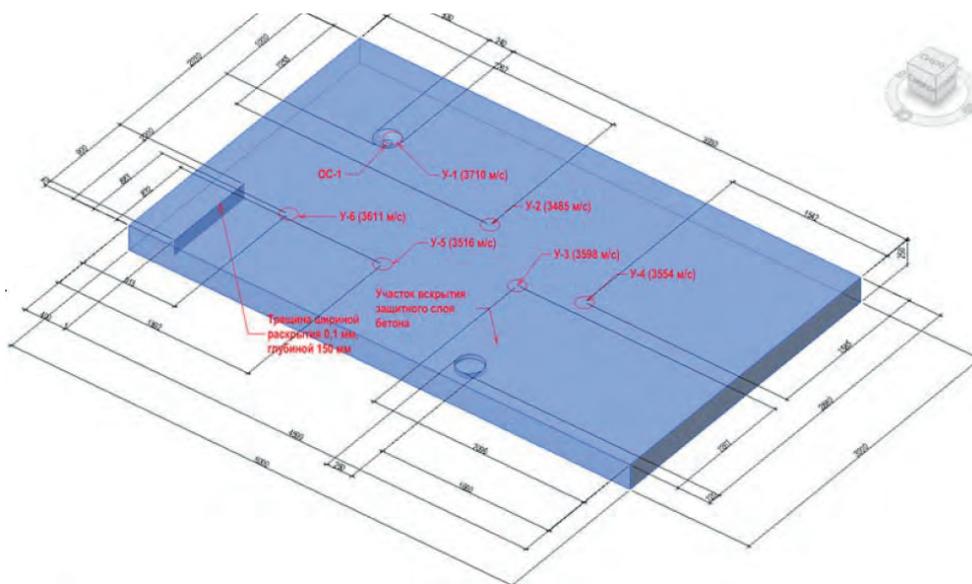


Рис. 5. Нанесение дефектов на конструкции

### Поверочные расчеты при техническом обследовании уникальных зданий и сооружений

Поверочный расчет несущих конструкций здания выполнялся в соответствии с действующей нормативной документацией с учетом фактических прочностей бетона, а также выявленных в ходе обследования дефектов.

По результатам проведенных работ можно выделить следующие особенности расчета высотных зданий.

1. Инженер-расчетчик должен включаться в работу на ранней стадии обследования здания. На протяжении всего обследования он контролирует процесс получения исходных данных для последующего расчета. Рекомендуется вести сбор расчетной модели параллельно с выполнением технического обследования.

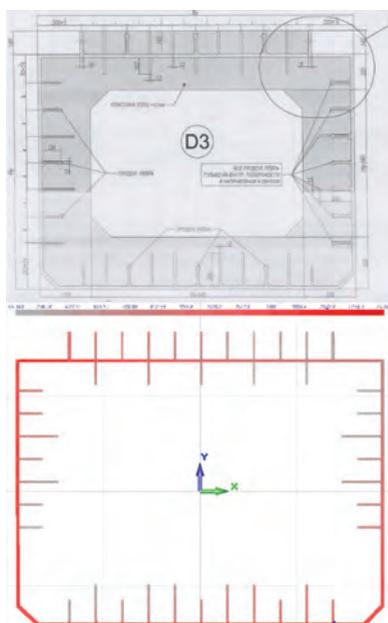
2. Значения нагрузок от технического оборудования должны назначаться на основании сравнения фактических нагрузок и нагрузок, принятых в соответствии с СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия». Случается, что нагрузки, собранные по результатам обследования, превышают значения, установленные в нормативных документах и СТУ на здание. Рекомендуется принимать максимальное из полученных значение нагрузки.

3. Расчет уникальных стальных конструкций рекомендуется выполнять, в том числе, по энергетической теории. На покрытии башни «Эволюция» установлена стальная пространственная конструкция – корона (рис. 6).



**Рис. 6.** Конструкции «короны» башни: сверху — фасад (из рабочей документации), снизу — расчетная модель

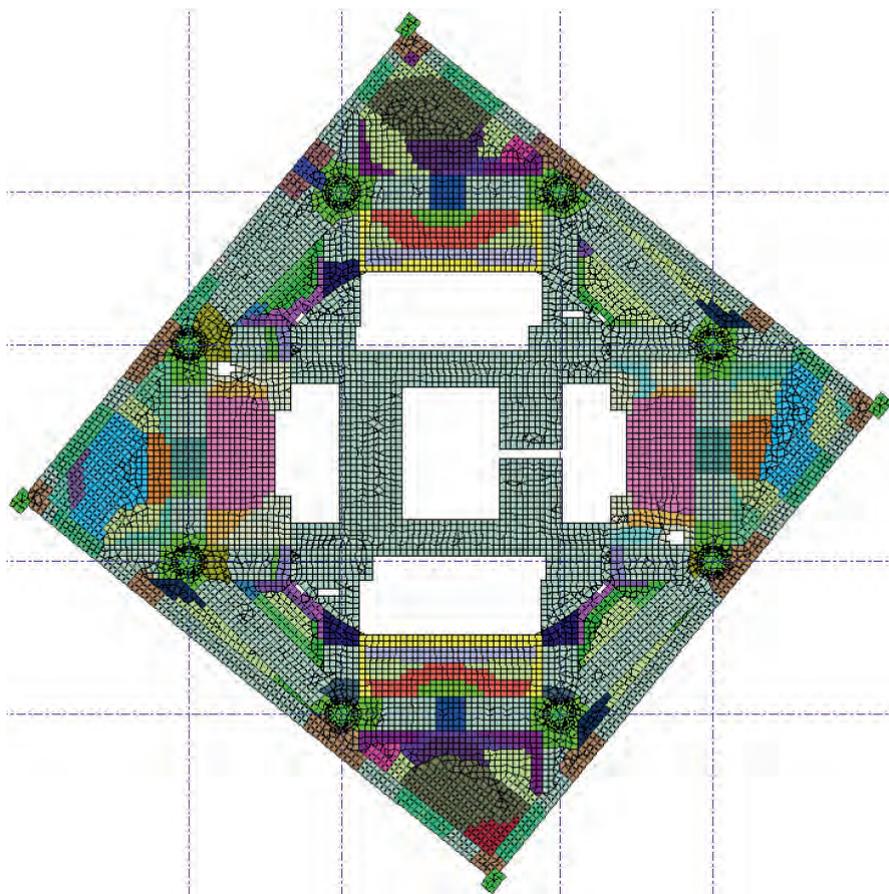
Конструкция выполнена из сборных стальных секций различных сечений по длине (рис. 7). Усилия в элементах получены при конечно-элементном расчете в ПК «Лира» САПР. При проектировании конструкции проектировщиком использовался расчетный комплекс «Robot structural».



**Рис. 7.** Пример поперечного сечения элемента короны: сверху — сечение из рабочей документации, снизу — расчетное сечение

4. При расчете уникальных зданий необходимо учитывать ветровые, снеговые и гололедные нагрузки в соответствии с отдельно выполненными исследованиями. Для башни «Эволюция» специалистами МГСУ были выполнены испытания макета комплекса Москва-Сити в аэродинамической трубе. По результатам работ даны наиболее опасные углы атаки и значения нагрузок в отдельных точках здания.

5. Учет фактических жесткостей для высотных зданий, где нелинейный расчет является чрезмерно сложной задачей, допустимо вести вручную, вычисляя жесткости в соответствии с п.п. 8.2.25 – 8.2.30 СП 63.13330 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Для этого выделяются отдельные плиты перекрытий по высоте здания и проводится их итерационный расчет. Сами плиты перекрытий разбиваются на зоны для унификации жесткостей (рис. 8), включающие приопорные либо пролетные участки различной жесткости. Учет нелинейности упрощенно выполняется введением понижающих коэффициентов к модулям упругости конструкций. Жесткость вычисляется по деформационной модели, либо по диаграмме «момент-кривизна», согласно СП 63.13330. Ранее в работах сотрудников НИИЖБ им. А.А. Гвоздева подобный метод был описан для толстых плит [6], применяемых для большинства высотных зданий.



**Рис. 8.** Мозаика жесткостей типового этажа на последней итерации

### Заключение

В статье приведены особенности построения информационной и расчетной моделей в результате технического обследования уникальных высотных зданий на примере башни «Эволюция». Спецификой является сложная организация процесса выполнения работ. Необходимо своевременно включать в процесс обследования специалистов и тщательно структурировать полученные в процессе обследования материалы. Информационное моделирование позволяет выполнить эту структуризацию на основе цифровой или сводной информационной модели, если это целесообразно заказчику, для чего необходимо понимать, кто и как будет работать с данными в будущем.

### Библиографический список

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
2. *Беляев А.В., Антипов С.С.* Жизненный цикл объектов строительства при информационном моделировании зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. — 2019. — № 1. — С. 65-72.
3. *Кузеванов Д.В., Беляев А.В.* Информационное моделирование железобетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. — 2017. — №1 . — С. 58-63.
4. *Eastman C., Sacks R.* BIM Handbook. A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2<sup>nd</sup> ed. TH437.B53, 2011. P. 650.
5. СП 333.132.5800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла
6. *Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В.* Расчеты толстых фундаментных плит из монолитного железобетона по прочности и трещиностойкости // Вестник НИЦ «Строительство». — 2018. — № 4. — С. 58-66.

### Авторы:

Алексей Вячеславович БЕЛЯЕВ, заведующий проектно-конструкторским центром НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Aleksey BELYAEV, Head of Design Center of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 89150323232@mail.ru

тел.: +7 (915) 032-32-32

Сергей Сергеевич АНТИПОВ, ведущий инженер проектно-конструкторского центра НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey ANTIPOV, senior engineer of Design Center of NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: a89104584408@gmail.com

тел.: +7 (910) 458-44-08

# УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ФУНКЦИИ ВЛИЯНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПО МЕТОДУ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЗАИМНОГО ВЛИЯ- НИЯ. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАС- ЧЕТОВ С ЧИСЛЕННЫМ РЕШЕНИЕМ И ОПУБЛИКОВАННЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ

## IMPROVED INFLUENCE FUNCTIONS FOR INFLUENCE FACTORS METHOD CALCULATIONS. COMPARISON OF CALCULATION RESULTS WITH NUMERICAL SOLUTION AND PUBLISHED RESULTS

И. А. БОКОВ

В. Г. ФЕДОРОВСКИЙ, канд. техн. наук

*Одним из известных способов расчета осадки вертикально нагруженных свайных групп является метод коэффициентов взаимного влияния (МКВВ). Несмотря на наличие существенных недостатков, метод является перспективным в отношении выполнения быстрых расчетов в рамках разработки концептуального решения, а также для задач автоматизированной оптимизации решений свайного фундамента. В работе представлены результаты исследований направленных на повышение точности метода и сравнение с численными и другими решениями.*

### Ключевые слова:

*Аналитическое решение, метод коэффициентов взаимного влияния свай, осадка*

*One of the well-known methods for settlement calculations of pile groups is the interaction factors method (IFM). Despite the presence of significant shortcomings, the method is promising in terms of performing quick calculations as part of developing a conceptual solution, as well as for the tasks of automated optimization of pile foundation solutions. The paper presents the results of studies aimed at improving the accuracy of the method and comparison with numerical and other solutions.*

### Keywords:

*Analytical solution, influence coefficient method, numerical solution, piles, pile*

сваи, осадка свайного фундамента, численное решение settlement, pile group settlement

Практика применения метода коэффициентов взаимного влияния (МКВВ) наметила следующие основные направления, в которых необходимо производить его совершенствование:

1. Уточнение поведения функции влияния в условиях упругого полупространства (УПП);
2. Учет неоднородности основания (многослойности грунта вдоль свай);
3. Учет наличия грунта отличающейся жесткости в основании ниже свай;
4. Учет наличия несжимаемого подстилающего слоя;
5. Учет неоднородности жесткости (многослойности) грунта под пятой свай;
6. Учет нелинейности поведения свай и свайного фундамента (СФ) под нагрузкой;
7. Учет сжимаемости свай;
8. Взаимное влияние свай неодинаковой длины и диаметра.

В статье представлены результаты работ по направлениям 1...5.

Центральным положением МКВВ является то, что осадка группы определяется с учетом влияния каждой сваи на каждую и определяется как сумма собственной осадки  $S_i$  под нагрузкой и дополнительной (наведенной) осадкой  $S_j$  (рис. 1).

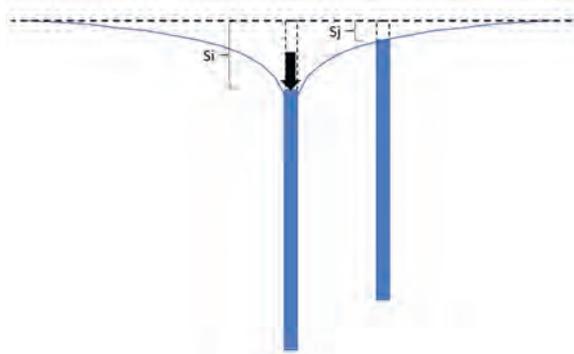


Рис. 1. Схема работы свай по МКВВ

- Собственная осадка  $S_i$  определяется по известным решениям задачи об осадке одиночной сваи [3, 8, 13]. Может быть учтена нелинейность поведения сваи под нагрузкой путем использования аппроксимация опытной или расчетной кривой нагрузка-осадка.
- Зависимость дополнительной осадки ненагруженной сваи от расстояния до нагруженной сваи называется *функцией влияния*. Дополнительная осадка  $S_j(r)$  вычисляется по известным формулам [10, 13] или по табличным значениям [11] (Подход 1) либо по результатам решения серии задач о взаимном влиянии двух свай в пространственной постановке [11, 16] (Подход 2).

В различных работах [6, 7, 9, 12, 15, 17] было показано, что результаты расчетов по МКВВ одной и той же задачи различными авторами имеют существенные расхожде-

ния, достигающие 2...6 раз при больших размерах группы. Причины этого неясны, но наиболее вероятно, учитывая, что расчеты проведены в линейной постановке, разница обусловлена отличиями в способе вычисления функции влияния. Указанный разброс в результатах соответствует как подходу вычисления функции влияния по методу граничных интегральных уравнений (МГИУ), так и подходу, где функция влияния вычисляется по заранее известным формулам. Указанный факт не позволяет указать подход, обладающий явным преимуществом. В этой связи представляется важным провести исследование второго подхода, в силу того что он на порядки эффективнее по скорости расчета.

Блок-схема для расчета свайного фундамента общего вида по МКВВ представлена на рис. 2.

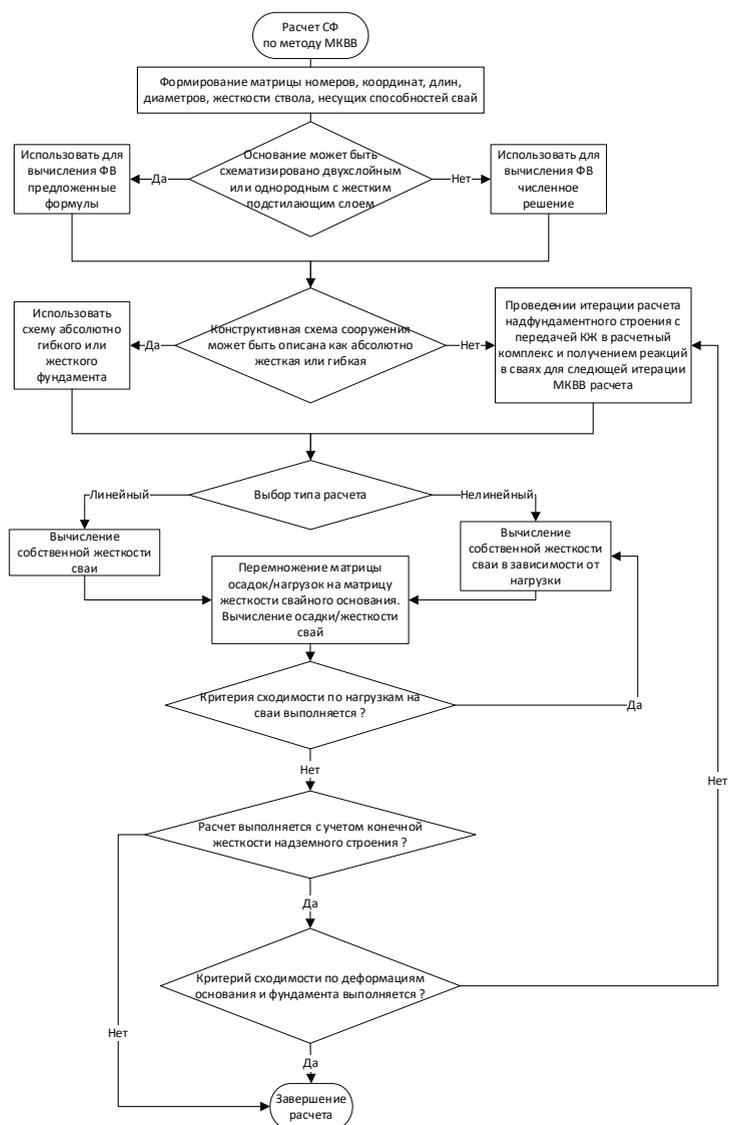
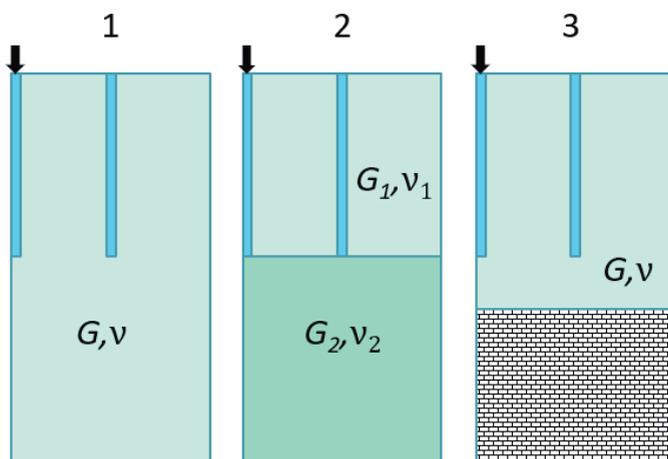


Рис. 2. Блок-схема расчета по МКВВ

Вопросы сопоставимости известных функций влияния с численными решениями для условий упругого полупространства были рассмотрены в работе [2], там же была доказана принципиальная возможность расчета осадки больших свайных групп по МКВВ и предложена формула для вычисления функции влияния, дающая более близкий к численному решению результат.

С учетом указанных обнадеживающих результатов были разработаны усовершенствованные функции влияния для расчетных схем, представленных на рис. 3:

1. Функция влияния для однородного полупространства характеризующегося модулем сдвига  $G$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ ;
2. Функция влияния для двухслойного полупространства характеризующегося модулями сдвига  $G_1$  и  $G_2$  и коэффициентами Пуассона  $\nu_1$  и  $\nu_2$
3. Функция влияния для основания с несжимаемым подстилающим слоем характеризующегося модулем сдвига  $G$ , коэффициентом Пуассона  $\nu$  и относительной толщиной слоя под пятой сваи  $h/l$  ( $h$  – толщина слоя,  $l$  – длина сваи);



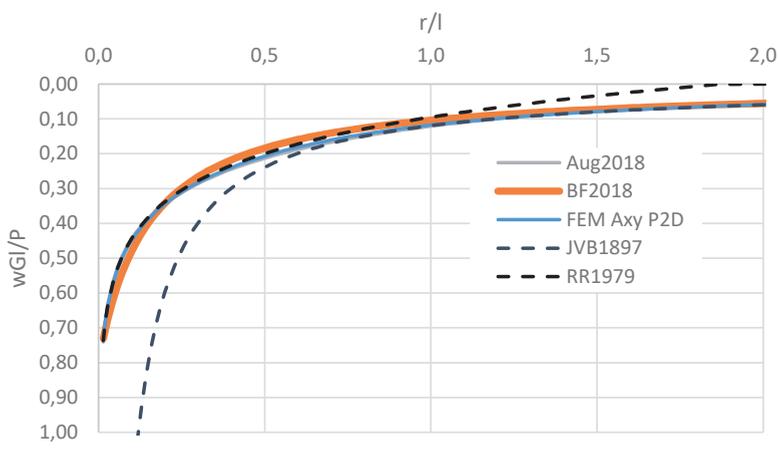
**Рис. 3.** Схемы грунтовых оснований, принятые для разработки усовершенствованных функций влияния

Функции влияния разрабатывались как аналитические аппроксимации численных решений. Подбор вида функции производился путем сопоставления функций, полученных численным расчетом, с набором заранее определенных известных математических функций с различным числом коэффициентов. Результаты сопоставления были проранжированы по величине среднеквадратического отклонения с учетом соответствия вида функции теоретическим представлениям и обеспечения требуемой точности в заданном диапазоне расстояний. Применение выявленной и показанной в работе [1] взаимосвязи между осадкой ненагруженной сваи и осадкой грунта на относительной глубине  $z/l = 0,75$  позволило существенно сократить время расчетов и повысить их точность за счет увеличения удельного количества конечных элементов.

### Усовершенствованная функция для условий однородного полупространства

В соответствии с принципом Сен-Венана, с удалением от точки приложения нагрузки способ ее приложения не влияет на НДС в удаленной точке. Из этого следует, что функция влияния для случая упругого полупространства на некотором удалении от сваи должна совпасть с решением задачи Буссинеска о приложении нагрузки на поверхности полупространства. Известные функции [3, 10, 13] обращаются в 0 при расстояниях  $1 \dots 2$  длины сваи, что показывает их несоответствие решениям теории упругости и занижение осадки при расчете большеразмерных групп свай. Численные расчеты подтвердили предположение, что функция влияния на расстоянии до  $\frac{1}{2} l$  имеет вид, близкий к логарифмической функции, а на расстоянии более  $2l$  вид, близкий к решению Буссинеска (рис. 4).

### Усовершенствованная функция для условий двухслойного полупространства



**Рис. 4.** Осадка ненагруженной сваи (нормализованная по  $GI/P$ ) в зависимости от относительного расстояния ( $r/l$ ) от нагруженной в условиях упругого полупространства по результатам МКЭ-расчета и по полученной аналитической аппроксимации (пунктиром показано известное решение Randolph и Wroth (1979) и решение задачи Буссинеска о приложении сосредоточенной силы к полупространству)

В развитие предложений работы [2] были разработаны два варианта функции:

1) Более простая, в форме гиперболической функции, при больших  $r$  ( $r > l$ ) стремящейся к аналитическому решению задачи о приложении сосредоточенной силы к полупространства.

$$\delta = \frac{a}{(b+r/l)}, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты:

$$a = \frac{(1-\nu)}{2\pi}, \quad (2)$$

$$b = (0,34 - 0,29\nu) \left(\frac{l}{d}\right)^{-0,163} \quad (3)$$

2) Более точная — в форме сложной функции (отклонение от численного решения в диапазоне до  $1,5l$  не превышает 5%) для применения при расчете групп свай шириной до  $2l$ :

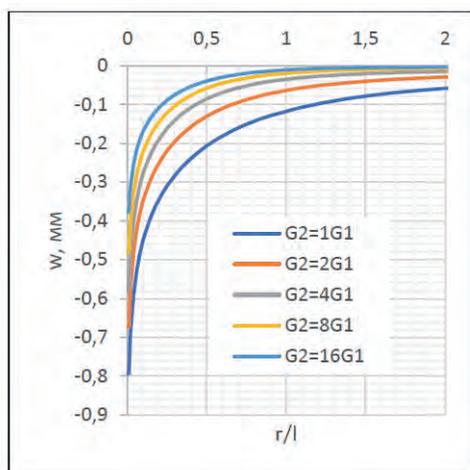
$$\delta = be^{\frac{\left(\frac{r}{l}\right)^{-a}}{\left(\frac{r}{l}\right)^{a+1}}} \quad (4)$$

$$a = (0,22\nu - 0,83) \left(\frac{l}{d}\right)^{\frac{\pi\nu}{70}} \quad (5)$$

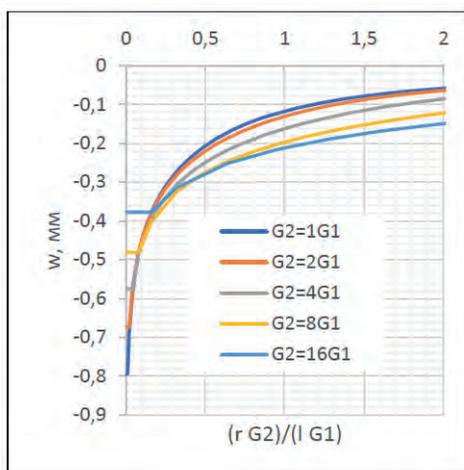
$$b = \frac{1}{\frac{(\nu-14)}{(0,25+\nu)} - \left(\frac{l}{d}\right)} - 0,22\nu + 0,4. \quad (6)$$

### Усовершенствованная функция для условий двухслойного полупространства

Результаты расчета осадки свай при работе свай в условиях двухслойного полупространства при различных жесткостях нижнего слоя показаны на рис. 5 и рис. 6.



**Рис. 5.** Осадки свай в двухслойном основании  $G_2/G_1 = 1...16$

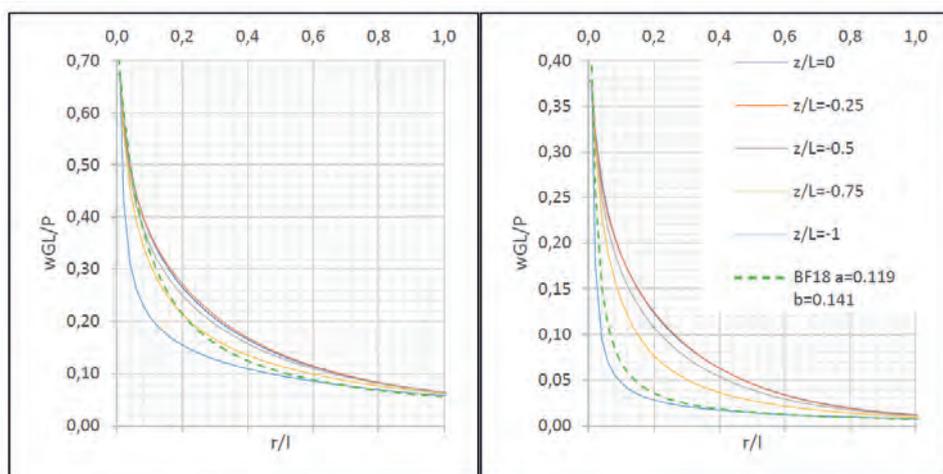


**Рис. 6.** Осадки свай в двухслойном основании  $G_2/G_1 = 1...16$  в координатах  $(r G_2)/(l G_1)$

Анализ Рис. 5 показывает, что отличается не только осадка сваи, но и вид функции влияния. Для случая наибольшей разности в сжимаемости  $G_2/G_1 = 16$  затухание функции наиболее быстрое, а при отношении  $G_2/G_1 = 2$  вид функции от условий однородного полупространства отличается незначительно. Перестроение абсциссы в координатах  $(r G_2)/(l G_1)$  (см. рис. 6) показывает, что все линии влияния на начальном участке графика ложатся на одну огибающую, что позволяет применить соответствующую модификацию к члену  $r/l$  в формуле (4), что приводит формулу функции влияния к виду

$$\delta = \frac{a}{\left(b + \frac{G_2 r}{G_1 l}\right)} \quad (7)$$

Результат сопоставления с расчетом по МКЭ (рис. 7 и 8) показывает удовлетворительную сходимость.



**Рис. 7.** Сопоставление результатов МКЭ-расчета на различных глубинах ( $z/l = 0...1$ ) с расчетом по разработанной функции  $G_2/G_1 = 2$

**Рис. 8.** Сопоставление результатов МКЭ-расчета на различных глубинах ( $z/l = 0...1$ ) с расчетом по разработанной функции  $G_2/G_1 = 16$

Дополнительно было проверен и развит метод расчета осадки одиночной сваи в двухслойном основании, представленный в СП 24.13330.2011 [3], где рассмотрен случай опирания сваи на второй слой только пятой. Дополнительная проработка метода осуществлена в части рассмотрения задачи о частичной заделке сваи во второй слой более жесткого грунта. Интерес к указанному случаю обусловлен тем, что [3], за исключением опирания забивных свай на прочный скальный грунт, не допускает опирания на несущий слой без какой либо заделки в него, кроме того, такая схема также соответствует практике применения СФ. Сопоставление результатов расчётов по формулам п. 7.4.2 [3] и численного решения МКЭ представлено на рис. 9.

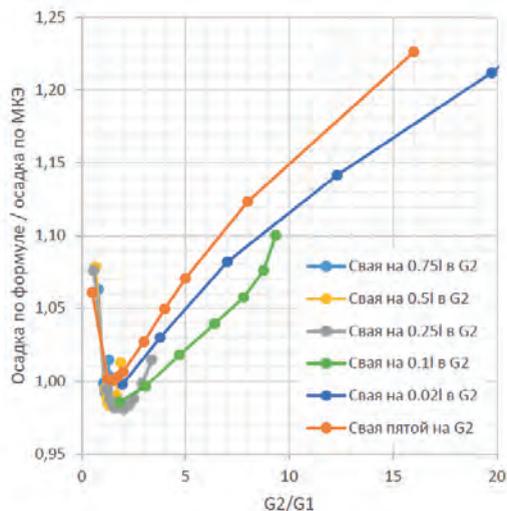


Рис. 9. Результаты сравнения осадок по формуле п. 7.4.2 [3] и МКЭ

Из графика видно, что для диапазона отношений  $G_2/G_1 = 1 \dots 10$  результаты расчётов различаются на 10%, а в диапазоне  $G_2/G_1 = 10 \dots 20$  разница доходит до 20...24%.

Интересной особенностью является то, что методика работает и в обратную сторону, т.е. позволяет провести расчёт сваи, прорезающей более жёсткие слои грунта и опирающейся на менее жесткие. Очевидно, такая ситуация является нежелательной, но, тем не менее, встречается в инженерной практике. Результаты расчетов показывают, что при отношении  $G_2/G_1 = 0,5$  результаты расчётов различаются всего на 7%. Таким образом, можно заключить, что представленная в работе [4] методика учета двухслойности основания может быть применена и для случая расчета осадки сваи, прорезающей различные слои грунта и частично заделанной или опирающейся на слой большей жесткости (в небольших пределах — на слой меньшей жесткости).

#### Усовершенствованная функция влияния для слоя конечной толщины

Большой интерес представляет НДС грунта при нагружении сваи в условиях наличия несжимаемого слоя грунта. Нередко в инженерно-геологическом разрезе встречаются слои грунта, жесткость которого на порядок или на два порядка превышает жесткость вышележащих слоев грунта, но при этом механические характеристики вышележащих слоев грунта достаточны для обеспечения требований расчёта по первому и второму предельным состояниям, что позволяет применить сваи трения, а не сваи-стойки. Часто от основания сваи до несжимаемого слоя (сжимаемая толща) расстояние составляет менее одной длины сваи.

С целью исследования влияния положения жесткого слоя на осадку сваи и на характер деформации грунта на некотором удалении от сваи была проведена серия МКЭ-расчётов, в которых варьировали длину сваи, коэффициент Пуассона и расстояние от нижнего конца сваи до границы сжимаемого слоя. Анализировались такие результаты расчета как осадка сваи, величина радиуса влияния (в отличие от случая упругого и

двухслойного полупространства, функция влияния в условиях наличия несжимаемого слоя пересекает нулевое значение), отношение величины осадки сваи в конечном слое к осадке в упругом полупространстве и вид функции влияния. С целью рассмотрения указанного эффекта были проведены расчеты с глубиной сжимаемого слоя от 0,002 длины сваи до 20 длин свай.

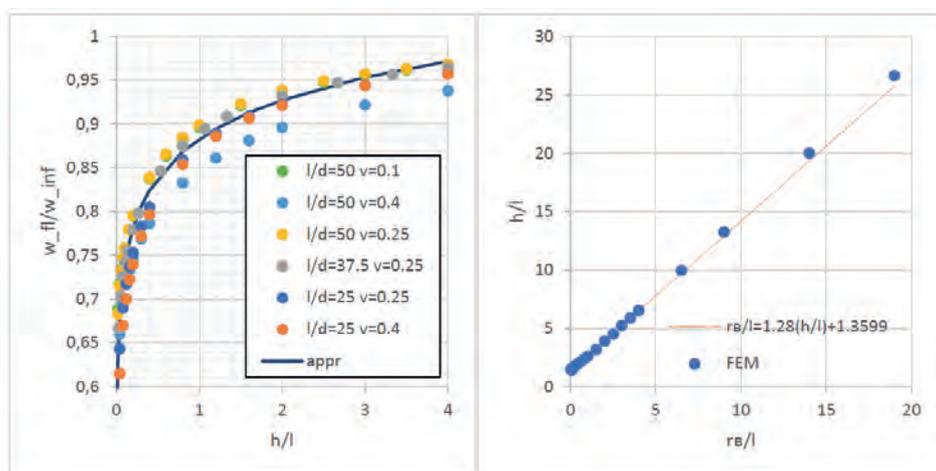
Помимо функции влияния, была получена зависимость, позволяющая учитывать уменьшение осадки одиночной сваи в условиях наличия несжимаемого слоя. Зависимость осадки сваи от глубины сжимаемого слоя может быть достаточно просто описана логарифмической функцией (рис. 10). Несмотря на ее простоту, обеспечивается точность приблизительно 5% во всём диапазоне рассмотренных длин свай и коэффициентов Пуассона.

$$\frac{w_{fl}}{w_{inf}} = 0,064 \ln\left(\frac{h}{l}\right) + 0,883. \quad (8)$$

Кроме этого, была получена зависимость радиуса влияния одиночной сваи от толщины сжимаемого слоя (рис. 11). Указанная зависимость имеет вид

$$\frac{r_B}{l} = 1,28 \left(\frac{h}{l}\right) + 1,36. \quad (9)$$

Важно, что при наличии жесткого подстилающего слоя в отличие от УПП возникает конечный радиус влияния.



**Рис. 10.** Зависимость осадки одиночной сваи при наличии несжимаемого слоя относительно осадки сваи в условиях УПП

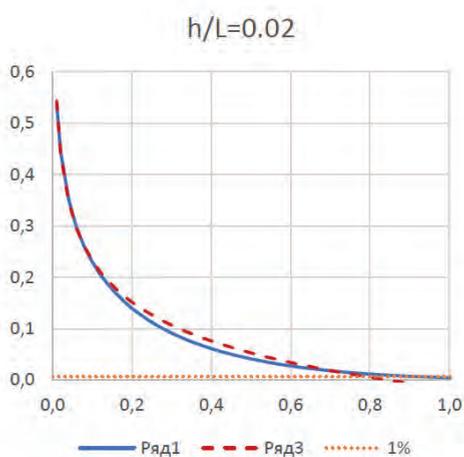
**Рис. 11.** Зависимость радиуса влияния одиночной сваи при наличии несжимаемого слоя

Функция влияния для условий наличия жесткого подстилающего слоя имеет следующий вид:

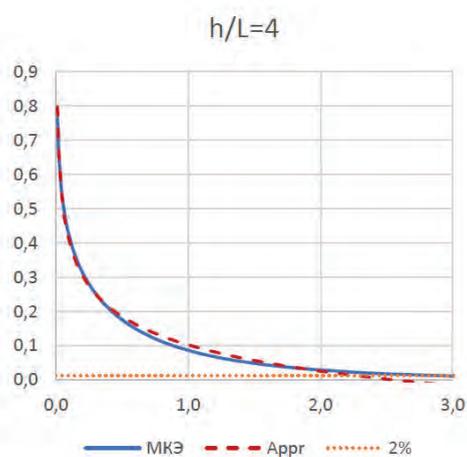
$$\delta = \frac{1}{a^{\ln(\frac{r}{l})}} + b. \quad (10)$$

$$a = \frac{(0,042v^5 + 0,004) \cdot \ln(h/l)}{e^{\frac{h}{l}}} - 0,01v + 1,12. \quad (11)$$

$$b = \frac{(0,09 - 0,1v^3) \cdot A \tan(h/l) - 0,15v^{1,5} - 1}{e^{\frac{h}{l}}}. \quad (12)$$



**Рис. 12.** Сопоставление функций влияния расчета по предлагаемой функции с МКЭ-расчетом  $h/l = 0,02$



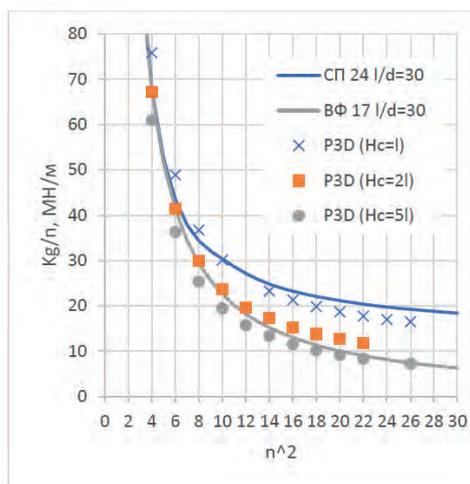
**Рис. 13.** Сопоставление функций влияния по предлагаемой функции с МКЭ-расчетом  $h/l = 4$

### Сопоставление результатов расчетов по разработанным функциям с численным МКЭ расчетом и опубликованными результатами расчетов по различным методикам

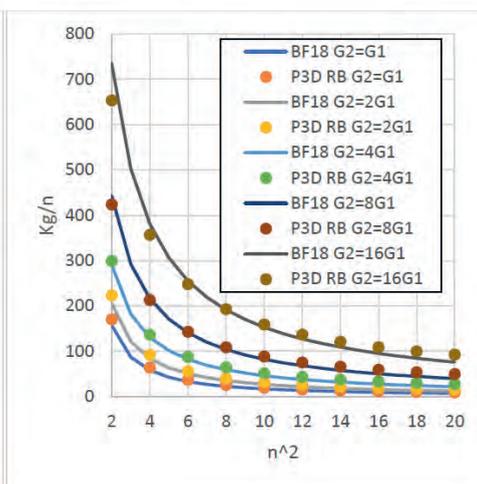
В целях оценки применимости полученных функций влияния и метода МКВВ в целом для расчета осадок групп свай были проведены серии МКЭ-расчетов в пространственной постановке. Для расчетов использовались программа Plaxis 3D 2018.

Было выполнено сопоставление величины средней жесткости сваи в составе группы, рассчитанной по трем методам, с МКЭ-расчётами в пространственной постановке. Сопоставление выполнялось для свай  $l/d = 30$ , глубина расчетной области под нижними концами этих свай задавалась равной 1, 2 и 5 длинам свай. При анализе рис. 14 можно отметить что между значениями жесткостей, рассчитанными по предлагаемой функции и МКЭ-расчетом, наблюдаются хорошая сходимость при глубине сжимаемой толщи, равной  $5l$  и условно соответствующей случаю упругого полупространства (УПП). Случаи глубины сжимаемой толщи  $l$  и  $2l$  лучше описываются функциями влияния, имеющими конечный радиус влияния или более резкое затухание. На рис. 15 показаны ре-

зультаты сопоставления расчетов по МКБВ с МКЭ для случая двухслойного основания. В указанном случае, как и ранее, наблюдается хорошее совпадение для всех рассмотренных размеров групп.



**Рис. 14.** Сравнение МКЭ-расчетов для разной глубины сжимаемой толщи с расчетами по МКБВ

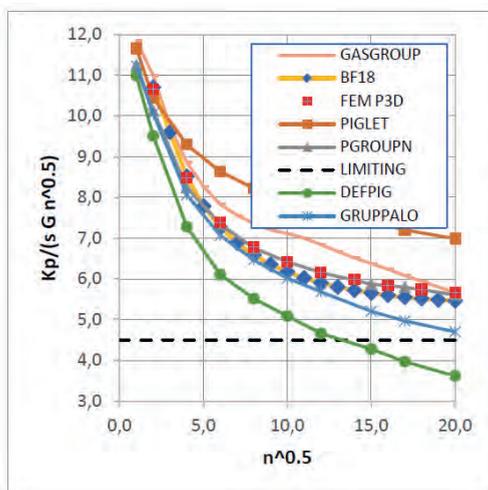


**Рис. 15.** Сопоставление результатов расчетов свайных групп по МКБВ и МКЭ с помощью Plaxis 3D 2018 RB

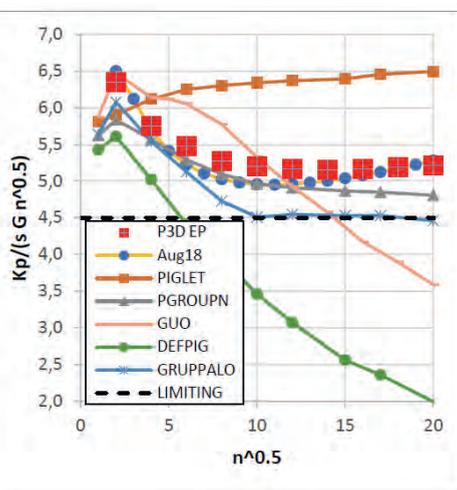
В работе [14] был опубликован сопоставительный график результатов расчетов свайных групп размером от одиночной сваи до 20×20 свай (400 свай). Расчеты выполнялись по программам PIGLET, DEFPIG и PGROUP [5, 12, 15]. Результаты расчетов представлены в виде нормализованной жесткости свайной группы, вычисляемой как  $K/(\sqrt{n} sG)$ , где  $K$  — жесткость группы, МН/м;  $n$  — число свай в группе;  $s$  — шаг свай;  $G$  — модуль сдвига грунта. Нормализованная жесткость группы показана на графике относительно квадратного корня из количества свай. Рассмотрены шаги свай  $s/d = 2,5$  и 5. Во всех случаях принят коэффициент Пуассона  $\nu = 0,49$ . Указанные результаты показаны совместно с расчетами по МКБВ по предлагаемым функциям на рис 16 и 17. Также на графике нанесено значение жесткости, соответствующее фундаменту на естественном основании, ниже которого, очевидно, опускаться линии на графике не должны. Позднее различные авторы [7, 9, 17] добавляли на указанный график результаты расчетов по собственным программам, что к настоящему времени позволило получить сравнение результатов с помощью наиболее известных программ для расчета свай.

При анализе результатов можно отметить, что отдельные результаты существенно превышают жесткость группы, а иные существенно занижают. Наиболее расходящиеся линии соответствует ранним программам PIGLET и DEFPIG. Следует отметить что жесткость группы по программе DEFPIG получаются даже ниже, чем жесткость фундамента на естественном основании. Представляется, что при увеличении размера группы линию жесткости фундамента на естественном основании могут пересечь также результаты GRUPPALO и GASGROUP.

В середине диапазона лежат результаты двух самых современных программ — это GRUPPALO и PRGROUPN. Обе программы используют для расчёта МГИУ, при этом программа PGroupN выполняет полный расчёт для всех свай в группе одновременно, а GRUPPALO использует МГЭ для расчета функции влияния.



**Рис 16.** Сопоставление результатов расчетов свайных групп по опубликованным данным [ 6, 7, 9, 12, 15, 17]. УПП,  $l = 25$ ,  $s = 2,5$ ,  $G = 10$ ,  $\nu = 0,49$ .  
Формула 3 (BF18)



**Рис 17.** Сопоставление результатов расчетов свайных групп по опубликованным данным [6, 7, 9, 12, 15, 17]. УПП,  $l = 25$ ,  $s = 5$ ,  $G = 10$ ,  $\nu = 0,49$ .  
Формула 6 (Aug18)

Результаты расчетов по МКВВ с применением формул 3 и 6 показывают хорошее совпадение с расчётом по Plaxis 3D, а по сравнению с остальными программами соответствуют среднему результату.

## Библиографический список

1. Боков И.А., Федоровский В.Г. О применимости функции влияния, полученной по результатам расчетов одиночной сваи для расчета свайных групп // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2018. – Т.6, №6. – С.2–7.
2. Боков И.А., Федоровский В.Г. О расчете осадки группы свай с использованием коэффициентов взаимного влияния по модели упругого полупространства // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2017. – №6. – С.2–8.
3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР.
4. Федоровский В.Г. Расчет осадок свай в однородных и многослойных основаниях. Дисс. ... канд. техн. наук / Федоровский Виктор Григорьевич; НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – Москва, 1974.
5. Banerjee P.K., Driscoll R.M., Davies T. Program for the analysis of pile groups of any

geometry subjected to horizontal and vertical loads and moments, PGROUP (2.1), 1978.

6. *Banerjee P.K., Davies T.G.* The behavior of axially and laterally loaded single piles embedded in nonhomogeneous soils // *Géotechnique*. – 1978. – Т.28, №3. – С.309–326.

7. *Basile F.* Non-linear analysis of pile groups under general loading conditions / University of Glasgow. – Glasgow, 1999.

8. *Fleming W.G.K.* Piling engineering. – London, New York: Taylor & Francis Group, op. 2009.

9. *Guo W.D.* Theory and Practice of Pile Foundations. — CRC Press, 2012.

10. *Mylonakis G., Gazetas G.* Settlement and additional internal forces of grouped piles in layered soil // *Geotechnique* 0016-8505. – 1998. – Т.48, №1. – С. 55–72.

11. *Poulos H.G.* Analysis of the Settlement of Pile Groups // *Géotechnique*. – 1968. – Т. 18, №4. – С. 449–471.

12. *Poulos H.G.* User's guide to program DEFPIG-Deformation Analysis of Pile Groups, Revision 6 // School of Civil Engineering, University of Sidney. – 1990.

13. *Randolph M.F., Wroth C.P.* An analysis of the vertical deformation of pile groups // *Geotechnique* 0016-8505. – 1979. – Т. 29. – С. 423–439.

14. *Randolph M.F.* Design methods for pile groups and piled rafts // *Proc. 13th ICSMGE*. – 1994. – Т. 5. – С. 61–82.

15. *Randolph M.F.* PIGLET Analysis and design of pile groups // The University of Western Australia– 1996.

16. *Russo G.* Numerical analysis of piled rafts // *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. – 1998. – Т. 22, №6. – С. 477–493.

17. *Viggiani C., Mandolini A., Russo G.* Piles and pile foundations. London: Taylor & Francis, 2012.

## Авторы:

Виктор Григорьевич ФЕДОРОВСКИЙ, канд. техн. наук, зав. лабораторией механики грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Victor FEDOROVSKY, Ph. D. (Engineering), Head of Soil Mechanics Laboratory, НИОСП named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: geconltd@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-41

Игорь Алексеевич БОКОВ, научный сотрудник лаборатории механики грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Igor BOKOV, Researcher of Soil Mechanics Laboratory, НИОСП named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: igor.bokov@gmail.com

тел.: +7 (499) 170-69-41

# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ БОЛЬШОЙ СПОРТИВНОЙ АРЕНЫ «ЛУЖНИКИ» В Г. МОСКВЕ К ЧЕМПИОНАТУ МИРА ПО ФУТБОЛУ В 2018 ГОДУ

## SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF DESIGN, MANUFACTURE, INSTALLATION AND OPERATION DURING THE RECONSTRUCTION OF GRAND SPORTS ARENA “LUZHNIKI” IN MOSCOW TO THE FOOTBALL WORLD CUP IN 2018

И. И. ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф.

М. И. ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук

*Статья посвящена научно-техническому сопровождению на всех стадиях реконструкции Большой спортивной арены в Лужниках к Чемпионату мира по футболу в 2018 г. Приведены составные части научно-технического сопровождения при реконструкции стадиона, даны их описания. Представлены результаты испытаний большепролетной модели покрытия и отдельных узлов, продувок в аэродинамической трубе, проведенных обследований в процессе научно-технического сопровождения. Дана методика проведения обследований и мониторинга покрытия с описанием используемых при-*

*The article is devoted to scientific and technical support at all stages of reconstruction of the Great Sports Arena in Luzhniki for the World Cup in 2018. The paper presents The components of scientific and technical support in the reconstruction of the stadium as well as their descriptions are given. The results of tests of the large-span model of the coating and individual components, wind tunnel purges, and surveys conducted in the process of scientific and technical support are presented. The methodology for conducting surveys and monitoring of the coating with a description of the used devices for measuring the*

*боров измерения параметров напряженно-деформированного состояния. Описаны положения специальных технических условий при реконструкции главной арены Чемпионата мира по футболу 2018 г. Дано описание расчетной схемы и полученных расчетных данных. Приведены результаты реконструкции стадиона и описание отдельных ее этапов.*

*parameters of the stress-strain state is given. The provisions of special technical specifications for the reconstruction of the main arena of the 2018 FIFA World Cup are described. The description of the design scheme and the resulting calculated data are given. The results of the stadium reconstruction and the description of its individual stages are presented.*

## Ключевые слова:

*Научно-техническое сопровождение, специальные технические условия, мониторинг напряженно-деформированного состояния, испытания натурной модели и узлов*

## Keywords:

*Scientific and technical support, special specifications, stress-strain state monitoring, conditions, tests of full-scale model and units*

Покрытия футбольных стадионов имеют пролеты более 100 м и консоли над трибунами более 20 м, что согласно федеральному закону ФЗ №190 от 29.12.2004 г. позволяет отнести их к уникальным сооружениям.

Для обеспечения надежности и безопасности уникальных сооружений по требованиям Федерального закона ФЗ №384 «Технический регламент безопасности зданий и сооружений» необходимо проведения для них научно-технического сопровождения (НТС) при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Общее НТС сооружения включает:

1. Выпуск специальных технических условий (СТУ) на проектирование.
2. НТС на всех этапах проектирования.
3. Проведение испытаний натурной модели сооружения, а также испытания моделей сложных узлов (при необходимости, в натуральную величину).
4. Выпуск рекомендаций по обеспечению безопасности от прогрессирующего (лавинообразного) обрушения.
5. НТС изготовления и монтажа металлоконструкций.
6. Разработка системы мониторинга на стадии монтажа и эксплуатации сооружения и его проведение.

СТУ выпускаются в связи с тем, что действующие нормативные документы не решают все возникающие при проектировании вопросы и проблемы: содержат более высокие требования по надежности и безопасности по сравнению с приведенными в нормативных документах, а также отсутствующие данные для проектирования, строительства и эксплуатации применительно к конкретному уникальному объекту. Требования к СТУ регламентируются приказом Минрегионразвития РФ №36 от 01.04.2008 г. и являются составной частью проектной документации на уникальное сооружение.

Научно-техническое сопровождение проводится не только при создании новых объектов, но и при реконструкции уже существующих уникальных сооружений. Примером может служить проведенное НТС реконструкции стадиона «Лужники» в г. Москве к чемпионату мира по футболу в 2018 г.

На Большой спортивной арене «Лужники» предстояло проводить матчи открытия и финала чемпионата мира по футболу в 2018 г. Существующая до реконструкции арена не удовлетворяла строгим требованиям ФИФА к проведению таких соревнований.

Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса «Лужники» – это уникальное сооружение, имеющее наибольшие в мире безопорные пролеты для стального купольного покрытия, составляющие 310 м по большой оси и 250 м – по малой. Оно состоит из наружного опорного и внутреннего контуров, радиальных балок и кольцевых ферм.

Наружный опорный контур покрытия шарнирно опирается на 72 колонны, расположенные по периметру стадиона, отстоящие на 5 м от трибун стадиона, которые, в свою очередь, шарнирно опираются на фундаменты (рис. 1, *а*, *б*).



**Рис. 1.** Большая спортивная арена Олимпийского комплекса «Лужники» до реконструкции:

*а* – фасад; *б* – вид изнутри сооружения

Большая спортивная арена находится на так называемой «золотой оси», соединяющей МГУ им. М.В. Ломоносова, смотровую площадку на Воробьевых горах, Лужники, Храм Христа Спасителя и Кремль, и является градообразующим объектом для г. Москвы, т.е. фактически является ее символом [1, 9, 11]. Поэтому решено было сохранить ее фасад, который включает покрытие и наружную стену.

Реконструкция стадиона включала демонтаж существующих трибун с сохранением фасадной стены и сооружение новых трибун, соответствующих требованиям ФИФА. При этом новые трибуны должны быть расположены ближе к футбольному полю на 11 м, что потребовало увеличения площади большепролетного покрытия для обеспечения защиты дополнительных мест на новых трибунах от атмосферных осадков [2].

Перед началом проектирования реконструкции главной арены чемпионата мира по футболу 2018 г. были разработаны СТУ, которые включали отсутствующие в нормативных документах требования: основные; к инженерно-геологическим изысканиям; к назначению нагрузок и воздействий; к расчетам; к проектированию основания, фундаментов и подземной части сооружения; к проектированию железобетонных конструкций надземной части несущего каркаса; к проектированию конструкций покрытия; к инженерному оборудованию. Были назначены коэффициенты надежности по ответственности в период демонтажа, во время сооружения новых трибун и увеличения площади покрытия, а также коэффициенты надежности по различным видам действующих нагрузок.

Из-за отсутствия в нормативных документах сведений по климатическим нагрузкам были проведены испытания в специализированной аэродинамической трубе (рис. 2), которые позволили получить значения ветрового давления и смоделировать перенос снега при эксплуатации сооружения.



**Рис. 2.** Макет стадиона для определения значений ветрового давления и снеговых нагрузок

По полученным результатам разработаны Рекомендации по определению снеговых и ветровых нагрузок на уникальное покрытие БСА. В связи с тем что планируемый срок эксплуатации стадиона не менее 100 лет, расчетные климатические нагрузки приняты с соответствующей обеспеченностью.

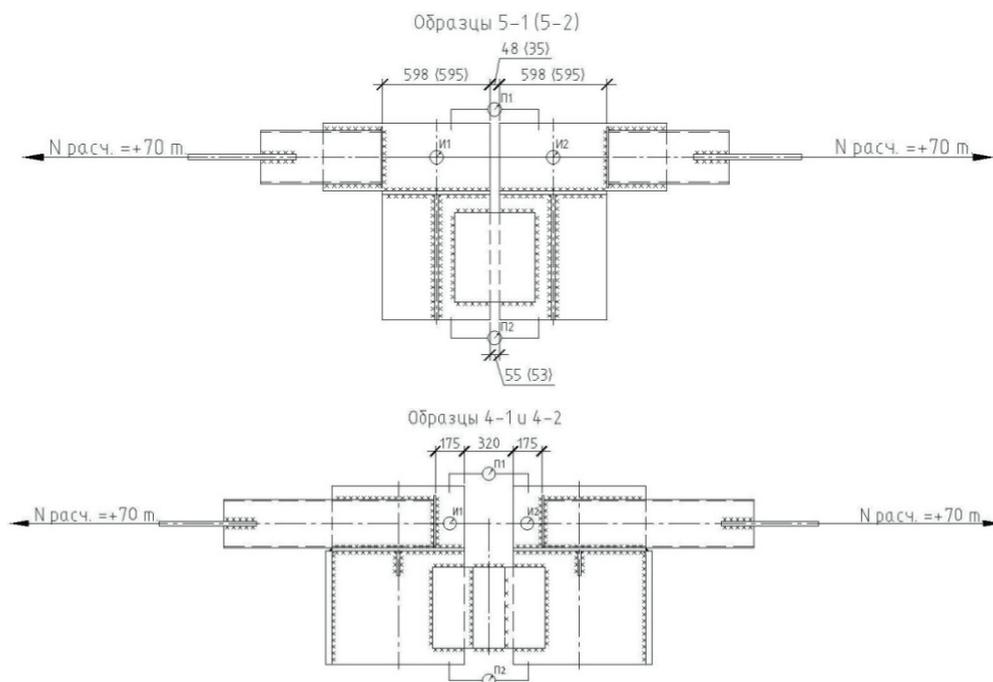
Для выяснения действительной работы покрытия первоначально были проведены испытания его большепролетной модели. На модели определяли усилия, прогибы и перемещения, которые сравнивали с результатами расчета модели. Моделировались особенности системы (граничные условия, соединения элементов между собой, жесткости, назначенные на основании теории подобия), а также ситуации отказа отдельных элементов каркаса и влияния этого на работу покрытия.

Нагрузки на большепролетную модель прикладывались в соответствии с принятыми в проекте величинами, а их значения скорректированы по правилам теории подобия. Выявлялось наступление предельного состояния от максимальных нагрузок, и оценивался запас несущей способности системы [1, 8].



**Рис. 3.** Испытания модели покрытия: *а* — общий вид модели; *б* — выключение из работы трех колонн

В процессе реконструкции стадиона для решения возникающих проблем были проведены испытания натуральных узлов консольной системы, необходимой для увеличения площади покрытия (рис. 4).



**Рис. 4.** Образцы для испытания конструкции опорной части консольной системы покрытия БСА

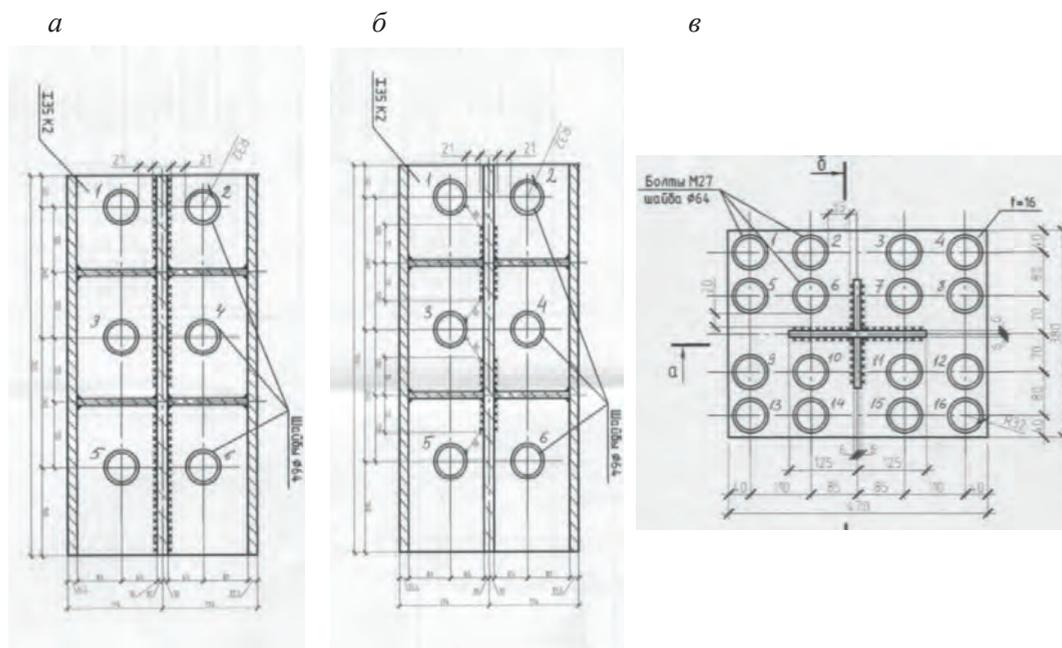
Испытание было проведено на разрывной машине в лаборатории испытаний конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (рис. 5) и заключалось в доведении образцов до разрушения при растяжении. Растягивающая нагрузка прикладывалась к поясам, с поэтапным увеличением нагрузки, фиксацией её и освидетельствованием образца на каждом этапе.

Результаты проведенного экспериментального исследования выявили запас несущей способности поясов козырька из замкнутых гнутосварных прямоугольных профилей. Разрушающая нагрузка в 2 раза превысила расчетное усилие в поясах козырька покрытия [6].



**Рис. 5.** Испытание образца на растяжение

Соединение всех элементов существующего покрытия первоначально было выполнено на высокопрочных болтах, а при реконструкции запроектировано применение сварки. Для исследования теплового влияния сварки во время монтажа на несущую способность существующих предварительно напряженных болтов в соединении вновь возводимых конструкций проведены испытания характерных натурных узлов реконструируемого покрытия со сплошными и прерывистыми швами (рис. 6).

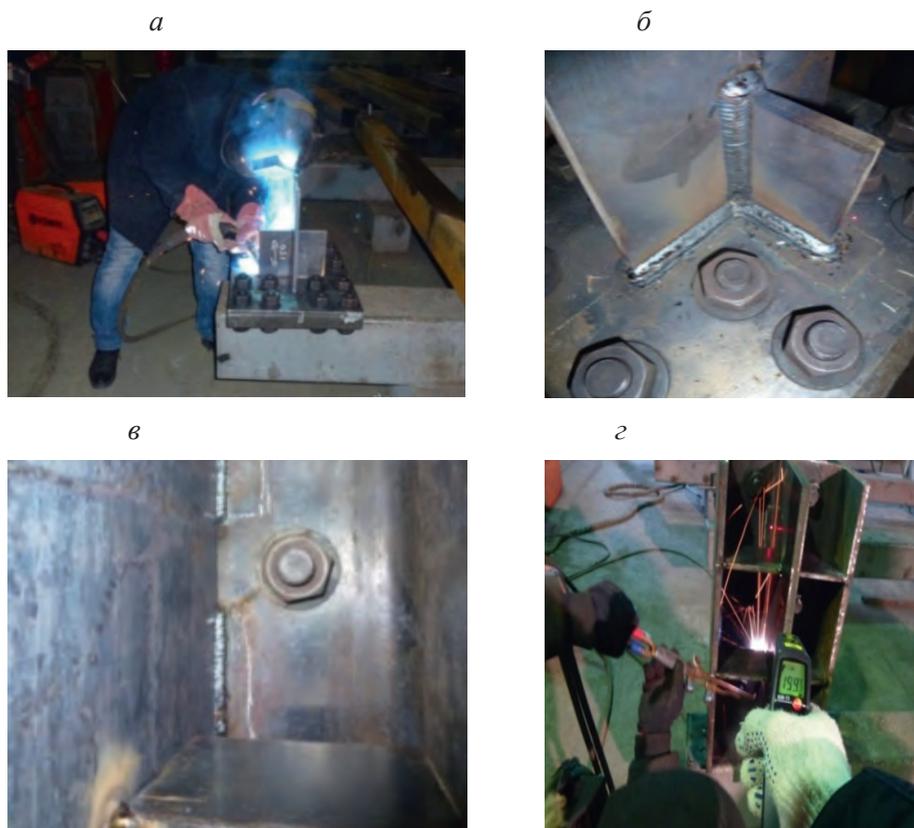


**Рис. 6.** Образцы для испытания влияния сварки на свойства высокопрочных болтов: а — приварка ребер сплошным швом; б — приварка ребер прерывистым швом; в — образец с крестообразными ребрами

При изготовлении образцов к пластинам, соединенным высокопрочными болтами М27, натяжение которых обеспечивалось затяжкой гаек динамометрическим ключом до расчетного крутящего момента  $M = 1634$  Нм, с помощью сварки присоединяли элементы конструкции консольной системы. Образцы при наложении сварных швов были ориентированы в соответствии с положением их на монтаже конструкций.

В соответствии с указаниями СП 70.13330 при сварке элементов конструкций общей толщиной более 25 мм из стали с расчетным сопротивлением более 345 МПа образцы предварительно подогревали до температуры 120-170 °С в зоне 100 мм с каждой стороны соединения.

В процессе наложения сварных швов производилось выборочное измерение температуры болтового соединения с помощью инфракрасного термометра, а после окончания сварки измерение температуры проводилось на всех болтах соединения. Все показания фиксировались (рис. 7).



**Рис. 7.** Прикрепление пластин механизированной сваркой и измерение температуры болтов:  
*а* — изготовление образца; *б* — образец со сплошным сварным швом; *в* — образец с прерывистым сварным швом; *г* — измерение температуры нагрева болтового комплекта

После остывания образца производилась повторная проверка натяжения болтов с помощью динамометрического ключа. Болты, подвергнутые температурному воздействию, были выкручены из образцов и испытаны на растяжение в разрывной машине. Для сравнения были отобраны болты из каждой партии для испытания их в качестве эталона.

В результате проведенного эксперимента выявлено, что нагрев болтового комплекта от 60 до 175 °С (при комбинированных соединениях, в которых часть усилия воспринимается фрикционным соединением, а часть – сварными швами), на несущую способность болтов влияет незначительно [7].

При проверке момента закручивания с помощью динамометрического ключа после охлаждения образцов с приваренными пластинами были зафиксированы болты, у которых ослабла затяжка. В связи с этим даны рекомендации монтажникам проверять при сварке температуру нагрева болтов и при достижении 300 °С болты следует заменять на новые. В остальных случаях после получасового остывания рекомендовано проверять затяжку болтов на расчетный момент закручивания и при ослаблении затяжки болты

подтягивать.

В процессе научно-технического сопровождения разработаны Рекомендации по предотвращению покрытия от лавинообразного (прогрессирующего) разрушения. В этих Рекомендациях приведены указания по проверке несущей способности покрытия и его элементов при наличии в них локальных повреждений с целью минимизации влияния возможных ошибок при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций. В Рекомендациях приведены требования к безопасному *проведению реконструкции* стадиона при условии сохранения фасадной стены и уникального большепролетного покрытия стадиона. Для обеспечения безопасной *эксплуатации* стадиона в Рекомендациях указаны основные требования к мониторингу покрытия, стен и трибун.

Научно-техническое сопровождение проектирования проводилось на всех стадиях – эскизном проектировании, стадии «Проект» и стадии «Рабочая документация». Первоначально анализировали различные варианты проведения реконструкции и выбирали наиболее рациональный, безопасный и экономически обоснованный вариант.

Для сохранения устойчивости фасадной стены был предложен и осуществлен безопасный демонтаж старых трибун. На начальном этапе были демонтированы трибуны, опертые непосредственно на землю. Далее проведена разборка каркаса трибун, состоящего из стальных облицованных кирпичом колонн и обетонированных ригелей. В последнем пролете каркаса для обеспечения устойчивости фасадной стены была устроена система вертикальных стальных связей в радиальном и кольцевом направлениях. Последний пролет каркаса демонтируемых трибун удалили после соединения конструкций нового каркаса с фасадной стеной [2]. Предложенная схема демонтажа была проверена расчетом.

Каркас новых двухъярусных трибун выполнен из монолитного железобетона В40 с армированием арматурой класса А500С. Конструктивная система – колонно-стенная, с основным шагом колонн  $8,50 \times 9,25$  м. Жесткость и устойчивость конструктивной системы обеспечены совместной работой ее элементов. Перекрытия устроены по монолитным железобетонным балкам, расположенным в двух направлениях. На отдельных участках каркаса трибун для перекрытий атриума и спортивных залов установлены стальные балки и фермы. Гребенка трибун выполнена из Г- и Т-образных сборных железобетонных элементов по монолитным железобетонным балкам (рис. 8).

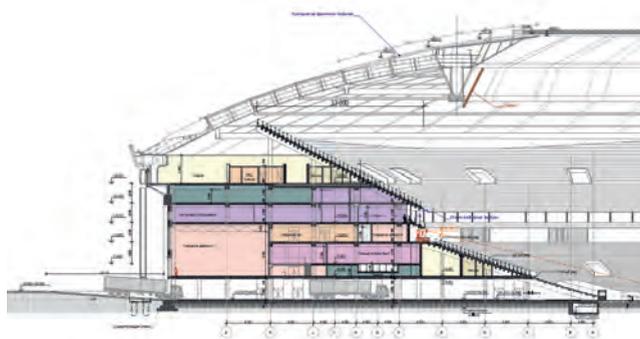


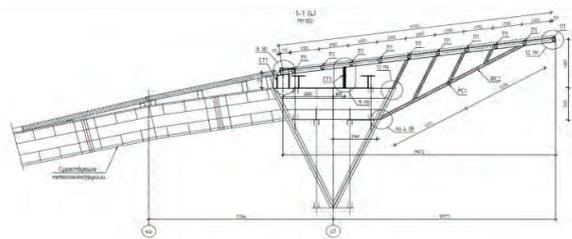
Рис. 8. Новые двухъярусные трибуны Большой спортивной арены «Лужники»

Для обеспечения устойчивости покрытия при проведении реконструкции функцию демонтированных вертикальных связей выполняли временные вертикальные связи, установленные между существующими основными колоннами (рис. 9). После завершения реконструкции стационарные связи установлены на прежние места, а временные демонтированы. В рамках НТС разработаны Рекомендации на установку временных вертикальных связей между колоннами в период реконструкции стадиона и возвращение их в стационарное положение после возведения нового каркаса трибун. Также перед выполнением работ по переносу связей проведено обследование состояния мест крепления временных связей к существующим колоннам.



**Рис. 9.** Временные вертикальные связи между существующими колоннами БСА: а — общий вид стадиона с временными связями; б — временные вертикальные связи из труб

Из нескольких предложенных схем при проектировании конструкций увеличения покрытия была выбрана консольная схема, увеличивающая вылет козырька трибун на 16 м. Консольная часть конструкции присоединяется к внутреннему контуру существующего покрытия и состоит из деформационных блоков, образованных треугольными стальными радиальными фермами с наклонной безраскосной решеткой (рис. 10), прогонами и связями. Соединение консольной части с внутренним контуром выполнено на сварке. Материал консольной части – сталь С345-3 по ГОСТ 27772-88.



**Рис. 10.** Конструкция консольной части покрытия БСА

Кровельное покрытие консольной части выполнено аналогично стационарной части. Существующая поликарбонатная кровля заменена на новую. Для придания плавного очертания кровле отдельные части ее опорной подсистемы приподняты на стойки, опирающиеся на радиальные элементы покрытия [2].

Узлы соединения элементов существующей и проектируемой частей покрытия

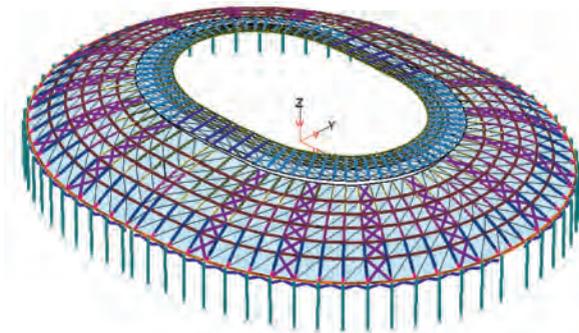
– шарнирные. После проведения реконструкции вылет козырька покрытия составил 78,5 м. Проем над футбольным полем, овальный в плане, имеет размеры вдоль главных осей – 152×92 м.

При проведении НТС на стадии проектирования выполнен независимый проверочный расчет покрытия. Расчетная схема и вычислительный комплекс расчета системы отличались от принятой проектной организацией (рис. 11). Сравнение и анализ полученных результатов двух независимых расчетов, проектного и проверочного, показал их хорошее совпадение.

Одновременно даны рекомендации по проектированию узлов. Проведенная экспертиза разработанного проекта реконструкции стадиона подвела итог НТС на стадии проектирования.

При проведении НТС изготовления и монтажа конструкций разработаны технические условия (ТУ) на изготовление и на монтаж конструкций.

В ТУ на изготовление конструкций содержатся требования по сварке, ударной вязкости, химическому составу стали, не входящие в действующие нормы или регламентирующие более высокие требования по сравнению с нормативными. Там же приводятся требования к техническому контролю и приемке металлоконструкций на стадии изготовления.



**Рис. 11.** Расчетная схема независимого проверочного расчета покрытия БСА

В ТУ на монтаж указаны требования к установке конструкций в проектное положение, выверке, закреплению и снятию с временных поддерживающих опор; к устойчивости и неизменяемости смонтированных конструкций сооружения на всех стадиях монтажа; к выполнению сварочных и болтовых соединений, к квалификации монтажников, которые их выполняют. Учитывая уникальность покрытия, даны предельно жесткие требования по точности установки монтируемых конструкций, а также по контролю и приемке монтажных и болтовых соединений.

Система мониторинга, входящая в состав НТС реконструкции БСА «Лужники», позволяет предупреждать и своевременно устранять возможные нештатные ситуации, возникающие при монтаже и эксплуатации покрытия. Были разработаны технические условия, в которых изложена методика проведения мониторинга, включающая определение снеговых нагрузок на покрытие, а также параметров напряженного и деформированного состояния покрытия [3, 4, 5, 10].

В процессе мониторинга покрытия БСА, выполнявшегося ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко с 1997 г., определяли деформации (напряжения) в основных конструкциях (в наиболее ответственных сечениях элементов наружного и внутреннего контуров покрытия и на вертикальных связях между колоннами в уровне проходной галереи). Измерения выполнены с помощью разработанных в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко механических тензометров ТМИ-500М и с использованием деформометров ИЧ-10 (рис. 12) и с учетом температурных поправок.

*а**б*

**Рис. 12.** Механический тензометр ТМИ-500М (а) и измерение деформаций в наиболее напряженных волокнах внутреннего контура (б)

Измерение температур конструкции, штанги и калибра проводятся электронным контактным термометром ТК5-О1П, изготовленным отечественной фирмой Техно АС (рис. 13).



**Рис. 13.** Измерение температуры конструкции контактным термометром ТК 5-01 П

Для контроля изменений деформаций (напряжений) во временных вертикальных связях, которые могли возникнуть в период реконструкции, на них были установлены такие же тензометры (рис. 14).



**Рис. 14.** Измерение деформаций в вертикальных связях во время реконструкции

После демонтажа временных связей деформометры были прикреплены к стационарным связям.

Деформированное состояние покрытия исследуется методами инженерной геодезии и позволяет определять прогибы и горизонтальные перемещения в контрольных точках покрытия.

При периодическом визуальном осмотре конструкций выявляются возможные повреждения, возникающие в процессе эксплуатации, оценивается их опасность и принимаются меры по их устранению. На основании полученных результатов определяется техническое состояние объекта и прогнозируется срок безопасной эксплуатации объекта.

В результате проведенной реконструкции БСА «Лужники» сооружен новый каркас трибун, увеличен вылет козырька покрытия, сохранена историческая фасадная стена, обеспечена устойчивость существующего большепролетного покрытия. Внешний вид стадиона снаружи приведен на рис.15 и изнутри – на рис. 16.



**Рис. 15.** Общий вид реконструированной арены БСА «Лужники». Вид снаружи



**Рис. 16.** Общий вид реконструированной арены БСА «Лужники». Вид изнутри

На Большой спортивной арене стадиона «Лужники» успешно проведены матчи чемпионата мира по футболу 2018 года, включая церемонию открытия с первой игрой чемпионата мира (рис. 17) и финальный матч за звание чемпиона мира.



**Рис. 17.** Матч открытия Чемпионата мира по футболу 2018 г.

### **Выводы**

Реконструкция Большой спортивной арены Олимпийского стадиона в Лужниках позволила создать стадион, удовлетворяющий строгим требованиям ФИФА к аренам для проведения Чемпионата мира по футболу 2018 г., включая и самые жесткие требования для проведения матчей финала и открытия Чемпионата.

Научно-техническое сопровождение проектирования, изготовления и монтажа конструкций стадиона позволило решать сложные задачи в процессе реконструкции уникального сооружения, предупреждать и предотвращать нештатные ситуации, которые возникали в процессе реконструкции и могут возникать при дальнейшей эксплуатации уникального сооружения.

## Библиографический список

1. *Микулин В.Б., Одесский П.Д., Оспенников А.Г., Отставнов В.А., Попов Н.А., Ханджи А.В., Фарфель М.И. и др.* Покрытие Большой спортивной арены стадиона «Лужники» (проектирование, научные исследования и строительство). — М.: «Форт», 1998.
2. *Фарфель М.И., Гукова М.И., Коняшин Д.Ю., Куценко А.Е., Любарцев А.В.* Особенности реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» к Чемпионату мира по футболу в 2018 году // Вестник НИЦ Строительство. Исследования по теории сооружений. — 2017. — № 14. — С. 74-92.
3. *Фарфель М.И.* Мониторинг покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники» // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. — 2010. — Т. 6. — № 1-2. — С. 219-220.
4. *Фарфель М.И.* Обеспечение безаварийной эксплуатации уникального большепролетного покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники» // Строительная механика и расчет сооружений. — 2012. — № 6. — С. 56–61.
5. *Фарфель М.И.* Организация мониторинга покрытия Большой спортивной арены олимпийского стадиона «Лужники» в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации // Вестник НИЦ «Строительство». Исследования по теории сооружений. . — 2013. — Вып.7-8 (XXXI). — С. 37–50.
6. *Гукова М.И., Гуров С.В., Фарфель М.И., Иващенко С.В., Коняшин Д.Ю.* Испытание натуральных узлов конструкции увеличения козырька покрытия БСА «Лужники» // Строительная механика и расчет сооружений. — 2015. — № 3. — С. 63-69.
7. *Гукова М.И., Гуров С.В., Фарфель М.И., Иващенко С.В., Коняшин Д.Ю.* Работа комбинированных соединений при реконструкции Большой спортивной арены стадиона «Лужники» // Промышленное и гражданское строительство.— 2016. — № 12. — С. 37-43.
8. *Микулин В.Б., Попов Н.А., Отставнов В.А., Фарфель М.И.* Расчет покрытия Большой спортивной арены Олимпийского комплекса «Лужники» // Сейсмостойкое строительство. — 2003. — №6. — С. 38-42.
9. *Микулин В.Б., Фарфель М.И. и др.* Покрытие Большой спортивной арены Олимпийского комплекса в Лужниках / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 80 лет. Сб. статей. — М., 2007. — С. 46-55.
10. *Егоров М.И., Баранов Д.С.* Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных сооружений Москвы // Промышленное и гражданское строительство. — 2001. — №10.— С. 14-17.
11. *Mikulin V. B., Khandzhi A. V.* Design and construction of mayor sports arena in Luzhniki. Moscow / Spatial Structures in new and Renovation project of Buildings and constructions (International congress ICSS-98, June 22-26 1998. Moscow. Russia). Pp. 113-114.

## Авторы:

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф., директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ivan VEDYAKOV, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Director of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedykov@gmail.com

тел.: +7 (499) 171-26-50; +7(499)170-10-60

Михаил Иосифович ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук, заведующий сектором Реконструкции и мониторинга зданий и сооружений Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail FARFEL, Ph.D. (Engineering), Chief Manager of Reconstruction and monitoring of building and structures Sector, Metal structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (916) 950-61-29; +7 (499) 170-10-87

# СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ И ВОПРОСЫ РАСШИРЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## MODERN RUSSIAN STANDARDS AND ISSUES OF THE EXPANDING OF METAL STRUCTURES IN CONSTRUCTION

И. И. ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф.

П. Д. ОДЕССКИЙ, д-р техн. наук, проф.

*Обсуждаются достигнутый в настоящее время высокий уровень качества металла и расширение сортамента для строительных металлических конструкций, что закреплено в новых стандартах на прокат листовой и фасонный, трубы, а также в нормах проектирования. Показано, что применение современных сталей с высокой прочностью и хладостойкостью, огнестойкостью и коррозионной стойкостью имеет высокую экономическую эффективность и служит предпосылкой необходимого в настоящее время расширения применения металлических конструкций в строительстве.*

### Ключевые слова:

*Строительные металлические конструкции, стальной прокат, трубы, стандарты на поставку, норма проектирования.*

*The current high level of metal quality and the expansion of the assortment for building metal structures, which is enshrined in new standards for sheet and shaped steel, pipes, as well as in design standards, are discussed. It is shown that the use of modern steels with high strength and cold resistance, fire resistance and corrosion resistance has high economic efficiency and is a prerequisite for the currently needed expansion of the use of metal structures in construction*

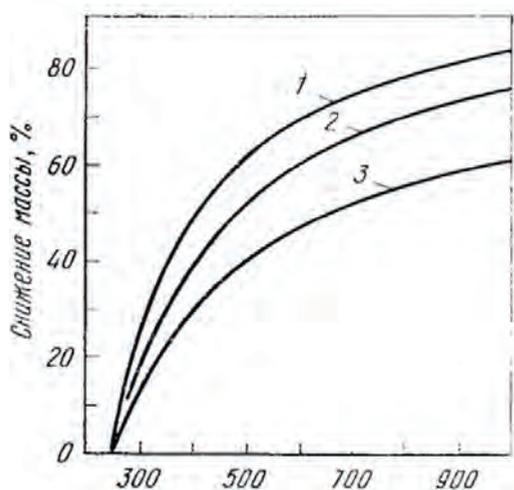
### Key words:

*Building metal structures, rolled steel, pipes, standards for supply, design rate*

Одним из основных видов продукции черной металлургии является листовой прокат и профили из сталей с пределом текучести  $\sigma_T = 200-700 \text{ Н/мм}^2$ , предназначенные для металлических конструкций, как правило, сварных (каркасов гражданских, общественных и промышленных зданий, башен, мачт, резервуаров, мостов, трубопроводов и др.). Конкуренентоспособность металлических конструкций по сравнению с сооружениями из

других материалов определяется преимущественно по эксплуатационным свойствам, технологичности производства, сортаменту, и в первую очередь, по экономической эффективности. Что касается строительной отрасли, стоимость металла составляет около половины общей стоимости металлических конструкций. Поэтому основной способ снижения цены конструкции, т.е. повышение её экономической эффективности, заключается в уменьшении её массы. Этого в первую очередь можно добиться, применяя экономнолегированные стали, особенно — в эффективных профилях повышенной и высокой прочности.

Поэтому развитие сталей и сортамента во многом обусловлено именно требованием экономической эффективности. Это требование также определяет современную схему производства проката в металлургии: известно, что в настоящее время технологии и конструкции агрегатов по производству сталей развиваются с учетом необходимости экономии энергетических ресурсов.



$\sigma_t$ , Н/мм<sup>2</sup>

**Рис. 1.** Изменение целесообразности повышения прочности стали: 1 — тяжелые пролетные строения с большой длиной пролета; 2 — растянутые элементы конструкций; 3 — конструкция каркаса промышленного здания (на сжатые элементы приходится более 40% массы)

Хорошо известны данные расчетов [2] (рис. 1), где показано увеличение экономии металла при повышении прочности стали на примере конструкций промышленных зданий. В [5] для случая применения электросварных труб круглого сечения высокой прочности с  $\sigma_t \geq 390$  Н/мм<sup>2</sup> была установлена возможность снижения массы конструкции до 50%, и даже 55% при применении стали с  $\sigma_t = 590$  Н/мм<sup>2</sup>. В [7] отмечается, что снижение расхода металла, связанное с применением сталей высокой прочности и экономичных профилей, также уменьшает трудоёмкость изготовления и монтажа, при этом условно высвобождается определённая численность рабочих.

В последние 5 лет был разработан и вступил в действие ряд специальных стандартов на поставку строителям металла, высокое качество которого определялось новей-

шими технологическими достижениями отечественной металлургии.

Это прежде всего новый стандарт на поставку толстолистовой стали и фасонных профилей ГОСТ 27772-2015; это стандарт на электросварные трубы ГОСТ Р 58064-2018 (сечением 1420×48 мм включительно), а также бесшовные; это отдельный стандарт на широкополочные двутавры с параллельными гранями полок ГОСТ Р 37837-2017, особо эффективные Н-образные сечения без сварных швов.

В табл. 1 представлены сопоставительные данные по химическому составу в зависимости от прочности сталей, поставляемых вплоть до последнего времени по ГОСТ 27772-88 (знаменатель) и другим стандартам, а в настоящее время – по ГОСТ 27772-2015 (числитель).

Таблица 1

### Требования по химическому составу сталей для металлических конструкций по ГОСТ 27772-88 и ГОСТ 2015

Уровень прочности	$\sigma_r$ , Н/мм <sup>2</sup>	Стали по стандарту	Содержание элементов, масс. %			
			C	S	P	C <sub>s</sub>
			не более			
Обычный	Менее 290	<u>C245, C255</u>	<u>0,17</u>	<u>0,025</u>	<u>0,035</u>	-
		C235, C245, C255, C275, C285	0,22	0,050	0,040	-
Повышенный	От 290 до 390	<u>C355, C355-1, C355K, C355П</u>	<u>0,14</u>	<u>0,015</u>	<u>0,017</u>	<u>0,45</u>
		C345, C375	0,15	0,040	0,035	-
Высокий	От 390 до 550	<u>C390, C390-1, C440</u>	<u>0,12</u>	<u>0,010</u>	<u>0,017</u>	<u>0,46</u>
		C390, C440	0,18; 0,20	0,040	0,035	0,49; 0,51
Особо высокий	От 550 и более	<u>C550, C590</u>	<u>0,10</u>	<u>0,004</u>	<u>0,015</u>	<u>0,54</u>
		C550, 590К	0,14	0,035	0,035	-

Со времени составления ГОСТ 27772-88 уровни прочности, а точнее, потребности строителей в прокате различной прочности изменились мало (см. табл. 1): уменьшилось количество сталей обычной прочности и, что более важно, в качестве стали повышенной прочности предложено применять сталь С355 вместо стали С345 и С375. Такое изменение связано с двумя причинами: фактически сталь повышенной прочности выпускается именно со свойствами С355; кроме того, такая сталь гармонизируется со сталью S355, выпускаемой по действующим евро нормам EN 10025, и с достаточно широко применяемой и выпускаемой в России. Преимущества стали С355 по сравнению со сталями С345, особенно при больших толщинах, хорошо видны из данных табл. 2.

Таблица 2

### Прочностные характеристики сталей С345 и С355 по ГОСТ 27772

Сталь	Диапазон толщин, мм	$\sigma_r$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>
C345	От 20 до 40 вкл.	305	460
C355		345	470
C345	От 40 до 60 вкл.	285	450
C355		335	470
C345	От 60 до 80 вкл.	275	440
C355		325	470

Видно, что сталь С355 существенно прочнее, т.е. её применение приводит к дополнительному снижению массы конструкций. В новые стандарты на электросварные трубы для строительных конструкций включены трубы, в том числе больших диаметров, высокой прочности — от С390 до С690 включительно. В ГОСТ 26020-83 «Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок» включены профили со свойствами С390 и С440.

Ранее применялись трубы и профили не прочнее С345. В новые действующие строительные нормы СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*» включены требования к указанным трубам и профилям высокой прочности.

Как видно из табл. 1, в новом стандарте закреплены описанные выше достижения металлургии в части оптимизации химического состава обсуждаемых сталей. При сравнении сталей одинаковой прочности видно, что существенно понижено содержание углерода, особенно вредных примесей, а также общее содержание легирующих элементов, что отражается на величине углеродного эквивалента  $C_e$ .

Изменения в химическом составе существенно усиливаются по мере повышения прочности стали. Представленные ограничения на химический состав прежде всего обеспечивают хорошую свариваемость проката. При этом следует иметь в виду, что более 60% отказов в металлических конструкциях обусловлено дефектами в сварных соединениях. Низкие величины  $C_e$ , особенно в случае сталей высокой прочности, обеспечивают достаточно высокое сопротивление холодным трещинам; низкое содержание вредных примесей, в первую очередь серы, способствует устранению горячих и слоистых трещин; снижение содержания углерода и вредных примесей положительно влияет на хладостойкость сварных соединений. Ограничения по химическому составу, представленные в табл. 1, регламентированы в современных нормах на проектирование строительных стальных конструкций СП 16.13330.2017.

Стандарт ГОСТ 27772-2015 допускает определенную вариативность химического состава сталей с механическими свойствами С355 (С355, С355-1, С355К и С355П) и С390 (С390, С390-1), что связано как с современными схемами упрочнения проката, так и с областями использования. Стали С355, С390 и С440 имеют химический состав типа 09Г2ФБ, удобный для упрочнения по наиболее эффективной схеме термомеханической прокатки с последующим охлаждением [8], но также и по традиционным схемам нормализации или термического улучшения [9].

Прокат С355-1 и С390-1 изготавливается из термически упрочнённых сталей с повышенной коррозионной стойкостью второго поколения — многокомпонентных сталей типа 15ХСНДА и 10ХСНДА соответственно, широко применяемых в уникальных строительных, мостостроительных конструкциях и т.п.

Стали С355К и С355П – коррозионностойкая и огнестойкая (жаростойкая) стали соответственно. Их химический состав в сопоставлении со сталями С355 и С355-1 (15ХСНДА) представлены в табл. 3.

**Химический состав сталей С355 по ГОСТ 27772-2015**

Сталь	Содержание элементов, %											
	C, не более	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Zr
				Не более								
С355	0,14	1,00-1,80	0,15-0,80	0,015	0,017	0,10-0,30	0,10-0,30	0,10-0,30	-	≤0,08	≤0,06	-
С355-1	0,15	0,60-0,90	0,40-0,70	0,015	0,017	0,60-0,90	0,30-0,60	0,20-0,40	-	-	-	-
С355К	0,15	0,80-1,10	0,40-0,60	0,015	0,020	0,50-0,70	0,50-0,70	0,40-0,70	-	-	-	0,005-0,020
С355П	0,10	0,60-0,90	0,15-0,35	0,015	0,020	0,50-0,80	0,10-0,30	≤0,030	0,08-0,20	0,06-0,09	0,02-0,04	-

Сталь С355-1 соответствует европейской стали COR TEN B, С355К – COR TEN A. Огнестойкость стали С355П обеспечивается легированием Мо-Сг-Nb-V, особенно в случае термомеханической прокатки с ускоренным охлаждением.

В качестве сталей для проката высокой прочности С550, С590 приняты стали с молибденом типа 08МГ2ФБ, в которых в толщинах до 50 мм обеспечивается требуемый высокий комплекс свойств при упрочнении по схемам термомеханической прокатки с последующим ускоренным охлаждением.

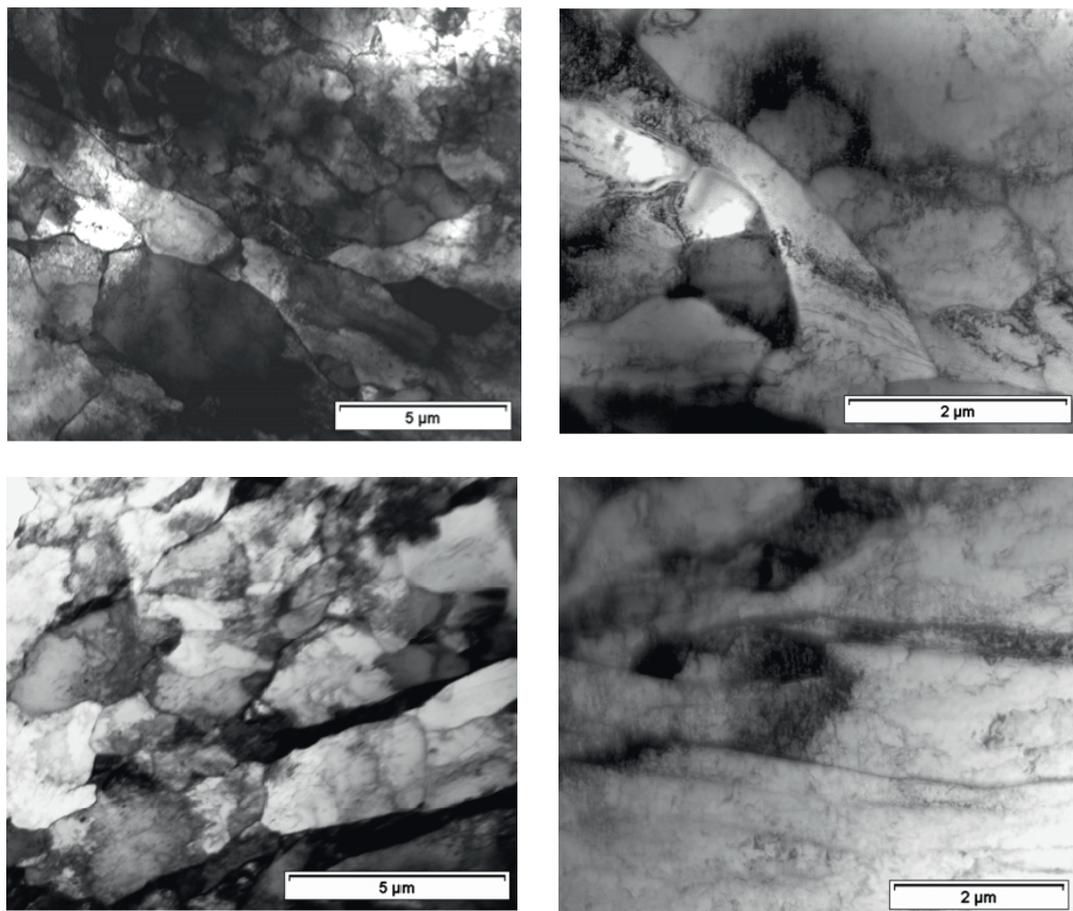
В настоящее время большое внимание уделяется производству металла с высокой хладостойкостью, что особенно важно в связи с происходящим в последние годы широким хозяйственным освоением Арктики.

При возведении крупных строительных объектов в этом районе имеются большие риски экономических и экологических потерь в случае отказов элементов конструкций [10]. Поэтому строительство должно быть обеспечено металлом с высокой хладостойкостью.

В сталях, производимых на современных металлургических предприятиях по ГОСТ 27772-2015, реализована концепция обеспечения высокого сопротивления разрушению: формирование в прокате высокодисперсной структуры в сочетании с высокой чистотой по вредным примесям. Прежде всего это относится к прокату высокой прочности, в котором после термомеханической прокатки формируется многослойная структура с размерами структурного элемента ~ 1 мкм (рис. 2).

Эффективной стандартной характеристикой при оценке сопротивления разрушению является ударная вязкость при отрицательных температурах.

Традиционно (с начала XX в.) в нашей стране для оценки ударной вязкости применялся образец с U-образным надрезом (тип 1 по ГОСТ 9454-78). В то же время в рассматриваемых современных стандартах закреплено использование технологий, направленных на измельчение зерна и широко освоенных в отечественной металлургии



**Рис. 2.** Тонкая структура проката С550. Просвечивающая электронная микроскопия тонких фольг (нормализация, улучшение, термомеханическая обработка по различным схемам и др.).

В ряде наших работ [11] было показано, что вязко-хрупкий переход сталей с дисперсной структурой, которая имеет место в современных материалах, хорошо описывается при испытаниях на ударный изгиб образцов с острым надрезом.

С учетом этого при разработке новых стандартов в качестве основного образца для испытаний на ударный изгиб был принят именно образец с V-образным надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454). Оценка величины ударной вязкости KCV позволила также гармонизировать отечественные нормы с европейскими.

Принятие в ГОСТ 27772-2015 гарантии по ударной вязкости (табл. 4) полностью соответствуют требованиям современных строительных норм (табл. 5). Принятый в новом стандарте переход на образец с V-образным надрезом фактически закрепил возможность существенного повышения сопротивления разрушению современных сталей по сравнению со сталями, регламентированными ГОСТ 27772-88. Так, при одинаковом критериальном значении ударной вязкости 34 Дж/см<sup>2</sup> переход от KCU к KCV обеспечивает повышение хладостойкости примерно на 40 °С.

Таблица 4

**Гарантии по ударной вязкости ГОСТ 27772-2015 листового  
и широкополочного универсального проката**

Стали	Ударная вязкость KCV, Дж/см <sup>2</sup>			
	при температуре, °C			
	0	-20	-40	-60
C245	34	-	-	-
C255	34	34	-	-
C355, C355-1, C355K, C355П	-	34	34	34
C390, C390-1, C440	-	-	34	34
C550, C590	-	-	-	66

Таблица 5

**Нормируемые показатели ударной вязкости проката по СП 16.23330.2017**

Расчетная температура, °C	Группа конструкции	Предел текучести проката, Н/мм <sup>2</sup>							
		$R_{yn} < 290$		$290 \leq R_{yn} < 390$		$390 \leq R_{yn} < 490$		$R_{yn} \geq 490$	
		Показатели ударной вязкости, Дж/см <sup>2</sup>							
		KCV		KCV		KCV		KCV	
		При температуре испытаний на ударный изгиб, °C							
		+20	0	-20	-20	-40	-40	-60	-60
$T \geq -45$	1,2,3	34	-	-	34	-	34	-	40
$-45 > t \geq -55$	1	-	-	34	-	34	34	-	40
	2,3	-	34	-	34	-	34	-	40
$t < -55$	1,2,3	-	-	34	-	34	-	34	40

Прокат, поставляемый по ГОСТ 27772-2015, а также трубы по ГОСТ Р 58064-2018 имеют высокое сопротивление разрушению и обеспечивают надежную работу зданий и сооружений, в том числе эксплуатируемых в районах Арктики и Сибири, что также имеет существенное экономическое значение.

Рассмотрим основные направления расширения применения металлических конструкций в строительстве.

Описанное выше повышение качества стали, позволившее нормировать в строительстве применение проката с высокими потребительскими свойствами, привело к изменению структуры применения металла с различными механическими свойствами: если в 80-х годах прошлого века потребление проката обычной, повышенной и высокой прочности соотносилось как 100:10:1, то в настоящее время прокат высокой прочности

С390 и С440, а также трубы и широкополочные двутавры из них, обладающие высокими эксплуатационными свойствами, применяются самым широким образом. Применение такого проката и труб из него представлено на рис. 3, рис. 4 и рис. 5 (конструкции покрытий стадионов «Динамо», «Спартак», «Самара Арена»). Применение широкополочных двутавров и труб высокой прочности при строительстве высотного здания «Лакта-центр» представлено на рис. 6.



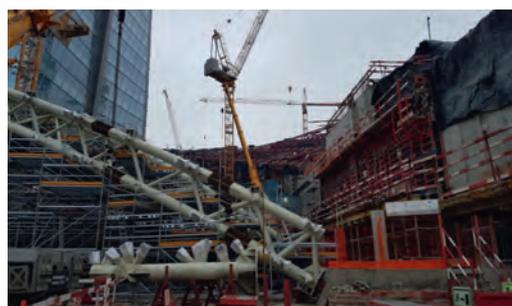
**Рис. 3.** Конструкции из труб высокой прочности при строительстве стадиона «Динамо» (ВТБ-Арена) в г. Москва



**Рис. 4.** Конструкции из труб высокой прочности при строительстве стадиона «Спартак» в г. Москва



**Рис. 5.** Конструкции из труб высокой прочности при строительстве стадиона «Самара Арена» в г. Самара



**Рис. 6.** Конструкции высокой прочности при строительстве «Лакhta-центра» в г. Санкт-Петербурге: вверху — из труб; слева — из проката

В настоящее время в г. Москве намечено строительство крупного здания с объемом применения проката и труб высокой прочности с общей массой более 40 тыс. т.

Намечается возведение высотных зданий с применением толстолистовой стали С690 в толщинах до 100 мм включительно, для чего специально разработана технология сварки.

Перспективным является новое направление применение сталей повышенной и вы-

сокой прочности, особенно — двутавровых широкополочных балок, не только при возведении уникальных зданий, но и при массовом строительстве, в том числе жилищном, известны реальные примеры подобного применения.

Широкое внедрение сталей высокой прочности обусловлено тем, что современные металлические конструкции, спроектированные по действующим нормам из проката, произведённого по новым стандартам, характеризуются минимальным расходом массы применённого металла в зданиях и сооружениях, что ведёт к экономии стоимости сооружений (стоимость металла составляет около половины стоимости конструкций, улучшенная планировка), а также к снижению расходов на изготовление и монтаж конструкций, что в целом ведёт к снижению металлоёмкости в строительстве.

Достигнутое повышение сопротивления металла разрушению, обеспечение высокой хладостойкости ведёт к повышению надёжности конструкций при эксплуатации, к увеличению их долговечности и уменьшению вероятности отказов, в первую очередь — к снижению экономических, экологических и социальных рисков при возведении сооружений, в тяжёлых климатических условиях Севера, Сибири и Арктики, где в настоящее время началось строительство крупных строительных объектов (Мурманская верфь, заводы по производству сжиженных газов, здания соответствующей инфраструктуры и т.п.) с применением металлических конструкций из современных сталей с высокой хладостойкостью.

Примером новой области широкого использования материалов с высокой ударной вязкостью KCV<sup>60</sup> является применённое при изготовлении свайных оснований зданий и сооружений в условиях Крайнего Севера электросварных прямошовных труб повышенной и высокой прочности диаметром 219...1020 мм с толщиной стенки 8...12 мм производства Выксунского МЗ [12].

Для производства и применения таких труб были разработаны специальные ТУ и рекомендации по применению.

Разрабатываются новые конструкции из огнестойких сталей (например, для автомобильных парковок), а также конструкции из коррозионностойких сталей, не требующих окраски (выпускаются соответствующие мостовые конструкции, а также трубы для «северных» конструкций).

Наконец, следует отметить большое увеличение объемов применения тонкостенных профилей самых различных сечений в конструкциях самого широкого назначения (ангары, склады, производственные помещения и даже жилищное строительство). Из подобных профилей воздвигаются здания с пролетами до 100 м (рис. 7 и 8).



Рис. 7. ОАО «НЛМК», склад огнеупоров (бескаркасное здание)

В целом можно отметить, что высокий уровень современного производства сталей для строительства обеспечивает надежность в эксплуатации строительных металлических конструкций (при минимизации их массы и экономии дорогостоящих огне- и коррозионностойких покрытий, что обеспечивает их высокую конкурентную способность и тем самым создает предпосылки для расширения областей их применения, что мы и наблюдаем в настоящее время.



Рис. 8. Здание автоматизированного склада

## Библиографический список

1. Металлические конструкции. Работы школы Н.С. Стрелецкого. – М.: Стройиздат, 1966.
2. Мельников Н.П. Развитие металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1965.
3. Металлические конструкции: сборник статей ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко / Под ред. В.А. Балдина – М.: Стройиздат, 1968.
4. Соколовский П.И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. – М.: Металлургия, 1966.
5. Стальные конструкции из труб: сборник статей ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко / Под ред. С.А. Ильясевича – М.: Стройиздат, 1973.

6. *Жербин М.М.* Высокопрочные строительные стали. – Киев: Будівельник, 1974.
7. *Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С.* и др. Металлические конструкции. 9-е изд. / Под ред. Ю.И. Кудишина. – М.: Академия, 2007.
8. *Эфрон Л.И.* Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали. – М.: Металлургиздат, 2012.
9. *Скорородов В.Н., Одесский П.Д., Рудченко А.В.* Строительная сталь. – М.: Металлургиздат, 2002.
10. *Фортвов В.Е., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Фомин В.М.* Машиностроение России: техника Сибири, Севера и Арктики. – Красноярск: СФУ, 2018.
11. *Одесский П.Д.* Развитие подходов к оценке сопротивления разрушению стали для строительных металлических конструкций и современные стандарты // Деформация и разрушение материалов. — 2018. — №1. — С. 29-40.
12. *Одесский П.Д., Вершинин Я.В., Алексеев А.Г., Звездов А.А.* Свойства электросварных прямошовных труб для свайных оснований, возводимых в условиях криолитозоны // Деформация и разрушение материалов. — 2019. — №6. — С. 26-30.

## Авторы:

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф., директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ivan VEDYAKOV, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Director of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedykov@gmail.com

тел.: +7 (499) 171-26-50; +7 (499) 170-10-60

Павел Дмитриевич ОДЕССКИЙ, проф., д-р техн. наук, заведующий сектором прочности проката и соединений Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Pavel ODESSKIY, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Head of the Section of strength of rolled metal and compounds of the Laboratory of Metal TSNIISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: odesskiy@tsniisk.ru

тел.: +7 (499) 174-77-77

# ОБ ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПО МЕТОДИКЕ МИНОБРНАУКИ РФ

## ON THE EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE ACTIVITY OF THE RESEARCH INSTITUTE OF THE CONSTRUCTION PROFILE BY THE METHODOLOGY OF THE RUSSIAN MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

А. Н. ДАВИДЮК, д-р техн. наук

Ю. С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук

*Анализируется применимость методики Минобрнауки РФ к оценке эффективности работы научно-исследовательских организаций строительного профиля. Показано, что эта методика содержит существенные недостатки и для адекватной оценки эффективности строительных НИИ должна быть разработана своя методика.*

*The article examines the applicability of the method of the assessment of the effectiveness of research organizations of building profile. It is shown that this technique contains significant drawbacks and for an adequate assessment of the effectiveness of building research institutes, its other methodology should be developed.*

### Ключевые слова:

*Академия архитектуры и строительных наук, Минобрнауки РФ, оценка эффективности, строительная наука*

### Keywords:

*Academy of architecture and structural science activity evaluation, building science, Ministry of Science and Education*

Официальные утвержденные методики Минобрнауки РФ в настоящее время за критерий оценки эффективности деятельности, в том числе строительных научных организации, принимают частоту цитирования отечественных публикаций в зарубежных базах данных Web of Science и Scopus. Преклонение перед зарубежными базами данных Web of Science и Scopus положила указанная методика Минобрнауки, которая была утверждена Минобрнауки протоколом заседания Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности НИИ от 14.01.2016 № ДЛ-2/14пр подписанным прежним

Министром образования и науки Д. В. Ливановым.

Под одной шапкой данной «методики» оценки результативности оказались 39 наук, разбитых по отраслям. Всего «методика» охватывает 13 естественных наук (математика, физика, шесть видов биологии и др.), 10 технических (энергетика, металлургия, проектирование и строительство и др.), 5 медицинских (клиническая медицина, фармакология и др.), 3 сельскохозяйственных (растениеводство, продукты питания), 2 гуманитарные (история и искусствоведение, филология) и, наконец, 6 социальных наук (экономика, философия, психология и др.) Главным критерием – **показатель А** оценки эффективности деятельности НИИ, по мнению Минобрнауки, и, соответственно, отнесение организации по эффективности к 1-, 2- или 3-й категории, является **индекс цитируемости публикаций того или другого института в журналах, индексируемых в иностранных информационно-аналитических системах Web of Science (WoS) и Scopus.**

Для НИИ всех отраслей наук — естественных, технических, медицинских, сельских, гуманитарных — Минобрнауки предлагает одинаковую методику оценки эффективности их деятельности. Можно ли сравнивать результаты деятельности научно-исследовательского института по фундаментостроению и НИИ по филологии? Оказывается можно, если для этого пользоваться методикой Минобрнауки. Специфика же деятельности той или иной организации различается по необходимому количеству индексируемых публикаций и по объему выполненных работ, приходящемуся на одного сотрудника.

Например, по числу опубликованных произведений на 100 исследователей, индексируемых в информационных системах Web of Science и Scopus, научно-исследовательская организация строительного профиля, претендующая на 1-ю категорию, должна иметь в год 58,6 публикаций на 100 исследователей при объеме выполненных работ на одного работника 3,8 млн руб. (независимо от того, исследователь он или нет), в растениеводстве – соответственно 68 публикаций (на десять больше) при объеме выполненных работ на человека в 3,7 раза, меньше (1 млн руб.), в животноводстве (по сравнению с растениеводством) нужны лишь 32 публикации при денежном объеме выполненных работ на 30% выше (1,32 млн руб.).

По этим показателям будет приниматься решение о присвоении научной организации 1-, 2-й или 3-й категории. Для отнесения НИИ строительного профиля к 1-й категории каждый исследователь, независимо от занимаемой должности, должен выполнить объем работ на сумму 3 838 400 руб. (**показатель В**). Отнесение научной организации к 3-й категории ничего хорошего ей не сулит и будет означать, что по этой организации должны быть или могут быть приняты решения по ее реорганизации или ликвидации (постановление Правительства РФ от 09.04. 2009 г. № 312, п. 27).

По методике Минобрнауки должны отчитываться в России сотни научных организаций. Но влияние этой методики на эффективность деятельности научных организаций никак не анализируется, и априори можно утверждать, что ничего, кроме вреда, она не приносит. В подтверждение сошлемся на статью «Научные труды – это вам не кирпичи» в газете «Московский комсомолец» от 18 января 2018 года, где речь идет о категорическом несогласии с Минобрнауки ученых Математического института РАН им. В.А. Сте-

клова, принятом ими в виде специального заявления. Минобрнауки утвердило этому институту задание подготовить в 2018 г. вдвое большее число статей по сравнению 2017 г. «Подобный подход деформирует стиль научной работы и приводит лишь к профанации публикационной активности», говорится в заявлении ученых-математиков. Член Ученого совета института, доктор физико-математических наук, академик РАН Борис Кашин заявил еще круче: «Научно-техническая политика в сегодняшней России – это смесь вредительства и некомпетентности».

Парламентская газета в номере от 15 мая 2019 г. опубликовала статью «Из всех наук для нас важнейшей является наукометрия», об очередном общем собрании РАН, где одним из вопросов было обсуждение зарубежной публикационной активности научных учреждений.

По утверждению главы Минобрнауки М.М. Котюкова, за последнее время вал наших зарубежных публикаций вырос в два раза. Президент РАН А.М. Сергеев в своем выступлении на упомянутом собрании указал, что политика Минобрнауки породила новый вид услуг по организации зарубежных публикаций для российских ученых и заставляет учёных становиться на путь фальшивой эффективности путем взаимных ссылок.

ВИНИТИ РАН как ведущая организация в области наукометрии провела в октябре 2017 г. Международную конференцию «Информация в современном мире», на которой сотрудники этого института В.В. Бондарь, Л.А. Григорян, Л.Н. Марголин и В.В. Фарфонов представили доклад «Научное сообщество в информационном поле. Партнерство или противоборство», в котором авторы убедительно показали, что оценка результативности работы отечественных ученых через индексы цитирования в Web of Science (WoS) и Scopus является заказным инструментом принижения роли российской науки в мировом научном процессе. Авторы проанализировали доклад ЮНЕСКО о состоянии науки в России и указывают, что (цитата из доклада сотрудников ВИНИТИ) «статистика, касающаяся России, была основана на данных, полученных из баз WoS и Scopus. Уже в этом очевидно проявилось стратегическое преимущество этих двух ведущих баз данных перед российскими. При этом авторы доклада ЮНЕСКО даже не потрудились объяснить, каким критериям не соответствуют не вошедшие в статистику 90% неучтенных научных трудов, изданных в России. Бизнес-структуры, а именно такими являются WoS и Scopus, через авторитетную международную организацию (ЮНЕСКО), к которой прислушиваются, в том числе, правительства, *перевела имевшиеся у них ошибочные и тенденциозные статистические данные в разряд базовых*. Затем, начиная с 2010 г., рейтинги, в том числе, низкий рейтинг России, ежегодно «подтверждались» теперь уже исключительно с использованием статистических данных этих якобы «заслуживающих безусловного доверия» баз данных WoS и Scopus».

Методика Минобрнауки поставила НИИ строительной отрасли в наиболее **невыгодное** положение по сравнению с институтами РАН. Начать с того, что по показателю **A – индекс цитируемости** — отечественная строительная периодика никак не представлена в международных информационных системах, прежде всего в Web of Science и Scopus. По замыслу Минобрнауки, ученые-строители, как и сотрудники академических институтов, должны публиковать результаты своих исследований прежде всего в зару-

бежных англоязычных журналах. Владельцем Web of Science является американская медиакорпорация Thomson Reuters, штаб-квартира которой находится в самом центре Нью-Йорка на Таймс-сквер. Владельцем же Scopus является голландский издательский дом Elsevier. Фактически Россия предоставляет зарубежному «дяде» право судить об эффективности отечественной науки, а российскую строительную науку этот «дядя» вообще не замечает. Согласно разъяснениям официального сайта федеральной системы мониторинга результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы ([www.scienceon.ru](http://www.scienceon.ru)), если статья опубликована в журнале, индексируемом в информационно-аналитических системах в Web of Science, в Scopus и в российском индексе научного цитирования — РИНЦ, следует учитывать статью в *наиболее значимом по мнению Минобрнауки (!?)* индексе – прежде всего, в Web of Science. Каким образом установлена бóльшая значимость американской Web of Science перед отечественной РИНЦ, остается только гадать.

Кроме того, авторы идеи оценивать результативность наших НИИ через индекс цитирования отечественной периодики в зарубежных системах забыли про языковой барьер, для преодоления которого все наши статьи для публикации в зарубежных журналах нужно переводить на английский язык.

Минобрнауки установило фактически правила игры «в одни ворота» — передачу предварительно переведенных на английский язык результатов отечественной интеллектуальной деятельности за рубеж совершенно бесплатно. Представляем изумление американских ученых, если бы американский Минобрнауки (если таковой там есть) предложил им оценивать эффективность деятельности американских НИИ по критерию цитируемости их статей в российском индексе – РИНЦ. Естественно, это требование включало бы необходимость перевода статьи на русский язык, так же как сейчас перевод на английский требуется от автора статьи, желающего опубликоваться в журналах, индексируемых в Web of Science.

Таким образом, по инициативе Минобрнауки организована широким потоком бесплатная передача отечественной научной информации за рубеж.

Следует напомнить, лет 20 назад небезызвестный Сорос покупал нашу научную информацию через систему грантов. Сейчас им и деньги тратить не надо, сами всё переведем и пришлем.

Показательно, что для желающих повысить число своих публикаций, индексируемых в указанных системах, тут же появились предложения от множества мультидисциплинарных журналов, загодя в них зарегистрированных и предлагающих авторам платные публикации на своих страницах, причем в короткие сроки. В интернете размещено объявление Центра научного сотрудничества «Вак24» (<http://vak24.ru>) о том, что вышеуказанный центр предлагает по доступным ценам услуги публикации статей в Web of Science и Scopus по всем (!) отраслям за 45 тыс. руб. за статью, а если срочно, то от 60 тыс. руб. за статью, с гарантией выхода в свет через 3-6 мес. после оплаты. Публикация статьи в журналах, индексируемых в отечественном РИНЦ, стоит много дешевле — всего 1500 руб.

Методика Минобрнауки является ни чем иным как фетишизацией количества зарубежных публикаций отечественных ученых, что ведет к примитивизации управления научной деятельностью.

Чтобы нарастить цитируемость, рекомендуется (вполне официально) брать в одну статью как можно больше соавторов, удлинять по максимуму библиографические списки ссылочных источников, включая туда свои собственные публикации и публикации своих коллег и т.д.

Все изложенное в части оценки НИИ различных отраслей по единой методике Минобрнауки наглядно показывает неприемлемость «стрижки» научных организаций «под одну гребенку». Очевидно, что каждая отрасль науки, и строительная наука не исключение, в первую очередь должна иметь свои самостоятельные критерии оценки эффективности деятельности своих научных организаций.

Ведущий НИИ строительного профиля АО «НИЦ «Строительство» в составе трех институтов — Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева, Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсевича и Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко — хотя и не входит в систему РАН, тем не менее, отчетность Министерство науки и образования требует по методике Минобрнауки. О проблемах достижения показателя **A** подробно речь уже шла. По этой же причине показатель группы **B** — объем выполненных работ — при довольно скромной доле бюджетного финансирования, и то только в связке с разработкой новых строительных стандартов, также трудно достижимым за счет самостоятельно добываемых хоздоговоров.

Подготовка отчетных материалов по методике Минобрнауки — работа непростая и весьма громоздкая. Только правила заполнения таблиц, содержащих отчетные данные, изложены на 24 страницах, из них 6 страниц занимают ссылки на руководящие материалы, главным образом на различные пункты приказа Министерства науки и образования от 5 марта 2014 г. №162 и на сайт Федеральной системы мониторинга результативности деятельности научных организаций [7]. Все отчетные данные по каждому пункту, а их всего 82, должны быть подтверждены справками организации. Каждая справка должна быть заверена подписью руководителя организации и печатью организации, с перечнем публикаций, их переводов в изданиях, имеющих международный книжный номер ISBN с указанием выходных данных (Фамилии, Имена, Отчества авторов (с указанием должностей в организации), названия издания, места издания (город, издательство), года издания и тиража, заверенные директорами институтов.

Критерий цитируемости применительно к строительной отрасли имеет, конечно, некоторое значение, но не настолько большое, как думают в Минобрнауки. Индексы цитирования, число публикаций в определенных журналах не могут быть критерием успешности ученого. Они на самом деле – второстепенное дополнение к экспертной оценке его научной компетенции его квалифицированными коллегами.

Главным показателем весомости научного результата для НИИ строительного про-

филя является не цитируемость статей научных сотрудников в зарубежных журналах, а востребованность научного результата практикой.

Федеральный закон «О техническом регулировании» статьей 5.1 вывел строительную отрасль из сферы своего действия, признав приоритет Федерального закона «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений». Строительная отрасль является единственной отраслью народного хозяйства, техническое регулирование которой осуществляется отдельно, и для которой прописана обязательность применения большой группы нормативных документов, в отличие от требований Федерального закона «О техническом регулировании», который постулирует добровольность применения стандартов (ст. 12). Это исключение объясняется тем, что именно строительными средствами создается среда обитания человека. Отсюда можно сделать ясный вывод, что строительство — это особая отрасль народного хозяйства, его скелет, по выражению нобелевского лауреата по экономике В.В. Леонтьева (США). Поэтому методика Минобрнауки для НИИ строительной отрасли неприменима.

Для учета специфики НИИ строительного профиля и оценки воздействия результатов его деятельности на строительную практику необходимо, как минимум, дополнительно учитывать такие показатели как:

- подготовка научных кадров;
- общее число используемых в строительной отрасли разработанных той или иной организацией национальных и межгосударственных стандартов, строительных норм и правил;
- подготовка новых и пересмотр действующих национальных и межгосударственных стандартов и сводов правил;
- участие организации в научно-техническом сопровождении уникальных и особо важных строительных объектов;
- участие в работах по выполнению заданий федеральных и региональных программ;
- работа организации по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий в РФ (критическим технологиям);
- участие в работе международных организаций в качестве членов технических комитетов и руководящих органов;
- участие в общероссийских и международных конференциях, выступление с заказными и пленарными докладами и другие позиции.

Без учета перечисленных факторов оценка результатов деятельности НИЦ «Строительство» по методике Минобрнауки будет заведомо необъективна.

В настоящее время строительной науке приходится решать текущие вопросы — оценка эксплуатационной надежности зданий и сооружений, экспертиза и т.п. Поисковые работы не финансируются. В структуре Минстроя РФ нет научно-технического департамента, отвечающего за развитие строительной науки — основного инструмента инновационного развития отрасли.

**Назрела необходимость научному строительному сообществу, флагманом которого является РААСН, разработать и утвердить свою методику оценки научной результативности отраслевых НИИ.**

## Библиографический список

1. Протокол заседания Межведомственной комиссии Минобрнауки по оценке результативности деятельности НИИ от 14.01.2016 № ДЛ-2/14пр.
2. Научные труды – это вам не кирпичи // Газета «Московский комсомолец» от 18 января 2018 г.
3. Бондарь В.В., Григорян Л.А., Марголин Л.Н., Фарафонов В.В. Научное сообщество в информационном поле. Партнерство или противоборство / Тр. Междунар. конф. ВИНТИ РАН «Информация в современном мире». — М., 2017. — С. 50-54
4. Федеральный закон «О техническом регулировании» 184-ФЗ.
5. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», 384-ФЗ.
6. Парламентская газета, 2019, 15 апреля.
7. Перечень материалов, подтверждающих сведения о результатах деятельности научных организаций, подведомственных Минстрою РФ, выполняющих НИР и ОКР, представляемых в целях мониторинга и оценки. Москва, 2017.

## Авторы:

Алексей Николаевич ДАВИДЮК, д-р техн. наук, заслуженный строитель РФ, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexey DAVIDYUK, D. Sci. (Engineering), honored builder of Russia, Director of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: niizhb@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-77-24

Юрий Сергеевич ВОЛКОВ, канд. техн. наук, ученый секретарь НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», почетный член РААСН, Москва

Yuri VOLKOV, Ph. D. (Engineering), Scientific Secretary of NIIZB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: volkov@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-76-77

# ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА СБОРНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО И КОТТЕДЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

## EXPERIENCE IN MANUFACTURING AND INSTALLATION OF PREFABRICATED WALL PANELS ON THE CONSTRUCTION SITE FOR RURAL AND COTTAGE CONSTRUCTION

А. Н. ДАВИДЮК, д-р техн. наук

А. Е. НИКИТИН, канд. техн. наук

*Предложена технология изготовления на стройплощадке стеновых панелей в несъемной опалубке с дальнейшим их подъемом в проектное положение. Технология разрабатывалась для индивидуальных жилых домов. Описан первый опыт ее использования в Ленинском районе Московской области. После изготовления фундамента и устройства пола устанавливалась вдоль внешних стен несъемная опалубка в виде тонкостенного гнутого швеллера высотой 160 мм со стенкой 4 мм. В этот швеллер укладывалась арматурная сетка и осуществлялось арматурное усиление вокруг оконных и дверных проемов стены. Использовалась сетка 200\*200\*5 мм, а для усиления конструкции – арматура А-IV, 10–12 мм. После заливки и схватывания бетона стену поднимали при помощи домкратов по специальным направляющим рейкам и временно фиксировали. По мере установки всех ограждающих*

*The technology of manufacturing wall panels in a permanent formwork, on the construction site, with their further rise to the design position. The technology was developed for individual houses. The first experience of its use in Leninsky district of Moscow region is described. After the foundation was made and the floor was installed, the permanent formwork was installed along the outer walls in the form of a thin-walled bent channel 160 mm high with a wall of 4 mm. In this channel fit the reinforcing grid was laid and reinforcement around window and door openings of a wall was carried out. A mesh of 200\*200\*5 mm was used, and reinforcement А-IV, 10–12 mm, was used to reinforce the structure. After pouring and setting the concrete, the wall was raised using jacks along special guide rails and temporarily fixed. As the installation of all enclosing walls, they are rigidly connected to each other. Two people worked at the construction site. The total*

*стен их жестко соединяли между собой. На строительной площадке работало два человека. Общее время строительства надземной части составляло три месяца. На основании проведенных работ был сделан вывод, что технология имеет практическое применение, но требует более детальной отработки конструкции панели и разработки безопасного механизма подъема.*

*time of construction of the above-ground part was three months. Based on the work carried out, it was concluded that the technology has a practical application, but requires more detailed elaboration of the panel design and the development of a safe lifting mechanism.*

### Ключевые слова:

*Стеновые панели, несъемная опалубка, сельское строительство, коттеджное строительство, малоэтажное строительство, подъем стеновых панелей, ручные домкраты*

### Keywords:

*Cottage construction, fixed formwork, hand jacks, lifting of wall panels, low-rise construction, rural construction, wall panels*

Приоритетным направлением в области сельского жилищно-гражданского строительства является осуществление комплексной компактной застройки сельских населенных пунктов.

В связи с указанным, в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» разработана концепция изготовления и монтажа полносборных легких стеновых панелей для сельского строительства с использованием стеклогранулята и других пористых заполнителей [1-6] непосредственно на строительной площадке. В связи с удаленностью многих населенных пунктов от индустриальных районов (городов) рассматривалась идея возведения сельских домов с использованием местных строительных материалов и минимума строительной техники. При этом одноэтажный дом должен быть комфортабельным и теплым для проживания [7-10].

Специалистами НИИЖБ была предложена технология изготовления стеновых панелей в несъемной опалубке на стройплощадке с дальнейшим их подъемом в проектное положение.

На первом этапе было проведено промежуточное опробование указанной технологии — возведение ограждающих стеновых панелей и их подъем без внешнего утепления. Такой подход позволял выявить узкие места, например, возможное растрескивание стен при подъеме.

Экспериментальный дом размером 12×12 м был построен в Ленинском районе Московской области. После изготовления фундамента и устройства пола устанавливали вдоль внешних стен несъемную опалубку в виде тонкостенного гнutoго швеллера высотой 160 мм со стенкой 4 мм. В этот швеллер укладывали арматурную сетку и выполняли арматурное усиление вокруг оконных и дверных проемов стены с использованием сетки 200×200×5 мм, а для усиления конструкции применяли арматуру А-1V, 10-12 мм.

На строительной площадке работало 2 человека. Общее время строительства надземной части составляло 4 месяца.

Бетонирование стен проводилось непосредственно из бетоновоза. Габаритные раз-

меры стены были  $0,16 \times 12 \times 3,5$  м. Бетон М300 равномерно распределяли внутри несъемной опалубки. Для последующего устройства фасада из керамогранита, использовали закладные из вспененного ПВХ толщиной 12 мм (рис. 1). Поливинилхлорид был выбран для того, чтобы исключить «мостик холода» от керамогранита [11-13].

На рис. 1 показано начало подъема первой стеновой панели, проводимого по направляющим с использованием масляных домкратов. Были применены ручные домкраты с малым ходом штока, поэтому процесс шел медленно и занимал примерно 4 ч. В процессе подъема первой стены в обоих углах одного оконного проема были обнаружены трещины в бетоне, которые шли от нижней части угла к основанию стены под углом около  $45^\circ$ . Длина трещин была примерно 40-50 см. После полного подъема стен трещины закрылись и не были видны в дальнейшем. Тем не менее, при изготовлении последующих панелей в этом месте проведено усиление арматурой. В дальнейшем трещинообразование при подъеме удалось исключить. На рис. 2 показан подъем монолитной панели на завершающем этапе.



**Рис. 1.** Подъем стеновой панели на фундамент



**Рис.2.** Подъем монолитной панели на завершающем этапе



**Рис.3.** Временная фиксация поднятых стен в проектное положение. Укладка арматурной сетки в несъемную опалубку

На рис.3 показана временная фиксация поднятых стен в проектное положение. После подъема всех стен фиксаторы срезали «болгаркой». На этом же рисунке видна установка сеточных каркасов «в перехлест» при изготовлении новой стеновой панели.

На следующем этапе был возведен мансардный этаж. При этом в центре дома была заложена монолитная лифтовая шахта, и направляющие для подъема стен устанавливали в районе этой шахты. В этой связи большую нагрузку на перекрытие удалось исключить. На рис. 4 показан монтаж стены мансардного этажа.

При монтаже панелей мансардного этажа устанавливали закладные для крепления стропильных конструкций, поэтому после их возведения не требовалось делать специальный «обвод» для стропильной системы.

Необходимо отметить, что при таком способе монтажа между стенами остается зазор 5-10 мм, показанный на рис. 5. Впоследствии этот зазор заполняли монтажной пеной.

После подъема стен и устройства кровли выполняли облицовку дома керамогранитом и его утепление насыпным пенополистиролом по следующей технологии:

- На стене крепили на расстоянии 400 мм от нее вертикальные оцинкованные уголки 50×50 мм с шагом 600 мм;
- На уголки устанавливали плитку из керамогранита 600×600 мм на полиуретановый клей;
- В образовавшуюся пазуху между стенкой и керамогранитом засыпали гранулированный вспененный пенополистирол. Ширина пазухи составляла 400 мм.



**Рис. 4.** Монтаж стены мансардного этажа



**Рис. 5.** Вид монтируемых панелей «изнутри»

Направляющие уголки для керамогранита крепили к пластиковым закладным из поливинилхлорида, имеющего низкую теплопроводность, однако со временем при большой нагрузке он может деформироваться. Чтобы избежать этого недостатка, в основании дома был сделан ряд жестких креплений из оцинкованного гнutoго металла, показанный на рис. 6.

После 4 месяцев строительства дом получил законченный вид, показанный на рис. 7.



**Рис. 6.** Устройство фасада из керамогранитных плит



**Рис. 7.** Общий вид дома

На основании проведенных работ можно сделать следующие выводы.

- Разработана технология изготовления готовых стеновых панелей и их монтажа на строительной площадке.
- Опытно-экспериментальное строительство показало, что требуется детальная обработка конструкции панели и разработка безопасного механизма подъема.
- На основании проведенных исследований необходимо разработать типовые проекты нескольких домов для сельской местности.

## Библиографический список

1. Давидюк А.Н., Савин В.И., Кузьмич Т.А., Строцкий В.Н., Давидюк А.А. Нормируемые параметры легких бетонов на минеральных пористых заполнителях и оценка несущей способности конструкций на их основе // Промышленное и гражданское строительство. — 2018. — № 4. — С. 56-64.
2. Давидюк А.Н. Эффективный легкий бетон на заполнителе из местных сырьевых материалов Крыма для ограждающих конструкций зданий / В кн.: XII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). Тезисы докладов. — 2017. — С. 61.
3. Давидюк А.Н. Легкие бетоны на стеклогранулятах — будущее ограждающих конструкций // Бетон и железобетон. — 2016. — № 1. — С. 2-5.
4. Давидюк А.Н., Савин В.И., Костин А.А., Федосеев А.В. Легкие бетоны нового поколения на гранулированном пеностекле // Бетон и железобетон. — 2015. — № 5. — С. 2-6.
5. Давидюк А.Н. Сверхлегкие бетоны на стекловидных заполнителях для ограждающих конструкций // Вестник НИЦ «Строительство». — 2014. — № 9 (32). — С. 5-11.
6. Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях / — Автореф... д-ра техн. наук / Ростовский государственный строительный университет. Ростов-на-Дону, 2010 .
7. Давидюк А.Н. Теплофизическая эффективность легких бетонов на стекловидных заполнителях для многослойных ограждающих конструкций // Жилищное строительство. — 2008. — № 9. — С. 22-25.
8. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Применение коэффициентов теплотехнического качества материалов для проектирования многослойной ограждающей конструкции // Строительные материалы. — 2008. — № 7. — С. 32-34.
9. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Проектирование рациональной многослойной ограждающей конструкции по критерию защиты от влаги // Строительные материалы. — 2008. — № 8. — С. 48-50.
10. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий // Жилищное строительство. — 2010. — № 3. — С. 16-20.
11. Давидюк А.Н., Спивак Н.А. Вентилируемый фасад здания / Патент на полезную модель RUS 135670 26.06.2013
12. Грудачев В.Г., Петрова И.В. Навесные вентиляруемые фасадные системы гражданских зданий: учеб. пособ. — Чебоксары: РИО ЧПИ МГОУ, 2010.
13. Жуков А.Д. Технология теплоизоляционных материалов. Ч. 2. Теплоэффективные конструкции. — М.: МГСУ, 2011.

## Авторы:

Алексей Николаевич ДАВИДЮК, д-р техн. наук, заслуженный строитель РФ, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexey DAVIDYUK, D. Sci. (Engineering), honored Builder of Russia, Director of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: niizhb@cstroy.ru

тел.: +7 (499) 174-77-24

Александр Евгеньевич НИКИТИН, канд. техн. наук, председатель российского зеркального комитета ИСО ТК71, старший научный сотрудник НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Alexander NIKITIN, Ph.D. (Engineering), Chairman of the Russian mirror Committee ISO TC 71, senior researcher of NIIZB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

# РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПРОМЗОНЫ БЦБК И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ. КРАТКАЯ КОНЦЕПЦИЯ

## RECU LTIVATION OF THE INDUSTRIAL ZONE OF THE PULP AND PAPER MILL AND SURROUNDING COAST OF LAKE BAIKAL. BRIEF CONCEPT

Х. А. ДЖАНТИМИРОВ, канд. техн. наук  
И. Ф. ВАЛИЕВ

*Описаны проблемы, связанные с рекультивацией промзоны и прилегающей территории Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), представлены методы рекультивации этой территории на уровне общей концепции. В качестве методов рекультивации рекомендованы технология камненабросных сооружений для усиления дамб, технология устройства каменных столбов и глубинного смешивания грунта для преобразования свойств слабых сильносжимаемых грунтов.*

### Ключевые слова:

*Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат, камненабросные сооружения, каменные столбы, зола, шлам-лигнин, шламонакопитель*

*The problems associated with the recultivation of the industrial zone and the adjacent territory of the Baikal Pulp and Paper Mill are described, and the methods of reclamation of this territory are presented at the level of a general concept. As methods of reclamation, the technology of stone-throw-up constructions for strengthening dams, the technology of setting up stone pillars and deep mixing of soil for converting the properties of weak highly compressible soils are recommended.*

### Keywords:

*Ash, Baikal pulp and paper mill, deep soil mixing, sludge-lignin, sludge storage, stone columns, stone-throwing constructions*

### Введение

Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат (БЦБК) был построен в 1966 г. В декабре 2013 г. комбинат по решению правительства РФ был полностью остановлен из-за

экологических проблем в регионе.

В постановлении правительства предусматривается демонтировать большую часть зданий и сооружений комбината и ликвидировать все свалки и места хранения отходов производства. Планируется выполнить рекультивацию промзоны и прилегающей территории побережья оз. Байкал для размещения объектов туристического кластера.

НИИОСП принимал участие в обсуждении вопросов рекультивации отходов БЦБК и отходов ТЭЦ и завода ЖБК, расположенных на прилегающей территории. В статье представлена краткая Концепция, разработанная НИИОСП, с предлагаемыми геотехническими мероприятиями для решения масштабной задачи федерального значения с учетом региональных возможностей и климатических особенностей региона.

### I. Общая ситуация

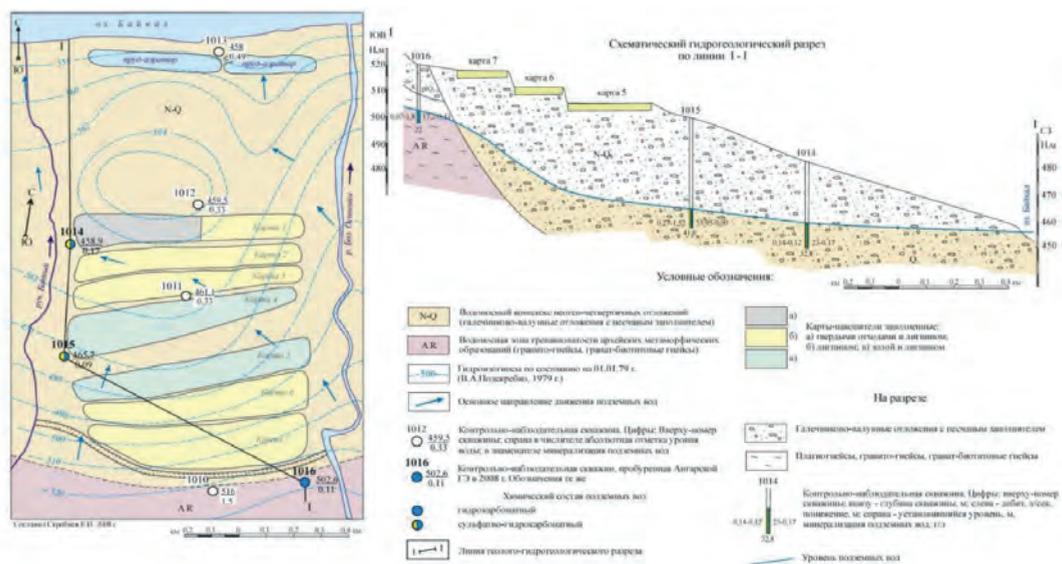
Для хранения отходов БЦБК были задействованы полигоны «Солзанский» и «Бабхинский». Суммарная масса накопленных отходов превышает 6,2 млн т [1].



Рис. 1. Схема расположения БЦБК и полигонов с отходами

Солзанский полигон шлам-лигнина из 10 отстойников расположен в 0,5 км от оз. Байкал, Бабхинский полигон из 3 отстойников золы ТЭЦ — в 1,35-2,0 км от оз. Байкал (рис. 1).

В основании площадок в пределах глубин до 30,0 м залегают насыпные галечниково-песчаные грунты с песчаным и супесчаным заполнителем, аллювиальные пески гравелистые, маловлажные, средней плотности и валунный грунт. Грунтовые воды – на глубине 25-30 м с уклоном в сторону озера (рис. 2).



**Рис. 2.** Характерный геологический разрез Солзанского полигона

По данным мониторинга, проводимого экологической службой ОАО «БЦБК», устойчивое загрязнение подземных вод под картами не прослеживается.

Байкальский ЦБК находится в зоне повышенной сейсмической активности.

Большую угрозу зданиям и сооружениям представляют сели. Разрушительные селевые потоки проходили здесь в прошлом веке несколько раз с периодичностью 11-40 лет.

Шламонакопители размещены на склоне со средним уклоном 1,5-2°. Они имеют вытянутую форму длиной до 1000 м, шириной от 60 до 120 м. Эти объекты относятся к гидротехническим сооружениям. Конструктивно они представляют собой систему емкостей-карт, каждый уровень которой ограничен дамбами. Внешняя сторона дамб обращена к Байкалу. Внутренняя сторона и само ложе шламонакопителей выполнено в виде глиняного замка.

Авторы Концепции изучили предлагаемые мероприятия по рекультивации территории, составленные рядом научных и проектных институтов. Основные выводы из проведенного исследования следующие.

1. Трудности в реализации предложений по рекультивации – это, прежде всего, суровый климат, отсутствие надежной логистики, разрушенные очистные сооружения, и т.д., но главное – огромный объем работ, накопившийся за много лет эксплуатации БЦБК, реально исключающий большинство «лабораторных» предложений.
2. Наиболее эффективным предложением представляется один из проектов Лимнологического института СО РАН (Иркутск, 2013) [3]. Проектом предусматривается нейтрализация лигнина золой ТЭЦ путем их послойного смешивания непосредственно в накопителях. Исследования показали, что при смешивании состава 1:1 происходит дегидратация и дегазация лигнина, полученный субстрат обладает повышенными ме-

ханическими и биологическими свойствами. Проектом предусматривается удаление надшламовой воды, послойная отсыпка и перемешивание лигнина и золы непосредственно в шламоотстойнике, удаление выделившейся из шлама воды, использование полученного конгломерата в качестве грунта лесопосадок.

3. Основные недостатки проекта: высокая трудоемкость предлагаемого метода переработки лигнина, зависимость работ от погодных условий, низкие строительные характеристики получаемого продукта.

## II. Содержание Концепции

В рассматриваемой Концепции, кроме рекультивации отходов в отстойниках шлама, предусматривается решение нескольких региональных проблем различной важности, но также требующих принятия срочных мер. В частности, к ним относятся:

1. Разборка и утилизация конструкций бывшего ЦБК. После их переработки образуются инертные материалы: щебень, песок, крупнообломочные фрагменты.
2. Утилизация золы в отвалах ТЭЦ. В отвалах скопилось более 2 млн м<sup>3</sup> золы.
3. Утилизация отходов бетонного производства ЗЖБК, переработка в щебень и песок.
4. Утилизация кородревесных отходов вне карт.
5. Восстановление очистных сооружений БЦБК.
6. Проведение технических мероприятий по повышению сейсмостойкости существующих зданий, сооружений и, прежде всего, грунтовых откосов, ограждающих отстойники дамб.
7. Выполнение мероприятий по снижению селевой опасности местности.
8. Проведение мелиоративных мероприятий по подготовке площадок для лесопосадок и мало- и среднеэтажной застройки сейсмостойкими зданиями планируемого туристического кластера.
9. В непосредственной близости от карт имеются места выхода на поверхность скальных и полускальных пород — превращение их в естественные карьеры инертных материалов.

Общая оценка ситуации с отстойниками принята из справки [1] и приведена в таблице «Имеющиеся накопления экологически грязных материалов и свалки отходов и мусора БЦБК».

Таблица

Заполнение карт отходами по состоянию на 1.01.2017 г.

	Площадь карты, м <sup>2</sup>	Проектная вместимость, тыс. м <sup>3</sup>	Фактический объем заполнения, тыс. м <sup>3</sup>			Общий объем заполнения карт тыс. м <sup>3</sup>	Степень заполнения, %
			Надшламовая вода	Золошлаковые отходы	Шлам, лигнин, тыс. м <sup>3</sup>		
1	107,436	350	64,462		261,038	325,5	93
2	88,862	240	1,777		233,423	235,2	98
3	91,477	240	2,744		232,456	235,2	98

	Площадь карты, м <sup>2</sup>	Проектная вместимость, тыс. м <sup>3</sup>	Фактический объем заполнения, Тыс. м <sup>3</sup>			Общий объем заполнения карт тыс. м <sup>3</sup>	Степень заполнения, %
			Надшламовая вода	Золошлаковые отходы	Шлам, лигнин, тыс. м <sup>3</sup>		
4	123,976	392	4,959	91,122	288,079	384,16	98
5	106,045	488	3,181	77,943	397,116	478,24	98
6	104,759	328	31,428	76,998	213,014	321,44	98
7	143,732	542	172,478	105,643	253,039	531,16	98
8	145,560	662	648,76		44,2	692,96	104,68
9	152,988	546	535,08		59,76	594,84	108,9
10	85,355	276	270,48		60,48	330,96	119,91
11	79,939	500	87,933	402,067		490	98
12	115,965	750	23,193	711,807		735	98
13	115,052	750	241,069	478,391		720	96
итого	1.461.146	6064	2088,084	1943,971	2042,605	6074,66	100,2
Объем кородревесных отходов вне карт — 550 000 т.							

Основной объем в содержимом всех карт составляет вода, приблизительно 3,6 млн м<sup>3</sup>, в том числе свободная (надшламовая) – 2,1 млн м<sup>3</sup> и связанная (в составе лигнина) – 1,5 млн м<sup>3</sup>.

Лигнин в водонасыщенном состоянии занимает объем 2,0 млн м<sup>3</sup>, при влажности, уменьшенной до 25-30%, – не более 0,5-0,6 млн м<sup>3</sup>.

Первоочередной задачей является удаление и очистка надшламовой воды. В Концепции предусматривается переработку воды вести по временной схеме в первом из освободившихся отстойников шлама, причем очистку большей части объема воды производить до уровня, приемлемого для лесотехнического использования на месте нахождения в качестве наполнителя инертного материала засыпки отстойников.

Концепция основана на следующих выводах из результатов исследований [1-4], выполненных ранее на реальных материалах Прибайкальского региона и территории БЦБК.

1. В ближайшие годы ТЭЦ планируется закрыть и перевести город на новый вид энергии. Существующее назначение золоотстойников будет исчерпано. Отстойники 12-14 заполнены золой, находящейся в рыхлом водонасыщенном состоянии, что усложняет ее использование.

2. Вода в золоотстойниках является практически инертным материалом и не содержит опасных веществ.

3. Золу ТЭЦ из отстойников экономически невыгодно использовать в строительных проектах по логистическим соображениям.

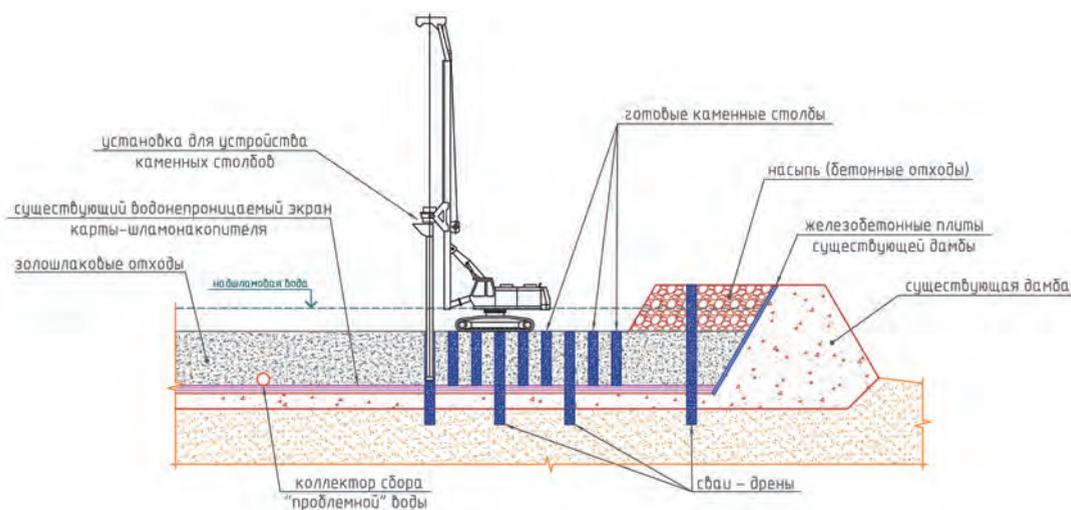
4. Смесь маловлажной золы и лигнина в соотношении 1:1 является субстратом, пригодным для переработки и использования в различных технологиях, прежде всего — лесотехнических [3].

5. Дамбы отстойников не соответствуют действующим нормам сейсмостойкости земляных гидротехнических сооружений.

Рекультивацию мест хранения отходов БЦБК планируется выполнить в два этапа.

На **первом этапе** выполняется рекультивация Бабхинского полигона золоотстойников:

1. Все золоотстойники (одновременно или поочередно) превращаются в золоотвалы, т.е. осушаются от свободной и внутризольной воды, которая спускается в грунтовое основание через дрены условно чистой воды, устраиваемые непосредственно через слой золы и глиняного замка. Свай-дрены устраиваются по технологии «каменных столбов» (рис. 3). Работы по устройству свай-дрен и сам процесс дренирования не связаны с погодными условиями и могут проводиться круглый год.



**Рис. 3.** Технологическая схема рекультивации золоотстойников

2. После дренирования через слой песчаных грунтов на расстояние более 1 км до берега оз. Байкал зольная вода превращается в очень чистую, так как теряет свою несколько повышенную жесткость.

3. Зола является дренирующим материалом, и отстойник больше не сможет заболачиваться атмосферными осадками.

4. После осушения отстойников (ориентировочно 2-3 месяца) зола превращается в тонкодисперсный грунт, не склонный к разжижению при сейсмическом воздействии. Отпадает необходимость в антисейсмическом укреплении бортов. Кроме того, зола приобретает новые технологические свойства и может использоваться для переработки в смеси с лигнином.

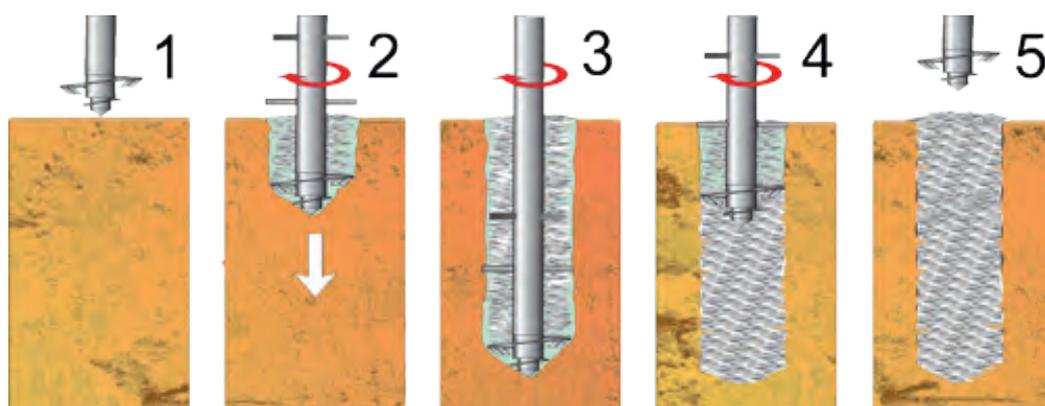
5. По днищам отстойников прокладывается горизонтальная дрена-коллектор для сбора «проблемной» воды, которая будет выделяться впоследствии при дегидратации лигнина. Отработавшие свои задачи дрены «условно чистой» воды заглушаются.

6. Часть объема (25-35%) золы отвозится на отстойники лигнина на Солзанский полигон (2-3 км). Оставшаяся часть смешивается с привозным лигнином, кородревесными остатками и спецдобавками и превращается в насыпные грунты, пригодные для

лесотехнического или строительного назначения.

7. Привозной (или транспортируемый под давлением по трубам) жидкий лигнин размещают послойно между слоями золы. Вода фильтрует из лигнина и удаляется по коллектору на очистные сооружения.

8. В зависимости от планируемого назначения насыпной массив препарируется органическим или минеральным материалом по технологии «каменных» столбов или технологии «глубинного смешивания грунта» (Deep Soil Mixing — DSM), представленной на рис. 4. Поверхность массива из смеси лигнина, опилок, щебня и песка засыпается слоем плодородной земли толщиной до 1,5 м и засаживается лесными породами.



**Рис. 4.** Последовательность работ по технологии «глубинного смешивания грунта»:

1 – установка смесительного оборудования в проектное положение; 2 – погружение смесительного инструмента в грунт с вращением и одновременной подачей сухого порошкового материала из монитора, находящегося на конце инструмента; 3 – по мере погружения смесительного инструмента на требуемую глубину осуществляется перемешивание грунта с подаваемым порошковым материалом; 4 – в процессе извлечения инструмента полученная смесь грунта смешивается повторно; 5 – готовый элемент

9. Для защиты местности от пыления в процессе производства работ, а также для превращения избыточного объема золы в полускальный грунт можно использовать пропитку низковязким гелем кремниевой кислоты, экологически чистый и экономичный материал.

На **втором этапе** или параллельно с первым, но со сдвижкой по времени, выполняется рекультивация Солзанского полигона, состоящая в следующем:

1. Учитывая, что состояние и количество содержимого всех отстойников лигнина различны, единый метод рекультивации и ремедиации реализовать практически невозможно. В рассматриваемую Концепцию включены методы без конкретной привязки к реальному отстойнику, которую следует выполнить в рабочем проекте. В любом случае высокие борта дамб усиливаются антисейсмической отсыпкой скальных пород и/или бьем бетона и кирпича с целью последующего использования в качестве основания для работы геотехнического оборудования. Надшламовая вода откачивается на очистные со-

оружения, а жидкий лигнин перекачивается на Бабхинский полигон золы.

2. Твердая часть содержимого отстойников не вывозится, а «разбавляется» до безопасных пределов инертным и/или активным заполнителем, в основном, золой, а также отходами бетонных конструкций, древесными отходами, природными местными материалами: мраморной крошкой, скальными обломками, щебнем, песком.

3. В процессе «разбавления» содержимое отстойников уплотняется, упрочняется, обезвоживается, дегазируется и доводится до состояния, допустимого для использования в качестве основания жилых и общественных зданий и лесопарковых насаждений.

4. В качестве основных методов приняты геотехнические технологии — изготовление «каменных столбов» (другие названия: песчаные сваи, сваи-дрены, stone-columns), см. рис. 5 и показанное на рис. 4 «глубинное смешивание грунта» (Deep Soil Mixing — DSM),.

Содержание технологии «каменных столбов» применительно к рассматриваемому объекту заключается в следующем:

- отстойник освобождается от слоя надшламовой воды, работы начинаются от края к середине карты;
- верхняя жидкая часть лигнина откачивается и транспортируется на Бабхинский полигон на первом этапе работ;
- на поверхности слоя лигнина укладывают перфорированные пластиковые трубы для канализации выделяющихся газов и сбора «проблемной воды»;
- лигнин покрывают слоем золы и щебня толщиной 1,5-2,0 м;
- слой лигнина толщиной до 5 м препарируют «столбами» из местного материала: активного (зола, мрамор) или инертного (гравия, щебня, песка, валунов, дробленых отходов бетона и пр.) Диаметр «столбов» — до 1,0 м;
- материал втрамбовывают (вибро-, ударно- или квазистатически) в усиливаемый массив, уплотняя и армируя его;
- шаг «столбов» в плане принимается в зависимости от проектируемой проектной нагрузки, зависящей от высотности застройки и может составлять 2-3 диаметра;
- в процессе втрамбовывания маловлажного инертного или активного [3] материала в неоднородную смесь лигнина и золы происходит сжатие вследствие выдавливания на поверхность дренируемой воды, дегазация смеси, разбавление (уменьшения доли проблемных веществ), повышение строительных свойств массива;
- технология позволяет бережно относиться к существующим конструкциям, в частности, гарантированно сохранить целостность бортов и глиняного замка отстойников;
- для начала работ не требуется специальная подготовка площадки, так как установка движется по упрочненному ею основанию;
- для рекультивации не требуются цемент, арматура и другие специальные строительные материалы.

В отличие от «каменных столбов», технология «глубинное смешивание грунта» позволяет вводить в высоковлажный массив сухой порошок материал (известь, золу и др.) с помощью сжатого воздуха.

Отдельно следует отметить возможность введения в субстрат споры специальных

видов грибов, активно растущих в лигнине и способствующих его разложению.

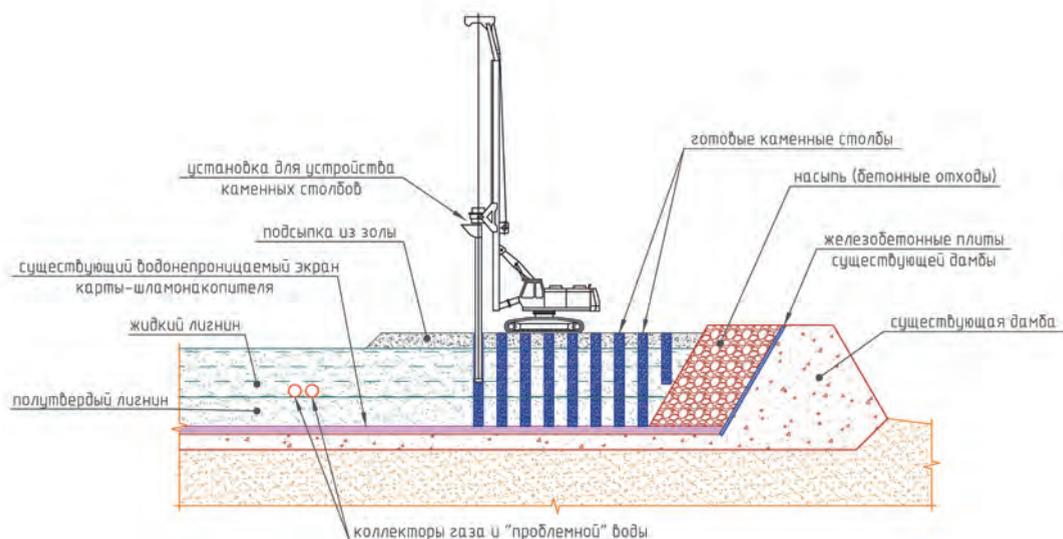


Рис. 5. Технологическая схема рекультивации отстойника лигнина

### III. Результат работ

1. Создание на месте отстойников шлама и золы армогрунтового массива с заданными механическими свойствами, в том числе для восприятия нагрузок от сооружений, сейсмических и других технологических нагрузок от будущей застройки.
2. Уменьшение (вследствие консолидации) объема шлам-лигнина в 2-3 раза, снижение концентрации оставшейся массы до приемлемых размеров и вовлечение ее в строительный и лесотехнический оборот.
3. Территория над захороненными отстойниками шлама должна быть спланирована, залесена и застроена легкими зданиями.
4. Отстойник, освобожденный от золы, может быть использован по назначению до окончания работы ТЭЦ.

### Библиографический список

1. Технический отчет Гипробум-Пеуру «Оценка воздействия на окружающую среду. Пояснительная записка». ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат», Москва - Санкт-Петербург, 2014.

2. Дамбинов Ю.А. Изучение состава шлам-лигнина БЦБК для разработки методов ремидации полигонов промтоходов. Лимнологический Институт СО РАН, Иркутск, 2013.

3. Сутурин А.Н., Гончаров А.И. и др. Способ рекультивации карт-шламонакопителей предприятий по производству белой сульфатной целлюлозы. Лимнологический

ин-т. Патент РФ № 2526 983.

4. *Парадина Л.Ф., Павлова Л.А. и др.* Особенности состава зол углей ТЭЦ БЦБК. Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, 2013.

5. Справка «Золошлаковые отходы Бабхинского полигона». ООО «ВЭБ Инжиниринг», Москва, 2017.

## Авторы:

Христофор Авдеевич ДЖАНТИМИРОВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электротехнических технологий НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Khristofor DZHANTIMIROV, Ph.D. (Engineering), Leading researcher of the laboratory of electrical technologies of NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

Ильнур Фарисович ВАЛИЕВ, инженер лаборатории электротехнических технологий, НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ilnur VALIEV, engineer of the Laboratory of electrical technologies of NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: valiev.if@mail.ru

# КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ БЕТОНА ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## CONCRETE HUMIDITY CONTROL UNDER INTENSIFICATION OF CONCRETE HARDNESS OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

С. С. ЖОРОБАЕВ, канд. техн. наук

*Влажностный контроль за твердеющим бетоном обеспечивает необходимый уровень влагосодержания бетона монолитных конструкций, что является одним из существенных факторов дальнейшего нормального протекания процессов структурообразования, а также обеспечивает получение заданных физико-технических свойств бетонов, позволяет исключить различные дефекты в конструкциях, ненужные затраты материальных и энергетических ресурсов на их ремонт и восстановление.*

### Ключевые слова:

*Бетонирование в зимних условиях, влажность бетона, градиент температуры, контроль влажности, критическое значение прочности бетона, монолитные железобетонные конструкции, режим прогрева бетона, условия сухой жаркой погоды*

*Humidity control of hardening concrete provides necessary level of moisture content of concrete of monolithic designs which is one of essential factors for further normal course of structure formation processes, and also ensures the specified physical and technical properties of concrete, eliminates various defects in structures, unnecessary waste of material and energy resources for their repair and restoration.*

### Key words:

*Critical value of concrete strength, dry hot weather conditions, humidity control, humidity of concrete, mode of heating of concrete, monolithic reinforced concrete structures, temperature gradient, winter concreting*

Как показывает практика теплового воздействия на бетон монолитных железобетонных конструкций при его раннем возрасте выдерживания, открытые поверхности бетона (например, плит перекрытий, полов из бетона и цементно-песчаного раствора, стен подземных сооружений, монолитных конструкций транспортной инфраструктуры

и т.д.) подвержены воздействиям климатических факторов (температура воздуха, ветер, дождь, снег, солнечная радиация и др.) и требуют значительных трудозатрат, чтобы обеспечить изоляцию от их разрушительного воздействия.

Условия выдерживания бетонов монолитных конструкций можно характеризовать следующим образом:

- летние температурные условия;
- зимние условия;
- тепловая обработка различными способами прогрева и обогрева.

От условий выдерживания бетона зависит состояние его влагосодержания, которое играет существенную роль в будущем структурообразовании бетона.

При летней температуре наружного воздуха, характерной для большинства западных, центральных и восточных регионов страны, открытые поверхности бетона защищают от прямого воздействия солнечных лучей и ветра рогожей, мокрыми опилками, полимерными пленками, влаго- и теплозащитными покрытиями и др.

Изменение влажности по сечению остывающих в зимних условиях бетонных конструкций возможно при наличии температурного градиента по их сечению. Перемещаясь под его воздействием из теплых слоев, влага увеличивает водоцементное отношение охлажденных, как правило, поверхностных слоев конструкции. Если этот процесс произойдет до схватывания и затвердевания бетона, то внутреннее перераспределение первоначально равномерной влажности станет необратимым. В результате в охлажденных в ранний период выдерживания слоях формируется менее плотная структура, с которой впоследствии начинается разрушение бетонных конструкций. В работе [2] определено, что внутренняя миграция влаги является основной причиной снижения прочности бетона с противоморозными добавками при его раннем замораживании, увеличивающая в проведенных опытах до 33,3% исходную влажность охлажденных слоев. В результате за счет увеличения пористости структуры бетона снижение его прочности составило 17%. В экспериментах [3] одностороннее охлаждение свежееуложенного бетона в течение 4 ч с последующим твердением в нормальных условиях привело к переувлажнению охлажденных слоев на 25%, снижению плотности и повышению пористости на 20%.

Процесс внутренней миграции влаги особенно актуален в условиях применения безобогревных методов выдерживания бетонов, контакта бетона с неотогретым основанием, рабочим швом или арматурой.

Основной причиной перемещения влаги в остывающем свежееуложенном бетоне считается перепад капиллярного потенциала, вызванный градиентом температуры, и рассматривается как аналог процесса фильтрации [2].

Авторы [1] отмечают, что при тепловой обработке монолитных конструкций температурный фактор весьма существенно изменяет картину внешнего массообмена твердеющего бетона. Влияние его прослеживается в двух аспектах. С одной стороны, повышение температуры бетона резко увеличивает значение парциального давления пара у поверхности испарения, что приводит к росту  $\Delta P$  и интенсивности испарения влаги. Следует отметить, что на увеличение  $\Delta P$  в несравненно большей степени влияет повышение температуры бетонной смеси, нежели снижение температуры окружающей сре-

ды.

Отсутствие аналогии между численными значениями параметров теплопереноса и массопереноса с изменением разности температур между телом и средой заключается в том, что при увеличении разности температур интенсивность теплообмена возрастает пропорционально  $\Delta t$ , в то время как массообмен интенсифицируется по гиперболическому закону ( $\Delta P/\Delta t \neq const$ ). Например при  $t_c = -10$  °С увеличение  $t_6$  с 20 до 60 °С увеличивает тепловой поток в 2 раза, тогда как поток массы может возрасти в 3 раза [1].

Из перечисленных факторов температурный существенно изменяет характер испарения, при повышении температуры бетона интенсивность массообмена резко возрастает, но в связи увеличением внутреннего стока влаги, после достижения максимума происходит столь же быстрое снижение интенсивности испарения (рис. 1 и 2).

В целях изучения закономерности изменения влагосодержания бетона при тепловой обработке и его влияния на кинетику роста прочности бетона в раннем возрасте (1-3 сут.) и на последующие сроки твердения в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены исследования бетонов класса В15 и В22,5. Исследования проводились в специальной пропарочной камере, где создавались следующие условия:

- температура прогрева бетона – 60 °С, 80 °С и 96 °С;
- скорость подъема температуры бетона до изотермической выдержки – 20 °С /ч;
- продолжительность изотермической выдержки 22 ч;
- скорость остывание бетона 25 °С /ч.

С интервалом 3 ч из пропарочной камеры извлекали 3 образца после хранения при комнатной температуре 2 ч и в соответствии ГОСТ 22783 испытывали на прессе. Изменение влажности образцов определяли взвешиванием на весах, установленных над пропарочной камерой.

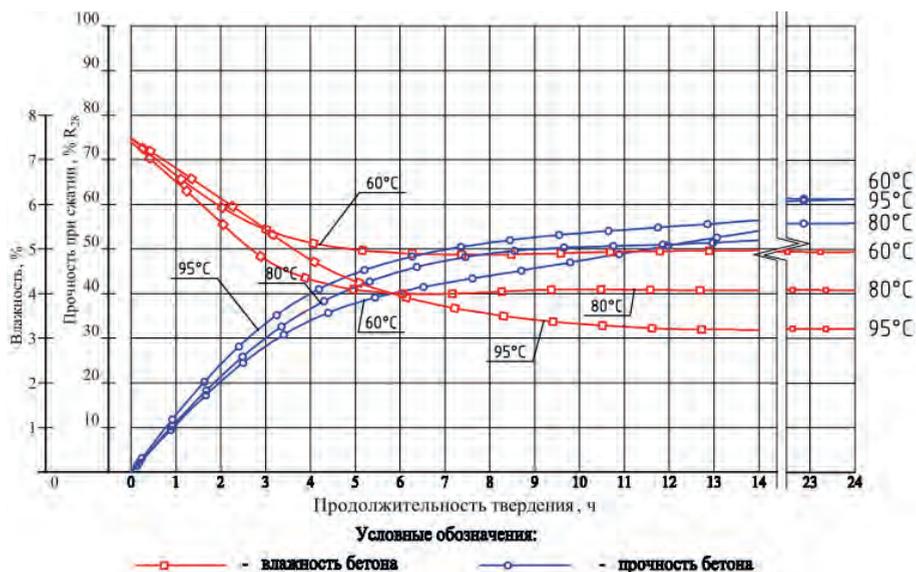
При этом относительная влажность в камере находилась на уровне 65-74%, что соответствует условиям строительства, и твердения монолитных конструкций в центре Европейской части страны.

По полученным данным были построены зависимости изменения влажности бетона и кинетика роста прочности по времени.

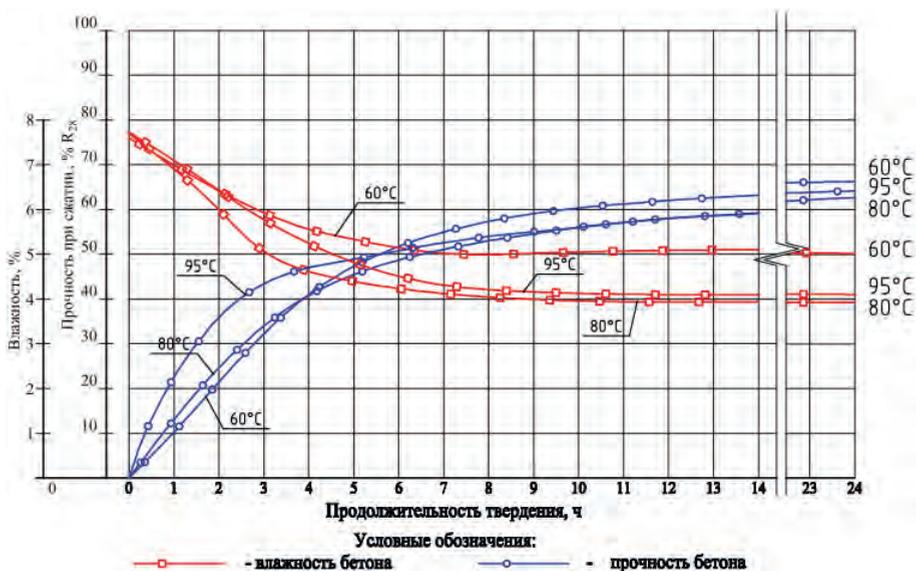
Как видно, из рис. 1 и 2, влажность бетона класса В15 снизилась с 7,4% до 3,15% при тепловой обработке при 95 °С, а влажность бетона класса В22,5 снизилась с 7,76% до 3,9%. Минимальное снижение влажности наблюдалось при тепловой обработке при 60 °С и составило с 7,4 до 5% и 7,76 до 4,98% соответственно для бетонов классов В15 и В22,5.

Для бетона класса В15 прочность бетона при температурах прогрева (+60 °С, +80 °С и +95 °С) соответственно составляют 56, 57 и 62% от  $R_{28}$ , для бетона класса В22,5 при температурах прогрева +60 °С, +80 °С и +95 °С соответственно 67, 63 и 65% от  $R_{28}$ .

Дальнейшие испытания прочности бетонов после хранения их в нормальных условиях до проектного возраста бетоны, прошедшие тепловую обработку при температурах +60 °С, +80 °С и +95 °С, показали соответственно для бетона класса В15 - 106, 101 и 86% от  $R_{28}$ , для бетона класса В22,5 – 103, 101,2 и 84,6%  $R_{28}$ , т.е. образцы, прошедшие тепловую обработку при 95 °С, показывают недобор прочности 14,0 и 15,4% соответственно



**Рис. 1.** Нарастание прочности бетона класса В15 в %R<sub>28</sub> и изменение его влажности при изотермической выдержке при температуре твердения +60 °С , +80 °С и +95 °С



**Рис. 2.** Нарастание прочности бетона класса В22,5 в %R<sub>28</sub> и изменение его влажности при изотермической выдержке при температуре твердения +60 °С , +80 °С и +95 °С

для классов бетонов В15 и В22,5.

Наоборот бетоны, подвергнутые тепловой обработке при мягких режимах изотермической выдержки (60 °С и 80 °С), набирают марочную прочность, что характеризуют эти режимы как наиболее благоприятной для бетонов монолитных конструкций.

Из полученных результатов видно, что кривые изменения влажности в ходе тепловой обработки заметно отличаются, и явно видно влияние влагосодержания на после-

дующие процессы структурообразования, т.е. более высокая температура прогрева не только ускоряет испарение влаги из бетона, но и является одной из причин недобора бетоном прочности.

Анализ известных исследовательских и проделанных нами работ показывают необходимость контроля в построечных условиях не только прочностных показателей бетона, но и контроля влажности бетона, чтобы не допустить снижение их значений менее критических. Как показывает опыт зарубежных стран, практика контроля влажности бетона у них регламентированы стандартами [4, 5], в связи с чем и осознавая важность влажностного контроля твердеющего бетона, считаем, что назрела необходимость разработки нормативно-методической и испытательной базы такого контроля.

В рамках Государственного задания на выполнение услуг (работ), выданного Федеральным автономным учреждением «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» за №069-00001-18-00 от 26.12.2017 на 2018 год и на плановый период 2019-2020 годов, в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» был разработан проект стандарта ГОСТ Р «Бетоны и растворы строительные. Методы определения, правила контроля и оценки влажности в конструкции».

Определение влажности проводится в целях исключить:

- превышение величины остаточной влажности бетона (мелкозернистого) бетона во избежание ухудшения сцепления основания пола и систем напольных покрытий, таких как эластичные и текстильные напольные покрытия и обшивки.
- формирование значений прочности относительных влагопотерь в твердеющем бетоне в условиях сухого жаркого климата ниже критических;
- резкое снижение влажности ниже критических значений в твердеющем бетоне при тепловой обработке бетона в условиях монолитного строительства;
- значительный градиент влажности (неравномерное распространение влаги) по высоте и по горизонтали в бетоне основания и стяжки промышленных и складских полов (для принятия необходимых мер);
- превышение отпускной влажности легкого бетона (кроме бетона на вспученном перлитовом песке или золе) изделий для наружных ограждающих конструкций при отпуске их потребителю по ГОСТ 13015 и ГОСТ 25820;
- превышение влажности ячеистого бетона при отпуске изделий потребителю по ГОСТ 13015;
- избыточную влагу перед нанесением на бетонную поверхность системы защиты и ремонта по ГОСТ 32016, EN 1504-9.

Результаты проведенных научно-исследовательских работ показывают, что существует критическое значение влажности бетона и снижение её менее критического приводит к приостановке процесса гидратации цемента и к необратимым процессам, в том числе:

- прекращение набора прочности бетоном;
- раннее растрескивание;
- образование многочисленных трещин и дефектов.

По данным некоторых исследователей, критическое значение влажности в процессе твердения бетона находится в пределах 4-5%.

Для ячеистого бетона согласно ГОСТ 25800-2000 влажность при отпуске изделий потребителю не должна превышать 25% для бетона на основе песка и 35% — для бетона на основе золы и других отходов производства.

Несмотря на существующие технологические приемы (устройство водного бассейна, укрытие влагозащитными покрытиями, разделение на панели, швы или секции и др.), не всегда удается исключить появление вышеупомянутых дефектов.

Принятием разработанного стандарта вышеизложенные проблемы будут решены, и определение нормируемого параметра – влажности в конструкциях — станет полноценным.

Обеспечивая и регулируя влажностный режим в сочетании с температурно-прочностным контролем, можно получить монолитные конструкции и сборные изделия из бетона и раствора требуемого качества, а также избежать ненужных и лишних расходов на их ремонт и восстановления.

## Библиографический список

1. *Заседателев И.Б., Петров-Денисов В.Г.* Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. — М.: Стройиздат, 1973.
2. *Лагойда А.В.* О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте // Бетон и железобетон. – 1996. — №6. – С. 7-10.
3. *Подласова И.А.* Внутренний неизотермический массоперенос в бетоне на ранней стадии выдерживания // Дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 1993.
4. ASTM F2170 - 11 Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes.
5. *Жоробаев С.С., Асатрян В.Г.* Влажностный контроль бетона при тепловой обработке монолитных железобетонных конструкций / Сб. статей «50 лет в стройкомплексе Москвы и России». ОАО «КТБ ЖБ». – М.: ООО «НИПКС Восход-А», 2012.

## Автор

Суютбек Сатыбалдыевич ЖОРОБАЕВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник Лаборатории технологии бетонов НИИЖБ им. А.А.Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Suiutbek ZHOROBAYEV, Ph. D. (Engineering), senior researcher of the Laboratory of Concrete Technology of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: gss1160@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-61

# О НЕОБХОДИМОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ БЕТОНА НА СТРОЙПЛОЩАДКЕ

## ABOUT THE NEED OF ADVANCE CONTROL OF CONCRETE MIXTURE AT CONSTRUCTION SITE

С. А. ПОДМАЗОВА, канд. техн. наук

М. В. ГЛУШКОВА

*В связи с возведением большого количества монолитных железобетонных конструкций и в целях исключения случаев их несоответствия требованиям проекта по несущей способности Минстрой России принял решение о необходимости введения входного контроля на месте строительства. Исходя из этого, в НИИЖБ им А.А. Гвоздева совместно с заинтересованными организациями разрабатывается система входного контроля поставляемых бетонных смесей, которая может быть оформлена в виде самостоятельного технического документа или как приложение к СП 48.13330.2011.*

*In connection with the construction of a large number of monolithic reinforced concrete structures that do not meet the project requirements for bearing capacity, the Ministry of Construction Industry, Housing and Utilities Sector has decided on the need for advance concrete mixture control at the construction site. In connection with this decision, in the NIIZHB named after A.A. Gvozdev together with interested organizations an advance control system is being developed, which can be framed in the form of an independent technical document or an annexe to Set of Rules 48.13330.2011.*

### Ключевые слова:

*Бетон, бетонная смесь, входной контроль, промежуточная прочность, подвижность, сохраняемость подвижности*

### Keywords:

*Concrete, concrete mix, consistency, intermediate strength, site delivery control, slump consistency keeping*

Минстрой РФ в декабре 2017 г. в целях повышения качества строительства с применением монолитного железобетона принял решение о необходимости разработки системы входного контроля бетонных смесей заводского изготовления (письмо от 29.12.2017 № 49882-ХМ/08), поставляемых на строительную площадку. Это решение было принято на основании анализа статистики допущенного брака, полученной по результатам сводок Госстройнадзора, которые показывают, что для обеспечения проектной несущей способности до 30% монолитных железобетонных конструкций после возведения необходимо либо ремонтировать, либо даже усилить.

Важно отметить, что в Постановлении Правительства РФ от 21 июня 2010г. № 468 «О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства» воспроизводится ряд положений СП 48.13330.2011 и также подчеркивается, что строительный контроль проводится лицом, осуществляющим строительство (далее — подрядчик), застройщиком, заказчиком либо организацией, осуществляющей подготовку проектной документации и привлеченной заказчиком (застройщиком) по договору для осуществления строительного контроля (в части проверки соответствия выполняемых работ проектной документации).

В действующем СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» указано, что эти нормы распространяются на бетонные и железобетонные конструкции всех типов и должны удовлетворять требованиям:

- по безопасности;
- по эксплуатационной пригодности;
- по долговечности,
- а также дополнительным требованиям, указанным в задании на проектирование.

И для того чтобы обеспечить безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность конструкций, следует назначить такие начальные характеристики, которые при различных расчетных воздействиях в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений исключают разрушения любого характера.

В отмененных СНиП 2.03.01-84 отсутствовал раздел «Контроль качества». В действующем СП 63.13330.2018 этот раздел сформулирован в пункте 11.5. Упомянутый СП указывает, что для обеспечения требований, предъявляемых к бетонным и железобетонным конструкциям, следует производить контроль качества продукции, включающий в себя входной, операционный, приемочный и эксплуатационный контроль. В основном, согласно этому СП, весь контроль сводится к оценке прочности бетона в готовой конструкции. Пункт 11.5.3 гласит: «Контроль прочности бетона следует производить по результатам испытания или специально изготовленных или отобранных из конструкции контрольных образцов по ГОСТ 10180, ГОСТ 28570, либо методами неразрушающего контроля по ГОСТ 17624, ГОСТ 22690».

Об обеспечении прочности бетона на стадии возведения и соответствующем контроле упомянутый СП указаний не содержит

Для монолитных конструкций следует проводить сплошной контроль прочности бетона неразрушающими методами, с обязательным построением градуировочных зависимостей. В исключительных случаях (при отсутствии доступа к конструкциям) допускается проведение контроля прочности бетона монолитных конструкций по контрольным образцам, изготовленным на месте укладки бетонной смеси и твердевшим в условиях, идентичным твердению бетона в конструкциях.

Оценивать пригодность сборных конструкций по прочности и эксплуатационной пригодности этот СП рекомендует по ГОСТ 8829. Приемку бетонных и железобетонных конструкций после их возведения согласно СП 70.13330 следует осуществлять путем

установления соответствия выполненной конструкции проекту.

Приемку сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций следует осуществлять по СП 130.13330 и ГОСТ 13015.

В СП 70.13330 «Несущие ограждающие конструкции, актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87» в разд. 5.5 «Контроль качества бетона конструкций» также указано, что проводятся следующие виды контроля: входной, операционный и приемочный.

В отличие от предыдущей редакции, в данном СП указано, что при входном контроле следует осуществлять проверку технологических параметров бетонной смеси, которые указаны в проекте производства работ (ППР), технологическом регламенте и в договоре на поставку.

В СТО 40619399-001-2010 «Бетоны мостовых конструкций. Производство, контроль качества, оценка соответствия. Технические условия. Актуализированная редакция» более развернуто предложено описание входного контроля. В свою очередь, уделено внимание договору на поставку, где подробно описаны технологические требования в зависимости от вида конструкции и от технологии возведения, т.е. из договора на поставку видно, какие параметры следует контролировать при поставке бетона на место строительства.

Качество бетона конструкции — это производная от системы контроля, которая объединяет контроль производства бетона на заводе и контроль технологии возведения конструкций на стройплощадке. Поэтому необходимо разработать комплексную систему входного контроля на месте строительства.

Практика применения нормативных технических документов – Сводов правил и Стандартов организации — при возведении бетонных и железобетонных конструкций и их контроля качества показывает, что необходим анализ всей нормативной базы в части контроля качества бетона конструкций для понимания и разработки системы входного контроля. Например, в СП 48.13330 «Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 Организация строительства» в п. 7.1.3 указано: «Входным контролем проверяют соответствие показателей качества покупаемых (получаемых) материалов, изделий и оборудования требованиям стандартов, технических условий или технических свидетельств на них, указанных в проектной документации и (или) договоре подряда. При этом проверяются наличие и содержание сопроводительных документов поставщика (производителя), подтверждающих качество указанных материалов, изделий и оборудования. При необходимости могут выполняться контрольные измерения и испытания указанных выше показателей. Методы и средства этих измерений и испытаний должны соответствовать требованиям национальных стандартов. Результаты входного контроля должны быть документированы в журналах входного контроля и (или) лабораторных испытаний».

Содержания указанного п. 7.1.3, изложенного в общем виде, недостаточно для определения уровня качества поступающих материалов, прежде всего, бетонной смеси. Система входного контроля бетона на месте строительства – это проверка соответствия качества бетонной смеси и бетона требованиям, установленным в проекте, ППР и технологической карте. В Приложении к СП 48.13330 необходимо было в первую очередь

указать на необходимость соблюдения этих требований к бетону конструкций в проекте, ППР и технологической карте и подчеркнуть обязательность их включения в договор на поставку бетона.

Таким образом, исходя из специфики технических характеристик бетонной смеси и бетона, при разработке договора на поставку бетона необходимо указывать, как минимум:

- вид конструкции, где данный бетон будет использован;
- размеры конструкции (для массивных конструкций необходим бетон с низкой экзотермией);
- класс бетона по прочности на сжатие;
- марка бетона по морозостойкости;
- марка бетона по водонепроницаемости
- температура бетонной смеси в момент поставки (при необходимости);
- время сохраняемости подвижности с учетом продолжительности времени доставки и времени укладки бетонной смеси;
- обозначение ритма поставки бетонной смеси (необходимое требование при составлении договора на поставку для заказчика или для производителя работ);
- величина прочности бетона в момент распалубки по абсолютной величине в мегапаскалях или в процентах от нормативной прочности класса при коэффициенте вариации  $V_n = 13,5\%$ ;
- возраст бетона конструкции в момент распалубки в сутках (1, 3 или 7 суток)
- обеспечение поставки бетона постоянного номинального состава с прочностью не ниже нормативной прочности класса при коэффициенте вариации  $V_n = 13,5\%$  независимо от коэффициента вариации, полученного на бетоносмесительной установке (БСУ).

В договоре должно быть также указано, что каждая партия бетона должна соответствовать требованиям, указанным в договоре на поставку.

Договор на поставку разрабатывается подрядчиком или заказчиком и согласуется с производителем бетона.

Система надлежащего входного контроля бетона на строительной площадке должны включать:

1. Организацию приобъектной лаборатории или поста контроля на строительной площадке для проведения инструментального контроля технических показателей бетонной смеси на соответствие требованиям проекта, ППР и договора на поставку, в обязанности которой должны входить:
  - проверка наличия документов о качестве поступающего бетона;
  - замер температуры бетонной смеси, °С (при необходимости);
  - контроль подвижности бетонной смеси;
  - составление, при необходимости, акта о несоответствии бетона заявленным показателям, отбраковка бетона (объем одного или нескольких автобетоносмесителей) вплоть до замены поставщика бетонной смеси;
2. Контроль прочности бетона конструкции в промежуточном возрасте или, при необходимости, изготовление контрольных образцов для обязательного определения прочности бетона в промежуточном возрасте (3 или 7 суток);
3. Определение причин несоответствия промежуточной прочности бетона и, в случае

необходимости, корректирование состава бетона.

Эти и другие процедуры, включая анализ существующих нормативных документов, должны быть объединены в самостоятельном документе или в виде Приложения к СП 48.13330.

Следует отметить, что в настоящее время ряд организаций (АО ЦЕНТР НОРМИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ — ЦНС, Технический комитет К Торгово-промышленной палаты — ТПП и Российского союза промышленников и предпринимателей — РСПП) выступили с инициативой разработать Технический регламент «О безопасности строительной продукции», мотивируя это тем, что «в настоящее время строительные материалы попадают на рынок в неограниченном количестве низкого качества и сомнительного происхождения». Создание системы входного контроля, подкреплённой соответствующим документом, позволит практически исключить для недобросовестных изготовителей возможность поставки некачественных строительных материалов, в данном случае — товарного бетона.

## Библиографический список

1. СП 48.13330.2011. Организация строительства.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1, 2, 3).
3. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями № 1, 3).
4. СТО 40619399-001-2010. Бетоны мостовых конструкций. Производство, контроль качества, оценка соответствия. Технические условия.

## Авторы:

Светлана Александровна ПОДМАЗОВА, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство», Москва

Svetlana PODMAZOVA, Ph. D. (Engineering), Leading researcher, Laboratory of thin-walled and spatial structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: concrete15@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-74-00

Марина Вячеславовна ГЛУШКОВА, ведущий инженер лаборатории тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство», Москва

Marina GLUSHKOVA, senior engineer, Laboratory of thin-walled and spatial structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: concrete15@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-74-00

УДК 625.7/8 (075.8)

# СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСТРОВАХ АРКТИКИ И ПОБЕРЕЖЬЯ КРАЙНЕГО СЕВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕРЫ

## THE CONSTRUCTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON THE ARCTIC ISLANDS AND THE COAST OF THE FAR NORTH WITH THE APPLICATION OF INNOVATIVE MATERIALS ON THE BASIS OF TECHNICAL SULFUR

В. В. РЕМНЕВ, д-р техн. наук, проф.

А. В. РЕМНЕВ

*Приводится оригинальная технология применения технической серы для скоростного ремонта аэродромных покрытий. С этой целью разработан и изготовлен комплект оборудования на базе СВЧ-установки, с возможностью применения его в условиях вечной мерзлоты.*

*The original technology of using technical sulfur for the high-speed repair of airfield pavements is given. For this purpose, a set of equipment has been developed and manufactured on the basis of a microwave installation, with the possibility of its using in permafrost conditions.*

### Ключевые слова:

*Аэродромное покрытие, вечная мерзлота, строительство при низких температурах, теплоизолирующая прослойка, техническая сера*

### Keywords:

*Airfield coating, construction at low temperatures, insulating layer, permafrost, technical sulfur*

Государственной программой РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ на период до 2020 г. (постановление Правительства от 21 апреля 2014 г. №366) предусмотрены модернизация и развитие инфраструктуры транспортной системы в Арктической зоне РФ, включая модернизацию и реконструкцию гражданских аэропортовых комплексов в 16 городах и поселках, строительство и реконструкция гидротехнических сооружений, дорог, обустройства группировки военных формирований, включающих восстановление и модернизацию ранее функционировавших аэродромов Государственной авиации, технологических площадок, инженерных сооружений для размещения и функционирования боевых и обслуживающих средств и т.п.

Территории Арктической зоны расположены в суровых климатических условиях (отрицательные температуры до минус 50 °С, сильные ветра и снежные заносы, короткий период года с положительной температурой наружного воздуха), в районах с вечной мерзлотой и весьма ранимой экологией.

В Арктической зоне объекты для освоения ее ресурсов, обеспечения безопасности судоходства, охраны и защиты интересов Российской Федерации располагаются на удалении друг от друга от нескольких сотен до тысяч километров, где «свои» климатические и гидрогеологические условия, что исключает применение однотипных (типовых) решений строительных конструкций. К тому же в большинстве районов Арктической зоны отсутствует промышленность строительных материалов, а также разведанные месторождения нерудных материалов для производства бетона, строительного раствора и др. строительных материалов.

В прошлом (в СССР, в первые годы независимости РФ) научно-техническое обеспечение строительства аэродромных комплексов в интересах Минобороны и Гражданской авиации выполнял 26 ЦНИИ Минобороны, а строительство береговой инфраструктуры для флота (гидротехнических и др. сооружений) – его филиал в Санкт-Петербурге (НИЦ 26 ЦНИИ).

Научно-техническое обоснование, разработка технологической и проектной документации, техническое сопровождение строительства выполнялись совместно с проектными организациями Аэропроект, Ленаэропроект, СоюздорНИИ, проектные институты Минобороны №№20, 23, 58 и др.

В то время были разработаны нормативно-методические документы на проектирование и строительство транспортной системы в зоне вечной мерзлоты. Частично эти документы могут быть использованы в настоящее время, но в своей массе они должны быть актуализированы (обновлены).

В настоящее время часть перечисленных организаций ликвидирована (26 ЦНИИ МО и его филиал НИЦ 26 ЦНИИ, СоюздорНИИ), другие стали частными. Поэтому проблемами научно-технического обоснования строительство в Арктической зоне, проведением в необходимых случаях экспериментальных работ сейчас никто не занимается, кроме, Северного Арктического федерального университета им. М.В. Ломоносова (САФУ).

Такое положение не исключает принятие в ряде случаев технических решений низкого качества либо ошибочных, а экономически весьма затратных.

Для реализации упомянутой Государственной программы в первую очередь необходимо выполнение программы «Развитие транспортной системы». Это строительство дорог, аэродромов, морских причалов, технологических и складских площадок и т.п.

Строительство перечисленных объектов, как правило, выполняется и эффективно из бетона и железобетона, монолитного, устраиваемого на месте, и/или из сборных изделий, доставляемых с «материка».

Оба способа применимы, но в любом случае без монолитных бетонных работ проблему не решить. Это особенно актуально в начальной стадии освоения территории Арктической зоны, при отсутствии на них морской инфраструктуры для причаливания судов, обработки грузов и других операций.

Для обеспечения расчетной прочности, долговечности и эксплуатационной пригодности строительных конструкций объектов, располагающихся в Арктической зоне, необходимо применение бетона и железобетона по специальным техническим условиям, учитывающим длительную эксплуатацию объекта в условиях весьма низких отрицательных температур, в морской воде и в воздушной среде, с аэрозолями морской воды. Указанные природные факторы являются агрессивными по отношению к строительным конструкциям.

Технология строительства в Арктической зоне весьма сложная из-за короткого периода года, с относительно низкими положительными температурами, необходимости формировать прочные покрытия дорог и аэродромов, технологических площадок, гидротехнических сооружений за короткий период времени, постоянно учитывая фактор «вечной мерзлоты»

В настоящее время, в основном, отсутствуют нормативно-методические документы по технологии строительства транспортных сооружений в климатических и гидрогеологических условиях Арктической зоны.

В ведомственном нормативном документе по скоростному восстановлению и ремонту цементобетонных аэродромных покрытий для Государственной авиации РФ [1] рекомендовано применение технической серы в качестве вяжущего для серобетона – одного из быстротвердеющих ремонтных материалов. Однако из-за выделения резкого запаха при производстве работ, когда используется горячий серобетон, этот способ не нашел широкого применения.

Техническая сера, являясь продуктом отхода нефтегазовой и металлургической промышленности, как связующее, по сравнению с цементом обеспечивает более быстрый набор прочности ремонтного состава. Так, уже сразу при остывании серобетона до температуры воздуха, после его укладки в места повреждения аэродромное покрытие безопасно может эксплуатироваться воздушными судами (даже при температуре до минус 50 °С).

Напомним, что производство, хранение и транспортировка технической серы в больших объемах требуют от производителя значительных финансовых затрат, а в случае длительного хранения или открытой транспортировки комовой серы этот материал представляет значительную экологическую угрозу для населения и природной среды. Поэтому проблема утилизации технической серы, приобретая всё большую масштаб-

ность, а вместе с ней и социально-экологическую остроту, имеет важное значение [2].

Например, выпуск серы в России, занимающей 3-е место среди крупнейших мировых её производителей, составил в 2011 г. 6,44 млн т, что соответствует 10,3% мирового производства, из которых на долю ОАО «Газпром» пришлось 89%. Более двух третей полученной серы экспортируется, но в последние годы нереализованные товарные её запасы постоянно увеличиваются на 2-3 млн т в год.

Большая часть получаемой технической серы применяется для производства серной кислоты, частично — в резинотехнической промышленности (в качестве вулканизирующего агента), при производстве красителей, пигментов и люминофоров, искусственного волокна, спичек, взрывчатых веществ, в медицине. Более широкое использование технической серы как вяжущего вещества возможно в производстве строительных материалов и конструкций, что является реальным вариантом утилизации накапливающихся избытков этого активного вещества [3].

Применение серосодержащих строительных материалов (ССМ) вызывало определенные споры среди специалистов в отношении негативного влияния на человека и на окружающую среду, но при соблюдении культуры производства и технологии изготовления материалов и конструкций, а также более широкого использования модифицированной технической серы все экологические и санитарные нормы удается соблюсти [4].

Техническая сера имеет существенные недостатки, такие как выделение вредного вещества (диоксида серы), повышенную хрупкость, горючесть [5]. Эти недостатки сдерживали и осложняли ее применение.

Для исключения указанных недостатков разработана технология модификации технической серы посредством включения в ее состав различных модифицирующих добавок. Поэтому в настоящее время при приготовлении ССМ техническая сера в чистом виде практически не используется. В Астрахани функционирует установка по модификации технической серы, пригодной для ССМ. Производительность указанной установки 15 тыс. т в год.

Модификаторы в сере позволяют обеспечить большую однородность структуры композиции и высокую адгезию серного вяжущего к заполнителю, что увеличивает конечную прочность материала. Возможно включение в этот состав базальтовой или иной неметаллической фибры. Основным преимуществом ССМ на технической сере является отсутствие воды в технологическом процессе их изготовления, что позволяет проводить работы при отрицательных температурах. Это и предопределяет их основные преимущества; кроме того, они абсолютно гидрофобны (не впитывают воду), что крайне важно при их применении на Крайнем Севере. Наиболее востребованными ССМ могут быть в морских и гидротехнических сооружениях; фундаментных изделиях и конструкциях; дорожных, аэродромных и железнодорожных покрытиях в качестве теплоизолирующей прослойки на вечной мерзлоте; при ремонте бетонных и железобетонных конструкций.

Особой областью применения модифицированной серы является использование её в составе ремонтного материала, в частности, для аэродромных покрытий.

К положительным свойствам составов на модифицированной сере в первую оче-

редь относятся быстрый набор прочности, связанный только с периодом остывания серобетонной смеси; высокая износостойкость и прочность; стойкость в кислых и щелочных агрессивных средах; низкое водопоглощение и высокая морозостойкость. Особенностью таких составов является возможность повторного использования бракованных конструкций после их дробления, вторичного расплава и нового формования.

Модифицированная сера и ремонтные составы на ее основе прошли необходимые лабораторные и производственные испытания.

В результате получены следующие технические и экологические характеристики модифицированной серы и материалов на её основе:

а) экологические – экологически чистые, безвредные, не выделяют диоксид серы, не требуют специальных условий хранения, срок хранения неограничен, горюче- и взрывобезопасны;

б) технические:

- прочность серных бетонов на сжатие превышает 40 МПа;
- прочность серных бетонов на растяжение при изгибе превышает 15 МПа;
- морозостойкость — более 500 циклов;
- водонепроницаемость – не менее 20 атм;
- стойкость к агрессивным средам, как к кислым, так и к щелочным обеспечена (коэффициент химической стойкости — не менее 0,9);
- скорость набора прочности: через 20 мин – 100%.

Величина сцепления ремонтного материала со старым покрытием в 3 раза выше, чем при ремонте бетонного покрытия цементными составами.

Технологические особенности:

- разогрев предлагаемого состава модифицированной серы — до 130 °С;
- проведение ремонтных работ возможно при отрицательной температуре до минус 50 °С.

Экспертным советом Минтранса России материал на основе модифицированной серы признан инновационным.

Для восстановления и ремонта аэродромных бетонных, а также асфальтобетонных покрытий изготовлен комплект лабораторного оборудования на основе СВЧ-технологии (рис. 1). Сверхвысокочастотное излучение позволяет обеспечить быстрый разогрев ремонтной композиции до расплавления серы (температура в пределах 115 – 130 °С). Нашими специалистами изготовлены чертежи опытного образца микроволновой установки. Она включает малотоннажный грузовик с дизель-генератором от 10 до 100 кВт (в зависимости от размера излучателя), а также микроволновый СВЧ-излучатель с максимальным размером 1×1,5 м (рис. 2). Пятно воздействия СВЧ-излучения регулируется в зависимости от ремонтируемой площади покрытия.



**Рис. 1.** Опытная лабораторная СВЧ-установка мощностью 0,8-1,0 кВт: 1 — блок питания для магнетронов; 2 — вентилятор с двумя крыльчатками; 3 — магнетроны с вентиляторами; 4 — излучатель щелевой; 5 — СВЧ-защита



**Рис. 2.** СВЧ-излучатель

Ремонт бетонного покрытия включает удаление старого разрушенного бетона из поврежденного участка, засыпку на его место сухой ремонтной смеси (щебень мелкозернистый, песок, модифицированная техническая сера), разравнивание и воздействие на неё в течение 15-25 мин СВЧ-излучением до достижения расплавленного состояния. Полученный расплав обычно остывает в течении 20 мин, после чего отремонтированный участок готов к эксплуатации (рис. 3).



**Рис. 3.** Отремонтированная выбоина

Преимущество разработанной технологии заключается в сокращении времени на ремонт аэродромных покрытий, особенно в ограниченных временных интервалах («окнах»), за счет чего можно выполнить большой объем работ.

## Библиографический список

1. Инструкция по скоростному восстановлению бетонных и железобетонных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов Минобороны, 1980.
2. *Королев Е.В., Прошин А.П. и др.* Строительные материалы на основе серы. – Пенза: Изд. Мордовского ун-та, 2003.
3. *Ахметова Р.Т., Медведева Г.А., Строганов В.Ф.* Фундаментальные исследования. – 2014. — №11/4. — С. 739-743.
4. *Прошин А.П., Королев Е.В., Калинин Е.Г.* Структура и свойства модифицированного серного вяжущего // Строительные материалы. — 2005. — №7. — С. 6-10.

5. Волгушев А.Н. Применение серы в строительстве. [Электронный ресурс] [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4348](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348) Режим доступа: свободный (Дата обращения 27.04.2010).

## Авторы:

Вячеслав Владимирович РЕМНЕВ, д-р техн. наук, проф., почетный строитель РФ, советник РААСН, руководитель Центра специальных бетонов и конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vyacheslav REMNEV, D. Sci. (Engineering), Professor, honorary Builder of the Russian Federation, adviser of RAACS, Director of the Center for special concrete structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: rema97776952@yandex.ru

тел.: +7 (495) 602-00-70 (доб. 2032)

Андрей Вячеславович РЕМНЕВ, инженер, ЗАО «300 центр метрологического обеспечения и экологического контроля», Москва

Andrey Vyacheslavovich REMNEV, engineer, JSC “300 center of metrological support and environmental control”, Moscow

e-mail: remnev@mail.ru

тел.: +7 (901) 546-32-76

# ПРИСПОСОБЛЕНИЕ АНКЕРНОГО ТИПА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАТЯЖЕНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## ANCHORING DEVICE FOR REALIZING THE TENSION OF COMPOSITE POLYMER REINFORCEMENT FOR PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES

В. Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук

А. В. БУЧКИН, канд. техн. наук

Е. Ю. ЮРИН

Е. И. НИКИШОВ

И. В. АБРАМОВ, д-р техн. наук, проф.

Ю. В. ТУРЫГИН, д-р техн. наук, проф.

П. В. ЛЕКОМЦЕВ, канд. техн. наук

*Описаны экспериментальные исследования приспособления анкерного типа для натяжения композитной полимерной арматуры трех различных профилей на контролируемое напряжение 0,45 предела прочности при растяжении. Получены технические параметры приспособления, в том числе для предварительного закрепления концов арматуры при выполнении условий прочности арматурного стержня и его непроскальзывания в приспособлении при испытаниях на растяжение.*

### Ключевые слова:

*Анкерный клиновой зажим, захватное устройство, композиционная полимерная арматура, контактное давление, натяжение, предварительное напряжение*

*The article presents experimental studies of anchoring devices for realizing the tension of three different profiles of FRP (Fiber Reinforced Polymers) in the range from 0.4 to 0.7 tensile strength. Recommended technical parameters of the fixture have been obtained, including the parameters of preliminary fixing the ends of the reinforcement when meeting the strength conditions of the reinforcing bar and non-slip in the fixture under tensile tests.*

### Keywords:

*Anchoring systems, contact pressure, fiber reinforced polymers, prestressing, tension, wedge anchor*

## Введение

Композитная полимерная арматура (АКП) обладает высокой прочностью при растяжении, ее упругие свойства и относительно низкий модуль упругости по сравнению со стальной арматурой определяют наиболее рациональную область применения в предварительно напряженных конструкциях.

Проблема технологии предварительного натяжения конструкций из бетона с использованием АКП рассматривается отечественными и зарубежными инженерами на протяжении 25-30 лет, однако однозначные и общепринятые технологические рекомендации до сих пор не сформулированы. АКП является упругим анизотропным материалом, обладающим различными свойствами в разных направлениях. Располагая высокой прочностью при растяжении вдоль волокон, АКП имеет незначительную прочность на сжатие, а также хрупкость поперек волокон, что создает ряд трудностей захвата и анкеровки в процессе ее предварительного напряжения [14].

Существующие технические решения требуют проработки вопросов, связанных с обоснованием конструктивных параметров устройств и приспособлений для натяжения, прежде всего касающиеся простоты, надежности, эффективности и технологичности использования, при производстве бетонных конструкций и изделий, а также нуждаются в разработке рекомендаций по их применению. Несмотря на наибольшую целесообразность применения АКП в бетонных конструкциях с предварительным напряжением, до настоящего времени реализованы лишь единичные подобные примеры.

Разнообразие существующих технических решений [1-13] показывает актуальность проблемы повышения надежности захватных и анкерных устройств для предварительного натяжения АКП. Наиболее надежными по критерию отсутствия начальных деформаций в области крепления арматурного стержня, максимальной площади контакта и коэффициента сцепления являются решения, в основе которых лежит полимеризация эпоксидной или другой смолы с концом арматурного стержня в гильзе [2], стальной трубке [14] или наконечнике [3].

Использование для натяжения захватов с использованием цементных или полимерных растворов для удержания АКП является трудоемким и нетехнологичным способом при массовом производстве конструкций.

Применение анкерных систем клинового типа для предварительного натяжения АКП наиболее выгодно, поскольку они имеют малые габариты, обеспечиваются возможность многократного применения и простота сборки. Однако такие системы требуют проведения экспериментального исследования, направленного на выбор материалов клина, оправки, определения параметров предварительного закрепления АКП, исключив проскальзывание стержня в приспособлении при растягивающих нагрузках. Используемые для натяжения высокопрочной стальной проволоки и арматуры устройства в виде канговых захватов пережимают и разрушают стержни АКП до достижения необходимого напряжения и требуют конструктивной адаптации. Это связано прежде всего с различными физико-механическими свойствами (главным образом, твердостью рабочей поверхности) стальной канги и АКП, что приводит к разрушению сначала поверхности полимерного композита, а затем — продольных волокон, в том числе в обла-

сти выхода стержня из цанги [15-17].

Возможны два пути решения этой проблемы. Первый сводится к исключению прямого контакта между стальной цангой и композитным стержнем с помощью промежуточной втулки [10, 18], второй – к изготовлению цанги из материала, по физико-механическим свойствам идентичного материалу композитного стержня [4-7, 8-9, 13].

В [19] сформулировано условие сохранности стержня в цанговом зажиме при натяжении: контактное давление должно быть ниже на нагруженном конце стержня и выше на свободном. Реализация этого условия возможна с помощью цанги различной жесткости по длине [5-7, 13] либо созданием конструктивных особенностей [12], приводящих к перераспределению контактных давлений по мере натяжения арматурного стержня.

Апробация приспособлений для натяжения АКП предусматривала их испытание до 0,5 предела прочности при растяжении, систематизацию экспериментальных данных и получение технических параметров приспособлений. Апробации приспособлений для натяжения производилась на стеклокомпозитной арматуре (АСК) различного профиля, диаметром 6 мм:

- серия 1 – анкерочный слой образован намоткой на силовой стержень непрерывного волокна;
- серия 2 – анкерочный слой образован выдавливанием в силовом стержне выступов однородного материала;
- серия 3 – анкерочный слой обеспечен песчаным покрытием, нанесенным на силовую стержень.

Внешний вид исследуемых образцов АСК приведен на рис. 1, геометрические и физико-механические характеристики даны в табл. 1.

Таблица 1

### Геометрические и физико-механические характеристики АСК

Наименование показателя	Серия		
	1	2	3
Номинальный диаметр $d_n$ , мм	8,33	8,30	8,35
Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	1291	1127	1194
Максимальная нагрузка при осевом растяжении $F$ , кН	70,32	60,95	65,35
Модуль упругости $E_p$ , ГПа	57	47	50
Относительное удлинение $\varepsilon_b$ , %	2,3	2,4	2,4

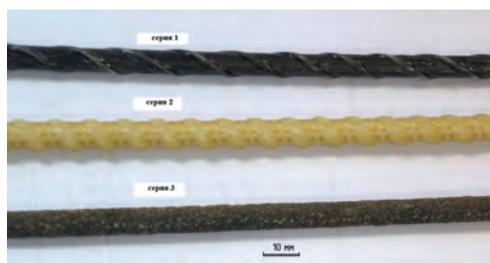


Рис. 1. Внешний вид АСК

Для натяжения образцов АСК использовались приспособления двух типов.

Тип I – анкерные устройства (цанговый трехдольный и двухдольные захваты), используемые для натяжения высокопрочной стальной проволоки диаметром 5 мм в соответствии с рис. 2.



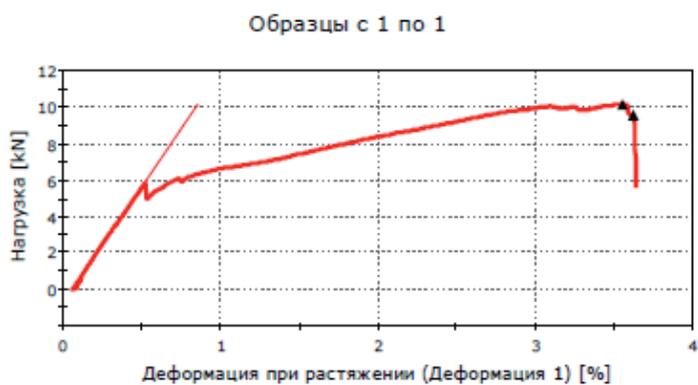
Рис. 2. Общий вид анкерного устройства типа I

Тип II – анкерное устройство для композитного стержня диаметром 6 и 8 мм, которое состоит из обжимной муфты с отверстием, двух полимерных цанг, в сложенном виде представляющие собой конус со сквозным отверстием (рис. 3).

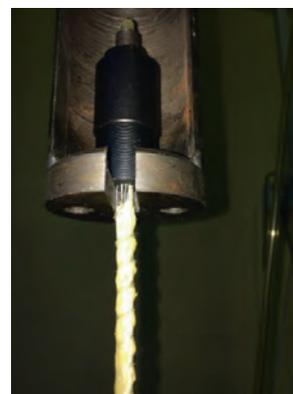


Рис. 3. Общий вид анкерного устройства типа II

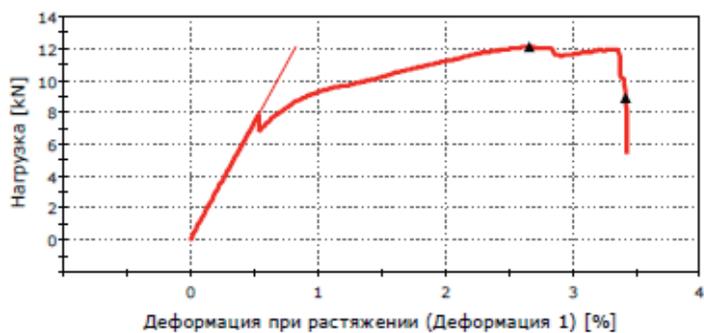
Испытание анкерных устройств типа I показали, что при действии на АСК различного профиля кратковременной растягивающей нагрузки максимальная удерживающая способность составляет не более 40%, что ниже контролируемой величины предварительного напряжения АСК, принятой в СП 295.1325800 и СП 63.13330 равной 45% от временного сопротивления. В месте обжатия стержня стальными долями происходит или разрушение (перекусывание, смятие) или значительное повреждение поверхностного слоя стержня, что является недопустимым для создания предварительного натяжения. Результаты испытаний анкерного устройства типа I приведены на рис. 3 – 5.



**Рис. 3.** АСК серии 1 после испытаний на растяжение



**Рис. 4.** АСК серии 2 после испытаний на растяжение



**Рис. 5.** АСК серии 3 после испытаний на растяжение

Испытания анкерного устройства типа II показали, что для обеспечения максимальной удерживающей способности устройства необходима предварительная подпрессовка полимерных цанг для обеспечения обжатия и удержания композитного стержня.

Результаты испытаний устройства для натяжения типа II для АСК диаметром 6 мм

представлены в табл. 2. Общий вид АСК во время испытания и после испытаний показан на рис. 6 – 9.

Таблица 2

### Результаты при натяжении АСК диаметром 6 мм

Серия АСК	Сила натяжения $P$ , кН	Разрушающая нагрузка при растяжении $F$ , кН	$P/F$	$P/F$	Примечание
1	26,2	36,3	0,72	0,62	Разрушений в рабочей части стержня нет, имеют место срез витков и проскальзывание стержня в анкерном устройстве
	22,2		0,61		
	19,6		0,54		
2	26,2	37,6	0,69	0,73	Разрушений в рабочей части стержня нет, имеют место витков и проскальзывание стержня Частичное разрушение сечения стержня в рабочей части
	26,3		0,70		
	29,9		0,80		
3	26,2	36,02	0,78	0,76	Разрушение сечения стержня в рабочей части
	26,3		0,81		
	29,9		0,92		



Рис. 6. Общий вид испытаний

Последующие испытания устройства для натяжения АСК с анкерными клиньями показали, что при действии на АСК различного профиля кратковременной растягивающей нагрузки максимальная удерживающая способность различна.



Рис. 7. АСК серии 1 после испытаний на растяжение



Рис. 8. АСК серии 2 после испытаний на растяжение



Рис. 9. АСК серии 3 после испытаний на растяжение

Перед испытанием производилась анкеровка арматурного стержня предварительной подпрессовкой анкерных клиньев силой  $F_1$  и  $F_2$  в оправке №1 и №2 соответственно.

Далее оправки с арматурным стержнем крепили в захватных устройствах испытательной машины. Общий вид испытания показан на рис. 6. Сила натяжения  $P$  задавалась от 0,4 до 0,7 от максимальной нагрузки при осевом растяжении  $F$ , скорость перемещения траверсы – 10 мм/мин. После достижения заданной силы и выдержки в течение 60 с нагрузку снимали. Оценка появления зазора  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  давалась визуально, в случае необходимости производился замер зазора измерительной линейкой по ГОСТ 427.

В отдельных случаях наблюдалось проскальзывание стержня в оправке, о чем свидетельствуют скачкообразные изменения силы натяжения, показанные на рис. 10. Это позволяло определять начальный момент проскальзывания и соответствующую ему

силу  $F_{н.с.}$  по диаграмме нагружения. Результаты испытаний устройства для натяжения типа II для АСК диаметром 8 мм представлены в табл. 3 – 5. Общий вид АСК после испытаний показан на рис. 11-13.

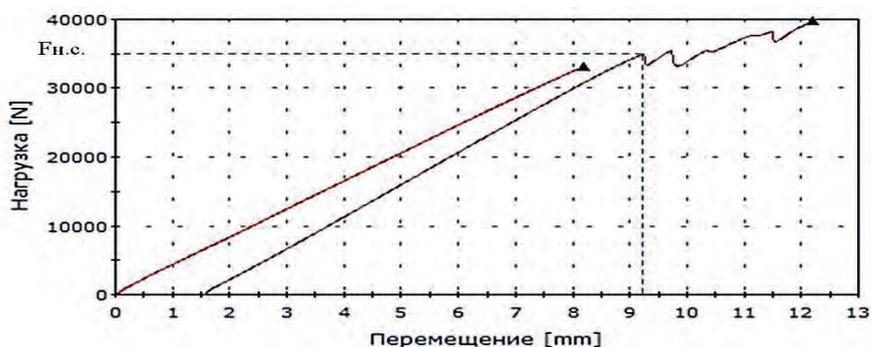


Рис. 10. Диаграмма растяжения с проскальзыванием стержня в приспособлении для натяжения

Таблица 3

### Результаты при натяжении АСК серии 1

Сила подпрессовки анкерных клиньев, кН		Сила натяжения $P$ , кН	Проскальзывание стержня, мм		Сила начального момента проскальзывания, кН	$P/F$ ( $F_{н.с.}/F$ )
$F_1$	$F_2$		$\Delta h_1$	$\Delta h_2$		
16,5	32,3	35,2	7	0	15,8	0,50 (0,23)
42,5	44,9	37,8	9	0	28,3	0,54 (0,41)
46,7	52,4	37,9	0	7	34,5	0,54 (0,49)
44,1	44,3	24,5	3	0	24,5	0,35 (0,35)
57,9	41,4	24,0	0	4	24,0	0,34 (0,34)
57,9	49,0	30,0	5	0	30,0	0,43 (0,43)
49,0	49,0	28,8	0	10	28,8	0,41 (0,41)
41,4	41,4	34,5	5	0,5	33,3	0,49 (0,48)
41,4	41,4	32,1	6	0	32,1	0,46 (0,46)
41,4	41,4	25,0	9	4	22,9	0,36 (0,33)
48,3	48,3	34,3	0	7	34,3	0,49 (0,49)
48,3	48,3	37,5	6	0	34,3	0,54 (0,49)

Таблица 4

### Результаты при натяжении АСК серии 2

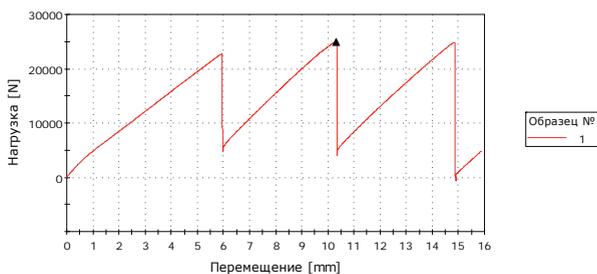
Сила подпрессовки анкерных клиньев, кН		Сила натяжения $P$ , кН	Проскальзывание стержня, мм		Сила начального момента проскальзывания, кН	$P/F$ ( $F_{н.с.}/F$ )
$F_1$	$F_2$		$\Delta h_1$	$\Delta h_2$		
39,2	39,3	29,4	0	2,5	20,7	0,44 (0,30)
44,9	44,7	34,0	0,5	0,5	32,1	0,51 (0,47)
41,1	41,2	39,2	0	0,5	29,4	0,53 (0,37)
56,0	46,0	39,1	0	0	23,8	0,60 (0,32)

Сила подпрессовки анкерных клиньев, кН		Сила натяжения P, кН	Проскальзывание стержня, мм		Сила начального момента проскальзывания, кН	P/F (F <sub>н.с.</sub> /F)
F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>		Δh <sub>1</sub>	Δh <sub>2</sub>		
52,0	52,0	46,1	0	0	40,8	0,69 (0,60)
56,0	52,0	49,4	10	0,5	48,6	0,73 (0,53)
38,0	38,1	33,6	1,5	1,2	28,8	0,50 (0,62)
41,0	41,0	33,1	0	0	-	0,50
50,0	50,0	39,7	0,9	0,8	35,4	0,60 (0,32)
55,0	55,0	46,4	0	0	-	0,70
55,0	55,0	48,6	0	0	46,9	0,71 (0,64)

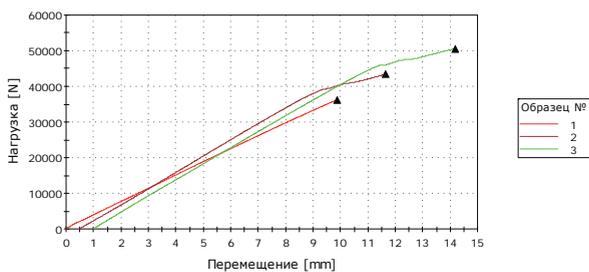
Таблица 5

**Результаты при натяжении АСК серии 3**

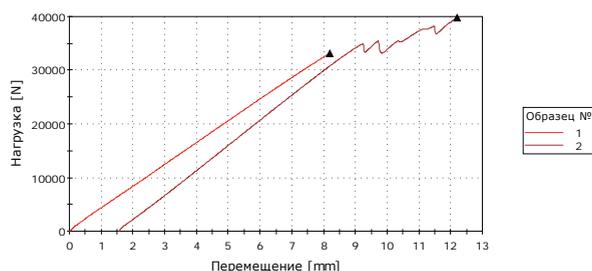
Сила подпрессовки анкерных клиньев, кН		Сила натяжения P, кН	Проскальзывание стержня, мм		Сила начального момента проскальзывания, кН	P/F (F <sub>н.с.</sub> /F)
F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>		Δh <sub>1</sub>	Δh <sub>2</sub>		
39,1	39,4	39,4	0	2,5	29,4	0,54 (0,13)
39,1	40,1	39,3	0,5	1,0	26,9	0,57 (0,38)
41,0	41,0	39,2	0	0	-	0,53
40,0	30,0	36,0	0	0,7	23,9	0,50 (0,31)
42,0	42,0	36,0	0	0	-	0,50
46,0	46,0	43,6	10	0,4	39,6	0,60 (0,73)
38,1	38,1	50,1	1,5	1,2	45,8	0,7 (0,42)
50,4	50,4	36,7	0	0	-	0,50
50,4	50,4	36,7	0	0	39,0	0,60 (0,55)
55,7	55,7	43,4	0	0	39,6	0,60 (0,55)
55,7	55,7	56,0	0	-	-	0,70



**Рис. 11.** АСК серии 1 на растяжение



**Рис. 12.** АСК серии 2 на растяжение



**Рис. 13.** АСК серии 3 на растяжение

Обеспечение максимальной удерживающей способности устройства для натяжения АСК диаметром 8 мм достигнуто предварительным закреплением концов стержня с усилием подпрессовки принятых в зависимости от профиля:

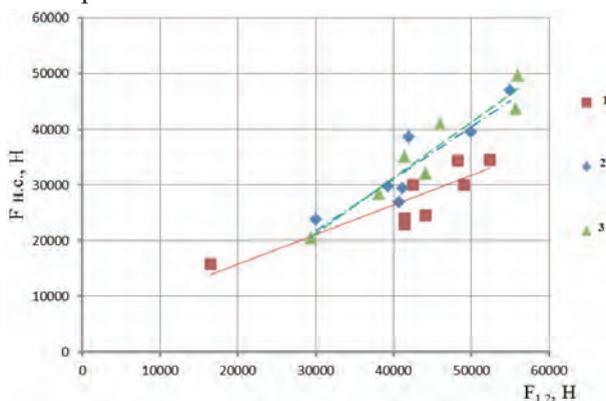
для АСК серии 1 значение силы подпрессовки составляет 50 кН, что обеспечивает силу начального момента проскальзывания  $F_{н.с.} = 33,3$  кН, или 48% максимальной нагрузки при осевом растяжении  $P = 70,32$  кН;

для АСК серии 2 значение силы подпрессовки составляет 40 кН, что обеспечивает силу начального момента проскальзывания  $F_{н.с.} = 31,2$  кН, или 51% максимальной нагрузки при осевом растяжении  $P = 60,95$  кН;

для АСК серии 3 значение силы подпрессовки составляет 55 кН, что обеспечивает силу начального момента проскальзывания  $F_{н.с.} = 46,6$  кН, или 72% максимальной нагрузки при осевом растяжении  $P = 65,35$  кН.

Из диаграмм видно, что проскальзывание арматурного стержня периодического профиля серии 1 характеризуется резким падением силы натяжения и меньшим (на 35-40%) значением силы начального момента скольжения, что можно объяснить скольжением стержня в оправке по винтовой линии и более низкими фрикционными свойствами поверхности арматуры по сравнению с образцами арматуры других профилей.

Полученные значения сил в момент начала скольжения  $F_{н.с.}$  в зависимости от силы предварительной подпрессовки анкерных клиньев для серий АСК и их линейная аппроксимация показана на рис. 14.



**Рис. 14.** Значения силы в момент начала скольжения в зависимости от силы предварительной подпрессовки анкерных клиньев при натяжении АСК серии 1, 2 и 3

### Выводы

1. Проведённые исследования по выбору материала и расчету основных параметров захватов показали, что механическое заимствование и использование для натяжения АСК анкерных устройств и захватов, применяемых в настоящее время для стальной арматуры, не дало положительных результатов вследствие различных структурных физико-механических свойств стали и АСК.
2. При использовании анкерных захватов, применяемых для натяжения стальной арматуры, не обеспечиваются необходимые усилия натяжения АСК, так как происходит разрушение стержня в самих захватах.
3. Испытания устройства для натяжения АСК выявили необходимость подбора оптимального технического решения как самого захвата, так и материала цанг для наилучшего обеспечения контакта «полимер – полимер», а также необходимость предварительной подпрессовки полимерных цанг для обеспечения обжатия и удержания композитного стержня до нормативных требований 0,45 св.
4. Результаты испытаний показали возможность использования разработанных полимерных цанг для изготовления преднапряженных бетонных конструкций.

### Библиографический список

1. Анкерное устройство для арматуры периодического профиля: пат. 73351U1 Рос. Федерация: МПК E02D 27/50 E04B 1/38 / С.Н. Ткачев, Ю.П. Волков, С.П. Поздеев; заявитель и патентообладатель ООО «Бийский завод стеклопластиков». — № 2008100546/22; заявл. 09.01.2008; опубл. 20.05.2008. Бюл. № 14.
2. Гильза для удерживания прутка композитной арматуры, вырываемого из бетона: пат. 159663U1 Рос. Федерация: МПК G01N 3/00 / Ю.А. Щепочкина, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.В. Караваев; заявитель и патентообладатель ФБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет». — № 2015127522/28; заявл. 08.07.2015; опубл. 20.02.2016 . Бюл. № 5.
3. Элемент соединительный с наконечником: пат. 176344U1 Рос. Федерация: МПК F16B 17/00, F16G 11/00 / В.Н. Сопляченко, О.Г. Рогожин, А.Б. Гильман, М.Г. Шнайдер; заявитель и патентообладатель В.Н. Сопляченко, О.Г. Рогожин. — № 2017110306; заявл. 28.03.2017; опубл. 17.01.2018. Бюл. № 2.
4. Анкерное устройство для фиксации предварительно-напряженных арматурных стержней: пат. 176504U1 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / Б.Ш. Умаров, А.А. Пискунов, Т.А. Зиннуров, Л.Г. Сафиюлина, О.К. Петропавловских, А.Р. Вольгер; заявитель и патентообладатель Б.Ш. Умаров, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КГАСУ) — № 2016126915; заявл. 04.07.2016; опубл. 22.01.2018. Бюл. №3.
5. Анкер для композиционного арматурного элемента: пат. 2615555C1 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / В.Н. Николаев; заявитель и патентообладатель В.Н. Николаев. — № 2016103166. заявл. 02.02.2016; опубл. 05.04.2017. Бюл. №10.

6. Анкер для композиционного арматурного элемента: пат. 2639337С1 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / В.Н. Николаев; заявитель и патентообладатель В.Н. Николаев. — № 2016137575. заявл. 20.09.2016; опубл. 21.12.2017. Бюл. №36.

7. Анкер для закрепления силового элемента из композиционного материала: пат. 168979U1 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / А.Б. Виноградов, Ю.К. Левин; заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН). — № 2016136420. заявл. 12.09.2016; опубл. 01.03.2017. Бюл. №7.

8. Устройство для анкеровки композитной арматуры: пат. 2613370С1 Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / Б.В. Накашидзе, П.Б. Березин, Д.Г. Накашидзе; заявитель и патентообладатель Б.В. Накашидзе, П.Б. Березин, Д.Г. Накашидзе. — № 2015145714. заявл. 26.10.2015; опубл. 16.03.2017. Бюл. №8.

9. Устройство для крепления концов стеклопластиковой арматуры: пат. 5489 U2009.08.30 Респ. Беларусь: МПК G 01N 3/00 /Н.Н. Попок; Д.Н. Шабанов; В.А. Терентьев; И.Я. Сопиков; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Полоцкий государственный университет». — № u 20090077. заявл. 03.02.2009; опубл. 30.08.2009.

10. Composite CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) tendon anchoring system: CN patent № 104727487A / Han Qinghua, Wang Lichen, Xu Jie, Lu Yan, Xu Ying. – 2015.

11. Anchoring arrangement for a rod-shaped tension member formed of fiber reinforced composite material: US patent № 4958961 / Thomas Herbst, Dieter Jungwirt. – 1990.

12. Arrangement for anchoring a rod-shaped tension member of composite fiber material: US patent № 5437526A / Thomas Herbst, Berthold Bolmer, Hartmut von Grolman, Anton Liigering, Lorenz Schnitzler. – 1995.

13. Anchorage device for high performance fiber composite cables: US patent № 5713169A / Urs Meier, Heinz Meier, Patrick Kim. – 1998.

14. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. – М.: АСВ, 2013.

15. Al-Mayah Adil, Soudki Khaled, and Plumtree Alan. Mechanical Behavior of CFRP Rod Anchors under Tensile Loading // Journal of Composites for Construction, May.

16. Bennitz A., Schmidt J. W. Failure Modes of Prestressed CFRP Rods in a Wedge Anchorage Set-up. ACIC, 2012. — P. 104-114.

17. Shrive N. G. Prestressing Anchorage System for Fiber Reinforced Plastic Tendons. U.S. Patent 6,082,063. — 2000.

18. Al-Mayah Adil, Soudki Khaled, and Plumtree Alan. Experimental and Analytical Investigation of a Stainless Steel Anchorage for CFRP Prestressing Tendons. // PCI Journal, March–April.

19. Анкерное устройство для композитной арматуры: пат. 109172U1Рос. Федерация: МПК E04C 5/12 / В.Н. Николаев; В.В. Николаев, заявитель и патентообладатель ООО «ГАЛЕН». — № 2011118956/03. заявл. 12.05.2011; опубл. 10.10.2011. Бюл. №28.

## Авторы:

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, проф., заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valentina STEPANOVA, D. Sci (Engineering), Full Prof., Head of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Андрей Викторович БУЧКИН, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey BUCHKIN, Ph.D. (Engineering), Deputy Head of the Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: andibuch@inbox.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81

Евгений Юрьевич ЮРИН, научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Evgeny YURIN, researcher of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: max199107@bk.ru

тел.: +7 (499) 174-76-81

Евгений Игоревич НИКИШОВ, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «Строительство», Москва

Evgeny NIKISHOV, engineer of Corrosion and durability of structural concrete Laboratory, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: sheny08@mail.ru

Иван Васильевич АБРАМОВ, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова», Ижевск

Ivan ABRAMOV, D. Sci (Engineering), Full Prof., Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

Юрий Васильевич ТУРЫГИН, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова», Ижевск

Yury TURYGIN, D. Sci (Engineering), Full Prof., Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

Павел Валерьевич ЛЕКОМЦЕВ, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова», Ижевск

Pavel LEKOMTSEV, Ph.D. (Engineering), Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

e-mail: [pavellekomtsev@gmail.com](mailto:pavellekomtsev@gmail.com)

# ВЫНУЖДЕННОЕ УСИЛЕНИЕ КАРКАСА ЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО- СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ В Г. ХОТЬКОВО МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

## THE REQUIRED STRENGTHENING OF THE BUILDING FRAME PRODUCTION- WAREHOUSE PREMISES IN KHOTKOVO, MOSCOW REGION

М. И. ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук

М. И. ГУКОВА, канд. техн. наук

Д. В. КОНДРАШОВ

Д. Ю. КОНЯШИН

*Приведены результаты обследования каркаса здания производственно-складских помещений в г. Хотьково Московской обл., смонтированного из колонн постоянного двутаврового сварного сечения и неразрезных ферм покрытия, пролетом 24 м, выполненных с параллельными поясами и треугольной решеткой с нисходящим опорным раскосом, изготовленных фирмой «РУУККИ РУС» из спаренных оцинкованных холодногнутых профилей, соединенных между собой и с фасонками на болтах.*

*Проанализированы причины потери несущей способности некоторых элементов конструкций покрытия после монтажа, в условиях отсутствия водостоков и вертикальных связей между фермами при самой большой снеговой нагрузке, в т.ч. в ендовах здания, в марте 2018 г.*

*Описаны дополнительные мероприятия по усилению конструкций для обеспечения его устойчивости и приведения здания в работоспособное состояние.*

*The results of the survey of the frame of the building of the production and warehouse complex in the city of Khotkovo, Moscow region, mounted from the columns of a constant I-beam welded profile and continuous trusses covering, 24 m span structure, made with parallel belts and a triangular grid with a descending bearing diagonal made by the "Ruukki Rus" company of paired galvanized cold-formed profiles, interconnected and with profiles on bolts.*

*The reasons for the loss of bearing capacity of some elements of the coating structures after installation, in the absence of drains and vertical connections between the farms at the highest snow load, including in the end of the building in March 2018 are analyzed.*

*Additional measures to strengthen the structures to ensure its stability and bring the building into the working condition are described.*

**Ключевые слова:**

*Техническое состояние, несущая способность, ферма*

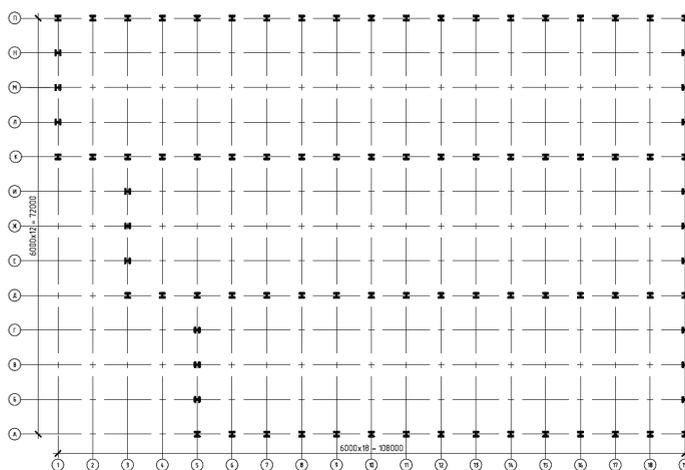
**Key words:**

*Bearing capacity, technical condition, truss*

Обследуемые конструкции каркаса здания производственно-складских помещений (рис. 1), по данным заказчика, смонтированы в феврале-марте 2018 г.



**Рис. 1.** Общий вид производственно-складских помещений в г. Хотьково



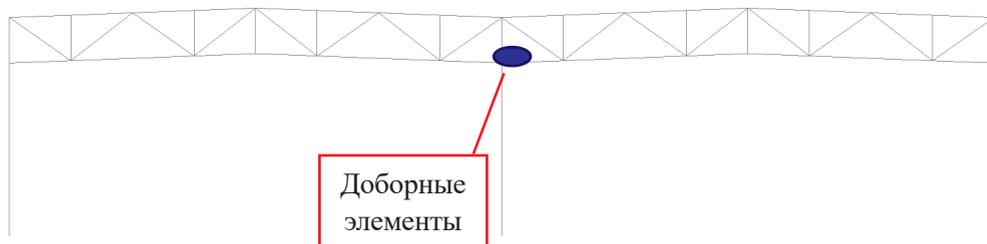
**Рис. 2.** Схематический план колонн здания склада

Каркас здания решен в виде 14 трехпролетных, 2 двухпролетных и 2 однопролетных рам. Ширина каждого пролета 24 м. Шаг колонн 6 м. Длина здания по ряду П – 108 м, по ряду А – 84 м (рис. 2).

Каркас здания состоит из колонн постоянного двутаврового сварного сечения и неразрезных ферм покрытия, пролетом 24 м, выполненных с параллельными поясами и треугольной решеткой с нисходящим опорным раскосом. Элементы ферм изготовлены фирмой «РУУККИ РУС» из спаренных оцинкованных холодногнутых профилей (в поясах – с гофрированной стенкой), соединенных между собой и с фасонками на болтах.

Отметка низа ферм – 8 м.

Крайние панели нижних поясов ферм в средних пролётах запроектированы как доборные элементы из квадратного гнуто-сварного профиля, соединенные с колоннами (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема двухпролетной фермы с доборными элементами

Верхний и нижний пояса ферм приведены на рис. 4, *а,б*. Опираение нижнего пояса к колоннам показано на рис. 5, *а*. Неравнопрочный узел первого от опоры узла фермы показан на рис. 5, *б*.

*а*



*б*



**Рис. 4.** Стропильные фермы покрытия здания склада: *а* — верхние пояса ферм; *б* — нижние пояса ферм

*а*

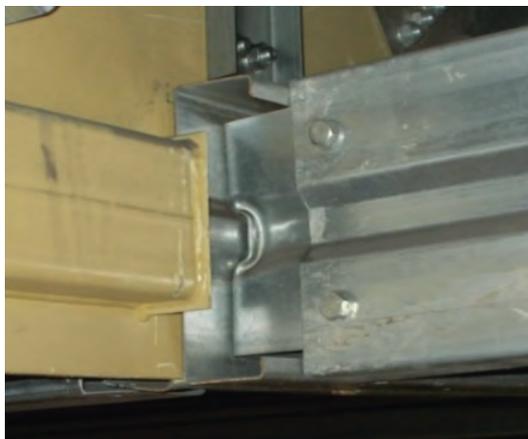


*б*



**Рис. 5.** Опираение нижнего пояса фермы и распорки на оголовок колонны по среднему ряду (*а*) и решение первого от опоры узла нижнего пояса фермы (*б*)

Распорки из гнутых профилей в первом от опоры узле ферм крепятся между собой на болтах через промежуточный элемент, изготовленный из гнутого профиля с гофрированной стенкой, согнутого в форме уголка (рис. 6).



**Рис. 6.** Крепление распорки к нижнему поясу фермы в первом от опоры узле

По верхним поясам ферм по разрезной схеме уложены прогоны, изготовленные из гнутых оцинкованных профилей. К прогонам установлены распорки, прикреплённые к ним на гнутых уголках болтами. Кровля покрытия здания с теплоизоляцией и гидроизоляцией устроена по профилированному настилу, прикреплённому самонарезающими винтами к прогонам в каждой волне, образуя таким образом жёсткий диск.

Нижний пояс торцевой фермы прикреплен к стойке фахверка через гнутые прокладки на самонарезающих винтах (рис. 7). Устроенное соединение не является листовым шарниром, который должен быть ориентирован вдоль длины здания для передачи торцевого ветра на горизонтальные связи в уровне нижних поясов ферм. Принятое решение крепления фахверковых колонн не выполняет свою функцию и усложняет работу каркаса здания в целом.



**Рис. 7.** Крепление нижнего пояса торцевой фермы к фахверковой стойке

По сведениям Заказчика, после монтажа конструкций покрытия, в условиях самой большой снеговой нагрузки, в т.ч. в ендовах здания, (март 2018 г.) и при отсутствии вертикальных связей между фермами, закреплённые на фасонках первые от опоры узлы нижних поясов ферм сместились из своей плоскости. Гнутые соединительные элементы, прикрепляющие распорки к нижним поясам ферм, размокнулись; фасонки изогнулись (рис. 8, а); горизонтальные связи по нижним поясам ферм в связевых блоках потеряли устойчивость (рис. 8, б); распорки по нижним поясам ферм в торцевых фермах сдвинули ограждающие панели.



**Рис. 8.** Повреждения элементов в процессе эксплуатации: а — изогнутая фасонка; б — деформированная связь

Для устранения полученных повреждений элементов конструкций в здании проведено усиление (рис. 9), в состав которого вошли:

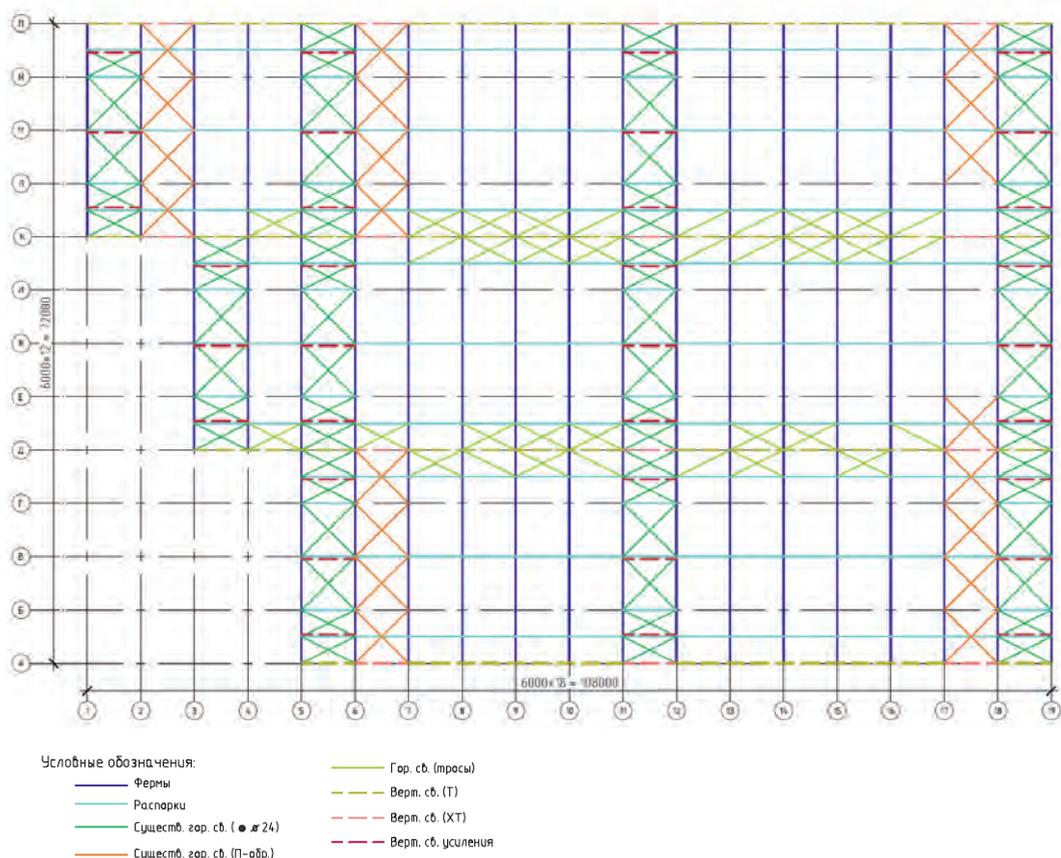
- выправка изогнутых фасонки с помощью растяжки тяжами из круглой стали с талрепами и тросами;
- установка отсутствующих в проекте вертикальных связей между фермами;
- замена и дополнительная установка горизонтальных связей с сечениями из круглой стали с талрепами;
- усиление соединительных элементов путем установки дополнительных элементов в местах опирания продольных распорок на пояса ферм.

Однако проведённое усиление для обеспечения общей устойчивости покрытия здания носило временный характер. Оно было выполнено не в полном объеме:

- не был образован замкнутый контур связей по нижним поясам ферм, который необходим при наличии сжатых элементов в нижних поясах ферм;
- выправленные фасонки с помощью тросов не приобрели необходимую устойчивость конструкций из своей плоскости;
- распорка раскрепления нижнего пояса была прикреплена к концу смежного с ним растянутого элемента, а не сжатого;
- связевые тяжи по сжатым элементам были установлены не во всех шагах ферм.

Известно, что типовое решение для каркасов зданий с фермами, запроектированными с нисходящими опорными раскосами [1], не требует установки элемента, соединяющего первый от опоры узел нижнего пояса с колонной. В случае, когда нижний пояс такой фермы по каким-то причинам соединяется с колонной, работа всей системы изменяется, и в крайней панели нижнего пояса фермы возникает непредусмотренное и нежелательное сжатие.

Кроме того, в проектном решении первого от опоры узла нижнего пояса фермы обследуемого здания отсутствовали горизонтальные элементы, соединяющие смежные панели. В этом узле нижнего пояса фермы образовался дополнительный шарнир, а не жесткий стыковой узел. Стыковой узел нижнего пояса фермы должен быть оформлен по нормам [2], которые предписывают наличие горизонтальных (накладок) и вертикальных (фасонок) пластинок, соединяющих оба элемента (панели) в единое равнопрочное сечение. Тогда свободная часть фасонки не будет работать в качестве шарнира из плоскости, как она сработала в данном случае.

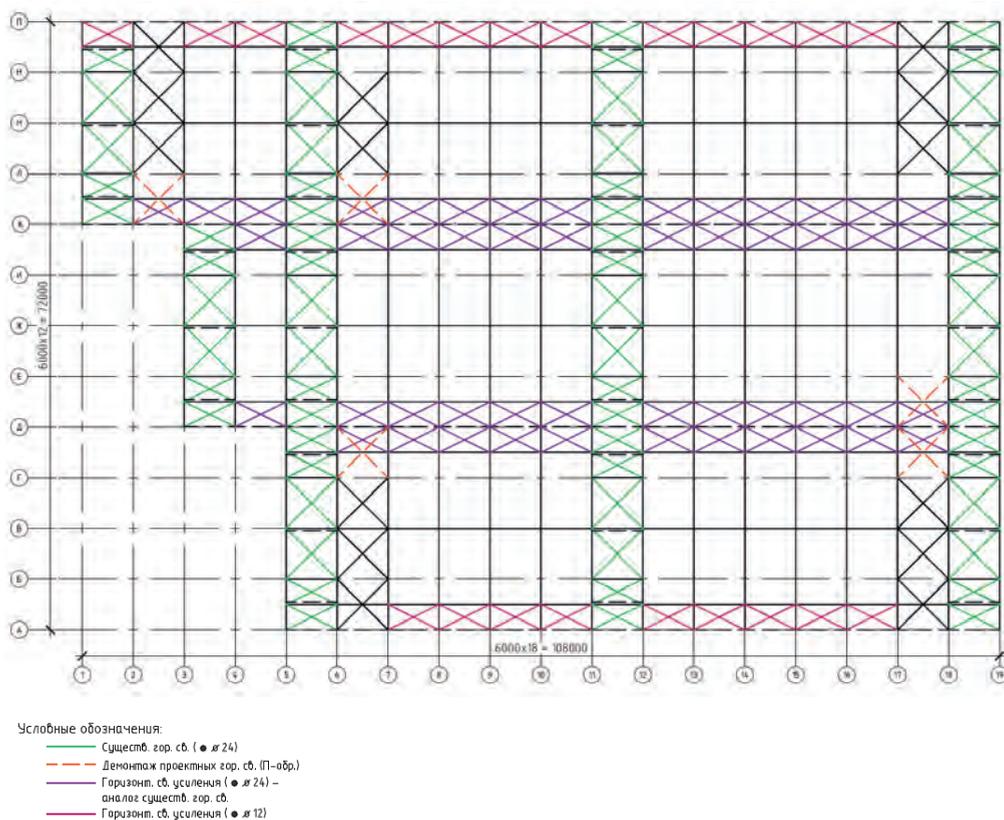


**Рис. 9.** Существующее на декабрь 2018 г. расположение горизонтальных связей по нижним поясам стропильных ферм здания склада

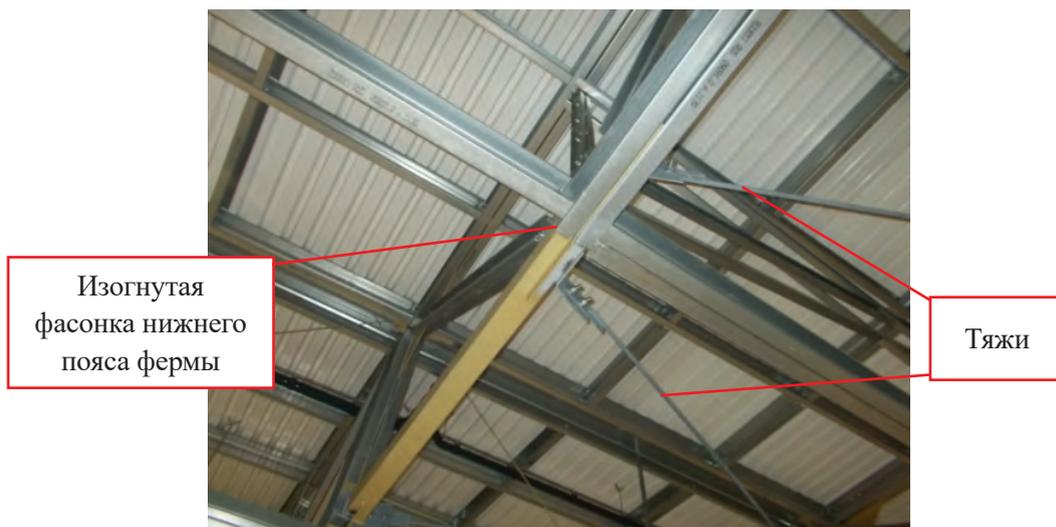
Распорки по первым от опоры узлам ферм в продольном направлении здания (см. рис. 4), с помощью которых предпринята попытка раскрепления нижнего пояса фермы, были прикреплены к растянутым панелям, а не к сжатым. Сжатые панели остались нераскрепленными.

Таким образом, для приведения здания в работоспособное состояние оказалось необходимым:

1. Дополнить систему связей по нижнему поясу продольными горизонтальными связевыми рядами по обеим сторонам средних колонн (рис. 10). При этом элементы крестовых связей должны быть прикреплены к концам именно доборного сжатого элемента нижнего пояса стропильной фермы аналогично уже выполненному усилению из тяжелой круглого сечения с талрепами (рис. 11).



**Рис. 10.** Рекомендации по установке дополнительных продольных горизонтальных связей по нижним поясам стропильных ферм здания склада



**Рис. 11.** Одностороннее прикрепление тяжей к элементам нижнего пояса фермы взамен деформированных связей

После установки новых крестовых связей вдоль средних рядов здания было рекомендовано демонтировать оставшиеся горизонтальные крестовые связи П-образного сечения.

2. В случаях, когда врезанные в доборный элемент нижних поясов ферм фасонки прикрепляются к оголовку колонны не в одной плоскости (по разные стороны от фасонки надколонника, что было зафиксировано при обследовании), от сжимающих усилий (при полной расчетной нагрузке) в крайних панелях нижних поясов смежных пролётов ферм относительно центра колонны возникают крутящие моменты. Установка дополнительных продольных горизонтальных крестовых связей по крайним панелям нижних поясов стропильных ферм здания (при возможном повороте сечения колонны) вызывает в связях растягивающие в одном направлении (и не учитываемые сжимающие – в другом) усилия. Пара этих растягивающих сил относительно центра колонны создаёт удерживающий крутящий момент. При этом условии колонна не будет подвергаться кручению. Расчетами получено, что для удерживания возникшего крутящего момента достаточно, чтобы при максимальной расчетной нагрузке в связях было растягивающее усилие не менее 1,5 т, что может быть достигнуто (при условии наличия положительной расчетной температуры в помещении здания) предварительным натяжением их в процессе монтажа.

### Вывод

Для обеспечения надежности вновь возводимых зданий и сооружений прежде всего необходимо иметь грамотное и проверенное проектное решение, не требующее впоследствии (после монтажа) никаких усилений.

## Библиографический список

1. Серия 1.460.3-14. Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Чертежи КМ. 01.06.1982 г.

2. Металлические конструкции. В томах. Том 1. Общая часть. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова). – М.: АСВ, 1998.

## Авторы:

Михаил Иосифович ФАРФЕЛЬ, канд. техн. наук, заведующий Сектором реконструкции и мониторинга зданий и сооружений Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Mikhail FARFEL, Ph. D. (Engineering), Chief Manager of Reconstruction and monitoring of building and structures Sector, Metal structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Kouchrenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (916) 950-61-29; +7 (499) 170-10-87

Маргарита Ильинична ГУКОВА, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Margarita GUKOVA, Ph. D. (Engineering), Leading Researcher of Metal structures Laboratory TSNIISK named after V.A. Kouchrenko JCC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Farfelmi@yandex.ru

тел.: +7 (909) 628-30-27; +7 (499) 170-10-87

Дмитрий Владимирович КОНДРАШОВ, инж., старший научный сотрудник Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry KONDRASHOV, Senior Researcher of Metal structures Laboratory TSNIISK named after V.A. Kouchrenko JCC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Dkondras@mail.ru

тел.: +7 (926) 292-25-58; +7 (499) 174-73-25

Дмитрий Юрьевич КОНЯШИН, инж., научный сотрудник Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry KONYASHIN, Researcher of Metal structures Laboratory TSNIISK named after V.A. Kouchrenko JCC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: Dkon10@yandex.ru

тел.: +7 (925) 271-00-10; +7 (499) 174-77-93

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГРУНТА, ВМЕЩАЮЩЕГО КОТЛОВАН, НА УСИЛИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ОГРАЖДЕНИЯ КОТЛОВАНА ПРИ СЕЗОННОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF DEFORMATIONS OF THE SOIL BODY ON EFFORTS IN CONSTRUCTIONS OF EXCAVATION SHORING WITH SEASONAL CHANGE OF TEMPERATURE

И. В. ХРИТИН

*Устройство котлована в условиях сезонных перепадов температуры обязывает учитывать влияние этого фактора на изменение напряженно-деформируемого состояния в конструкциях крепления котлована. В статье изложены данные, полученные по результатам проведенных лабораторных экспериментов по выявлению зависимости повышения температуры в распорной системе на конструкции ограждения котлована. Приведены сведения о методике выполнения исследований и о применяемом оборудовании. Установлены зависимости дополнительных усилий в распорках и ограждающей стенке котлована при повышении температуры. Материалы эксперимента сопоставлены с результатами численных исследований.*

*The pit excavation in the conditions of the seasonal temperature changes makes it necessary to take into account the impact of this factor on the change of the stress-strain state in the construction of excavation shoring. The article presents the data obtained from the results of laboratory multivariate experiments to identify the effect of changes in the temperature of the struts of system "soil – shoring – support system of pit". The dependence between changes of the force of pit shoring and changes of temperature of pipe of support system are established. Experimental data are compared with the results of earlier numerical studies.*

## Ключевые слова:

*Геотехнический прогноз, изгибающие моменты в ограждающей стенке, податливость грунта за ограждением котлована, приращения усилий, сезонные изменения температуры, температурные усилия в распорной системе*

## Keywords:

*Bending moments in the pit shoring, geotechnical prediction, increment of forces, seasonal temperature changes, thermal forces in the support system, soil behavior behind the pit*

На строительные конструкции могут воздействовать различные температурные факторы, но к основным можно отнести климатические температурные воздействия.

Как уже отмечалось в ранее выполненных работах [11, 12], период производства работ по строительству подземной части современного здания с многоуровневой автостоянкой в большинстве случаев составляет не менее одного года, что определяет необходимость учитывать воздействие сезонных изменений температуры на напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «конструкция ограждения котлована — массив грунта». Следует отметить, что в условиях средней полосы России сезонный перепад температуры распорок, не защищенных теплоизоляцией, может достигать 60 °С. Под воздействием повышения температуры окружающего воздуха в теплые периоды года в распорках, смонтированных в осенне-зимний периоды года, при удлинении увеличиваются внутренние усилия, возникающие из-за сопротивления окружающего котлован массива грунта. При обратной ситуации, когда в распорной системе, смонтированной в летний период, в осенне-зимний период распорки укорачиваются, возможны дополнительные горизонтальные перемещения ограждения котлована и осадки окружающей застройки.

Для зданий из железобетонных, металлических, каменных и армокаменных конструкций вопрос учета температурных воздействий в строительный и эксплуатационный периоды в научно-технической [1-3] и нормативной литературе достаточно широко изучен и освещен. В то же время температурные воздействия на системы конструкций ограждения котлованов, включающих массив грунта, изучены еще недостаточно.

Необходимость учета влияния сезонных изменений температуры в системах крепления котлованов показывают и результаты современных, в т.ч. экспериментальных исследований отечественных [4-8] и зарубежных авторов [9] и [10]. Так, в г. Франкфурт-на-Майне при повышении температуры на 20 °С в котловане глубиной 16 м с четырьмя ярусами распорок зафиксировано увеличение усилий в распорках до 60% (рис. 1). При строительстве станции метро в г. Перт в котловане глубиной 13 м с тремя ярусами распорок из труб  $\varnothing 406 \times 9,5$  мм и  $\varnothing 1016 \times 16$  мм средней длиной 23,5 м дополнительные усилия в распорке верхнего яруса возросли на 30% при повышении температуры на 25 °С (рис. 2).

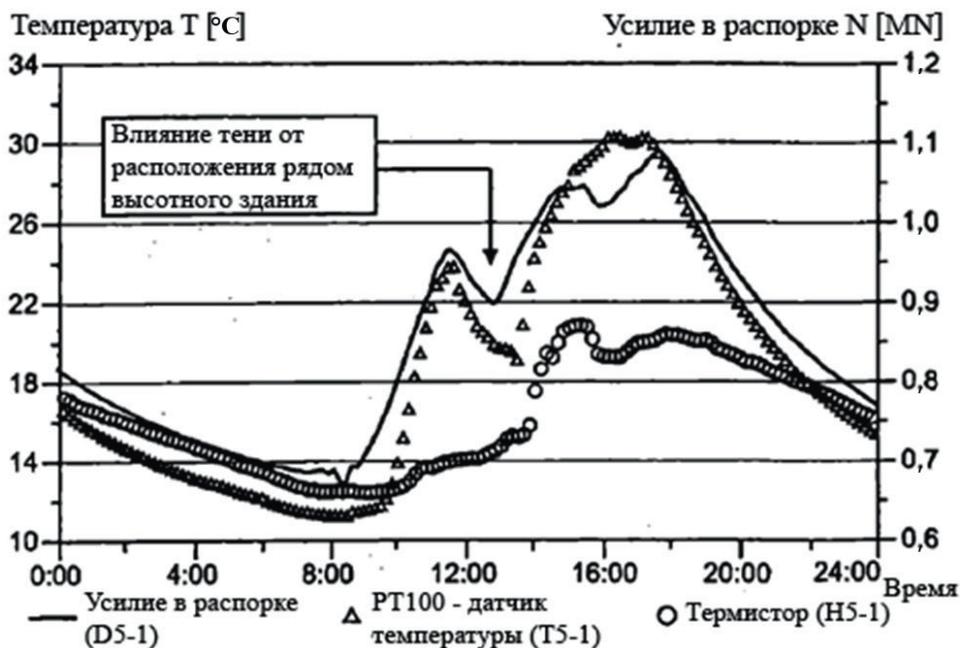


Рис. 1. График изменения температуры и продольных усилий в распорках ограждения котлована по данным натуральных испытаний (строительство Main Tower в г. Франкфурт-на-Майне, Германия) [9]

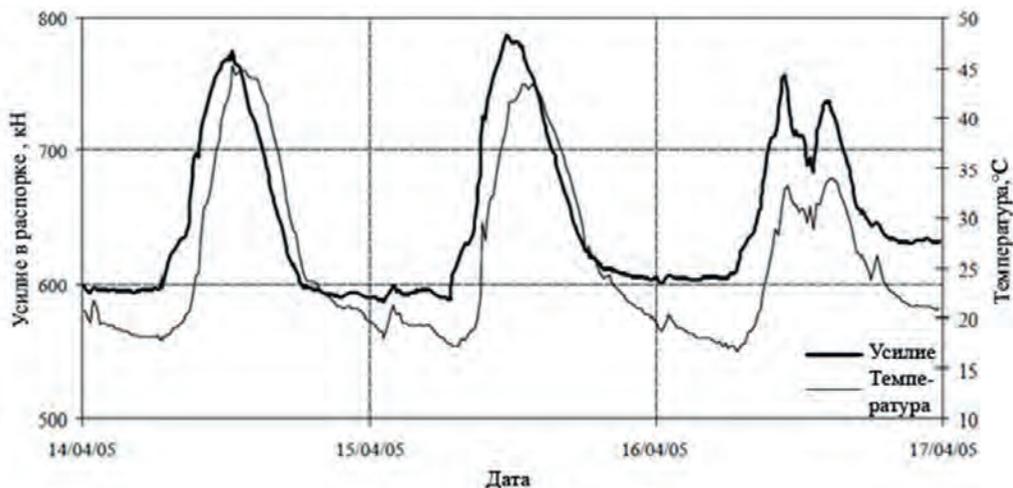


Рис. 2. График изменения температуры и продольных усилий в распорках ограждения котлована по данным натуральных испытаний (строительство Esplanade Station в г. Перт, Западная Австралия) [10]

В настоящее время, как правило, расчеты распорок на температурные воздействия производятся без учета податливости грунтового массива, по схеме с неподвижно-защемленными опорами. Однако проведенными ранее авторами статьи численными исследованиями [11] установлено, что за счет деформаций массива грунта за стенками котлована дополнительные усилия в распорках минимум в 2,5 раза меньше. Таким образом, проектирование осуществляется с существенным перерасходом материала.

Для исследования характера действительных условий работы конструкций ограждения котлована летом 2017 г. в большом грунтовом лотке Экспериментального корпуса НИИОСП им. Н.М. Герсванова был выполнен эксперимент на крупномасштабной физической модели конструкции ограждения котлована. Размеры грунтового лотка в плане — 14×4 м, высота 6,0 м. Грунтовые условия — песчаные грунты нарушенной структуры.

Физическое моделирование позволило выполнить исследование на модели и при этом сохранить физическую природу изучаемого явления для прототипа. Прототипом был выбран котлован глубиной 6,0 м с ограждающей стенкой из труб  $\varnothing 426 \times 8$  мм, погруженных с шагом 1,0 м. На глубине 1,5 м крепление ограждающей стены обеспечено одним ярусом распорок из труб  $\varnothing 426 \times 8$  мм с шагом 4,5 м. При моделировании котлована-прототипа принят масштабный коэффициент 1:3. Выбор масштаба модели, а также жесткости ограждающей стены и распорок основывался на соблюдении простого подобия относительных расчетных деформаций модели и котлована-прототипа (рис. 3).

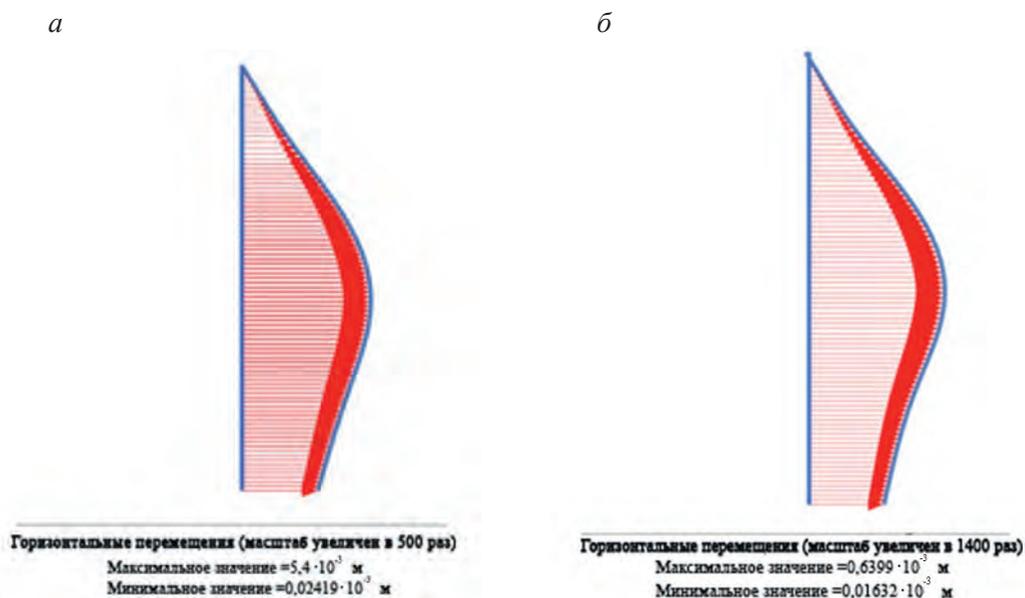


Рис. 3. Расчетные перемещения (эпюры) ограждающих стенок котлована-прототипа (а) и модели (б) котлована

В итоге котлован для физического моделирования принят глубиной 2 м и шириной 3 м, с устройством ограждающей стены из стальных труб диаметром 89 мм с шагом 0,2 м. Распорки на глубине 0,5 м выполнены из аналогичных труб, а обвязочные пояса — из сваренных в коробку швеллеров №12 (рис. 4 и 5).

В ходе экспериментов было предусмотрено моделирование для двух типов ограждающих стен: сплошной и из отдельных элементов. С этой целью на одной половине модели котлована стенка была реализована с забиркой из сплошного металлического листа со стороны грунта (зона А), на другой половине — без забирки (зона В).

Для предотвращения разуплотнения грунта на контакте с ограждающей стенкой и забиркой их погружение осуществлялось задавливанием статической нагрузкой.

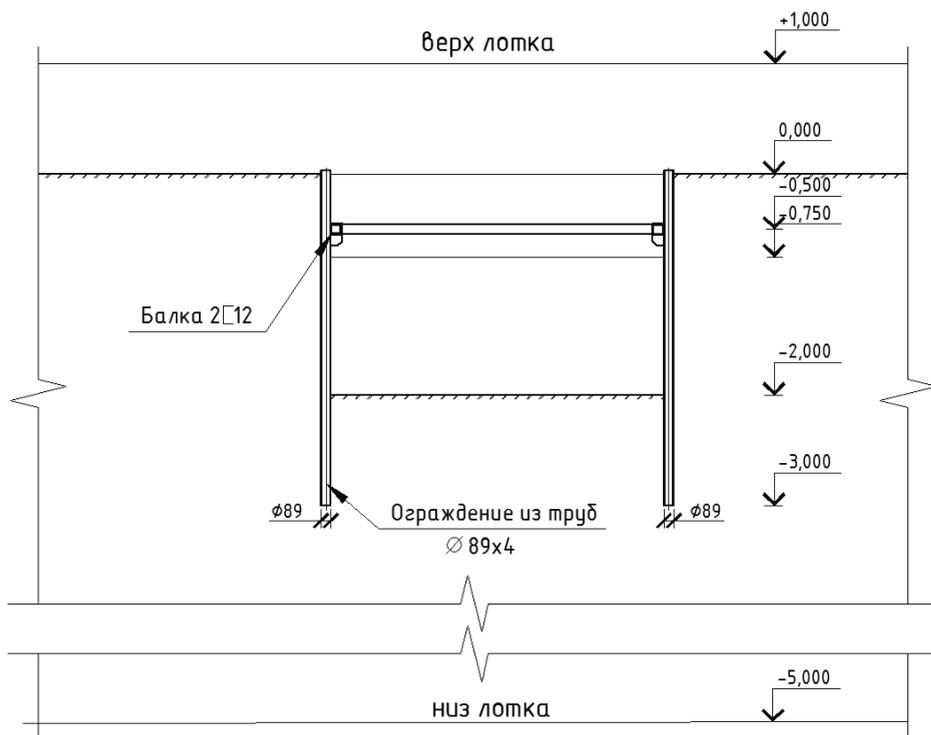


Рис. 4. Схема модели котлована

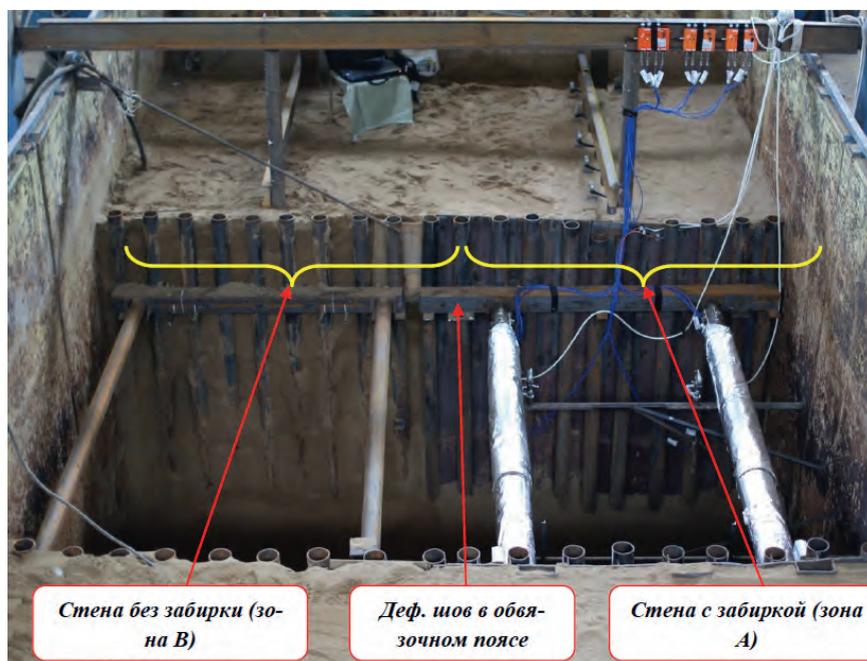


Рис. 5. Общий вид модели (опытного) котлована

Температурное состояние распорок на модели изменялось при помощи греющего кабеля, который навивался на каждую распорку с последующей теплоизоляцией материалом базальт-картон. Уровень изменения температуры нагрева распорок (до 60 °С) регулировался установленной на распорке системой, состоящей из реле и датчика температуры.

Дополнительно были проведены испытания с применением домкратов, моделирующих удлинение распорок длиной превышающей фактическую длину распорок (15 м) в том же диапазоне изменения температуры.

Нагрев распорок в ходе эксперимента осуществлен ступенчато по 10 °С и синхронно. Моделирование изменения длины распорок при работе с домкратами выполнено также ступенчато с шагом по 1,8 мм, что соответствовало температурному удлинению распорки при перепаде температуры 10 °С.

На каждой ступени испытаний был предусмотрен контроль: усилий в распорках и ограждении, горизонтальных перемещений ограждающих стен, а также за вертикальные перемещения поверхности грунта за ограждением.

Контроль усилий в конструкциях ограждения котлована осуществлен при помощи автоматизированной системы мониторинга напряжений, сформированной на базе оборудования фирмы СИТИС (Россия). Система позволила снимать показания как по требованию (в режиме реального времени), так и с заданным промежутком времени. Состав системы: струнные тензометры, даталоггеры «Игла», ноутбук, программное обеспечение и модуль беспроводной сети. Тензометры устанавливались на каждую распорку (по 3 рабочих тензометра, равномерно распределённые по окружности в одном сечении на 4, 8 и 12 часов и на трубы ограждающей стенки в уровне максимального расчетного момента (4 тензометра, по одному тензометру с противоположных сторон котлована в створе с каждой распоркой). Для учета температурных деформаций струны рабочего тензометра и связанных с этим погрешностей при определении напряжений в конструкциях были установленные контрольные тензометры без нагрузки.

Вертикальные перемещения поверхности окружающего опытный котлован массива грунта фиксировались по осадочным маркам — металлическим пластинам размером 50×50×4 мм при помощи индикаторов часового типа, установленных с шагом 0,4 м в перпендикулярном ограждению котлована направлении.

Горизонтальные перемещения стен опытного котлована измерялись прогибомерами: электронными (ПСК-МГ4) и аналоговыми (БПАО).

Измерительное оборудование, установленное в опытном котловане, приведено на рис. 6.

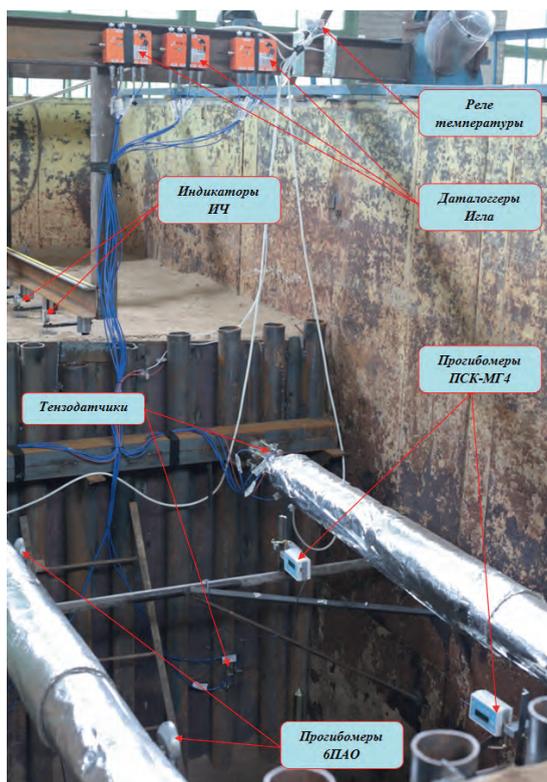


Рис. 6. Измерительное оборудование (общий вид)

Проведенные эксперименты позволили определить зависимости дополнительных усилий в конструкциях опытного котлована от повышения температуры распорок.

По данным эксперимента было проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния ограждающей конструкции опытного котлована в пространственной постановке в программе PLAXIS (рис. 7).

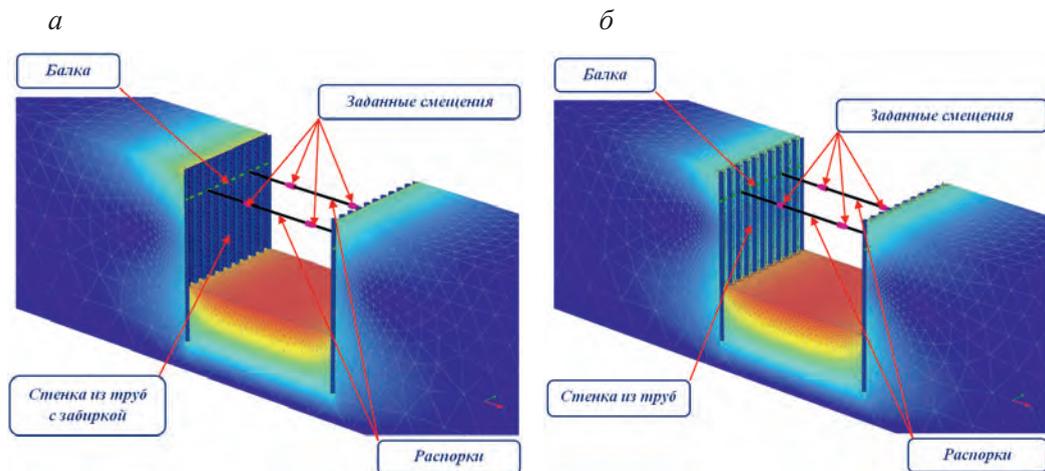


Рис. 7. Расчетная схема для ограждающих стен: а — сплошной; б — из отдельных элементов

Сопоставив результаты эксперимента и численных расчетов, установили, что в среднем усилия в конструкциях ограждения котлована от действия статических нагрузок при повышении температуры распорок возрастают: на 50% — продольные усилия в распорках; на 10% — изгибающие моменты в ограждающей стенке. Уместно отметить, что усилия в распорках составляют до 0,14 от расчетных значений, определенных по схеме с неподвижно-жесткими опорами. Данные, полученные на опытном котловане, подтвердили, что дискретная ограждающая стена в сравнении со сплошной при прочих равных условиях обладает большей податливостью. Температурные усилия в распорках с дискретной ограждающей стеной ниже на 15-25% (рис. 8 и 9).

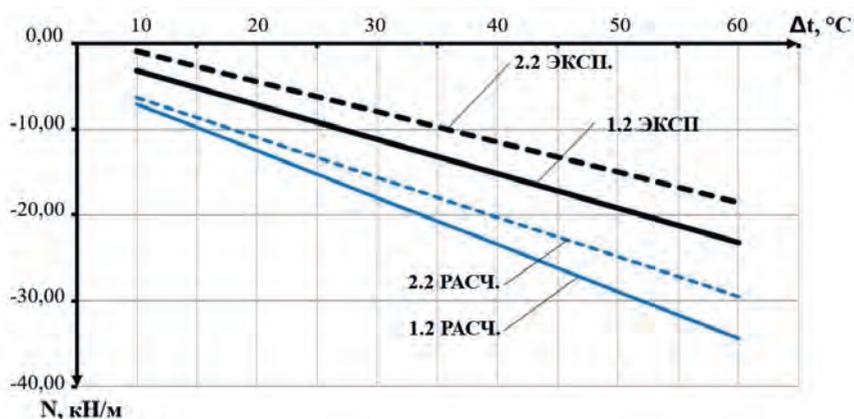


Рис. 8. Зависимости усилий в распорках при повышении температуры для ограждающих стен: 1.2 – сплошной; 2.2 – дискретной

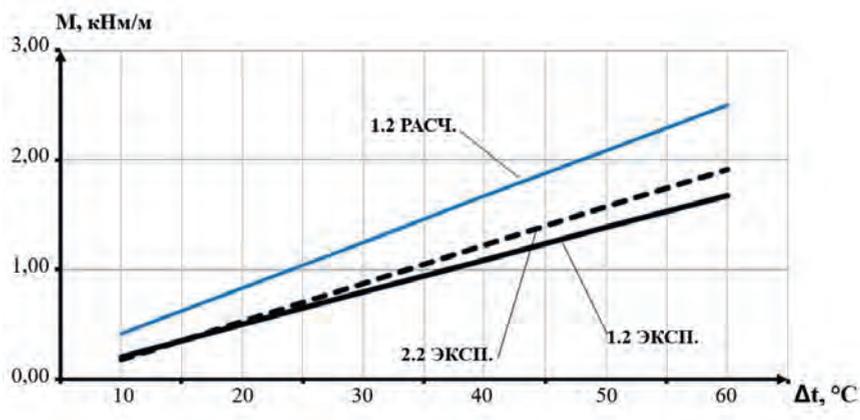


Рис. 9. Зависимости изгибающих моментов в ограждении при изменении температуры распорок для ограждающих стен: 1.2 – сплошной; 2.2 – дискретной

### Заключение

Экспериментальные исследования позволили получить данные, характеризующие НДС ограждающих конструкций котлованов, подверженных температурным воздействиям, и подтвердили необходимость учитывать дополнительные «температурные» усилия в распорной системе и ограждающей стене котлованов.

Результаты эксперимента подтверждают, что дополнительные усилия в распорках, с учетом деформаций грунта за ограждающей стеной котлована существенно меньше усилий, которые можно определить по упрощенной схеме с неподвижными опорами, используемой в расчетах в настоящее время.

Определение при помощи современных программных комплексов дополнительных усилий в конструкциях ограждения котлована при сезонном изменении температуры, позволяющих учесть работу системы «ограждающая конструкция котлована — массив грунта» дает возможность повысить качество проектирования и существенно сократить материалоемкость и объемы строительно-монтажных работ при устройстве котлованов.

### Библиографический список

1. *Пантелеев Н.Н., Безземмер Д.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния цилиндрических зданий при температурных воздействиях // Известия высших учебных заведений. — 2011. — №11. — С. 105-112.
2. *Буадзе И.Э., Гагнидзе И.Ш., Ксениди В.С.* Об особенностях расчета крупнопанельных зданий на температурные воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. — 2014. — №3. — С. 39-42.
3. *Шапиро Г.И., Коровкин В.С.* К вопросу о напряженно-деформированном состоянии жилых и общественных зданий при температурных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. — №12. — С. 5-8.
4. *Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачева О.А.* Особенности строительства Турецкого торгового центра // Основания и фундаменты. — 2003 – №2. – С. 6-8.
5. *Петрухин В.П., Поспехов В.С., Шулятьев О.А.* Опыт проектирования и мониторинга глубокого котлована // Сборник научных трудов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. – 2008 – Выпуск 99. – С. 139-148.
6. *Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачева О.А.* Опыт проектирования и мониторинга подземной части Турецкого торгового центра // Основания и фундаменты. – 2004. – №5. – С. 2-8.
7. *Шулятьев О.А., Поспехов В.С., Шулятьев С.О.* Из практики проектирования ограждающей конструкции и фундаментной плиты административного комплекса зданий с четырехуровневой подземной автостоянкой // Жилищное строительство. – 2012. – №9. – С. 50-53.
8. *Шулятьев О.А., Поспехов В.С.* Анализ работы распорной системы ограждения глубокого котлована в условиях изменения температуры // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – №4. – С. 50-54.
9. *Moormann Ch.* In-situ monitoring and analysis of braced excavations with irregular

shape // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Kastner, Emeriault, Dias, Guilloux (eds), Lyon, 2002.

10. Zaremba N. L. Experiences in strut load monitoring in excavations for the new metrorail city project. School of Civil and Resource Engineering / The University of Western Australia, 2007.

11. Хритин И.В. Сезонные изменения усилий в ограждении котлованов // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 10. — С. 85-89.

12. Хритин И.В. Экспериментальные исследования влияния сезонных изменений температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов // Вестник гражданских инженеров. — 2017. — № 2. — С. 154-162.

## Автор

Илья Владимирович ХРИТИН, старший научный сотрудник Лаборатории обследования и усиления конструкций фундаментов НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ilya KHRITIN, senior researcher of Examination and strengthening of structures foundations Laboratory of NIIOSP named after N.M. Gersevanov Research Center of Construction, Moscow

e-mail: ilyas-niiosp@yandex.ru

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ В ГРУППЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОТЛОВАНА ПОД ЗАЩИТОЙ ОГРАЖДЕНИЯ В ВИДЕ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ»

## RESEARCH OF GROUP SOIL ANCHORS DURING THE DEVELOPMENT OF THE PIT WITH 'WALL IN TRENCH'

Р. И. ЧЕРНОВ

В. А. КИТАЙКИН

Р. И. КОНОВАЛОВ

Е. В. ЧЕЛИКОВА

*Рассмотрены актуальные вопросы сохранения устойчивости и прочности конструкции ограждения котлована при разрушении одного из элементов крепления. Получено соотношение усилий в конструктивных элементах ограждения котлована при его нормальной работе и при возникновении аварийной ситуации, сделан вывод о степени влияния выхода из строя одного из элементов крепления на общую устойчивость ограждения котлована и необходимость учета этого фактора при проектировании.*

### Ключевые слова:

*Аварийная ситуация, анкерное крепление, захваты, ограждение котлована, основное сочетание нагрузок, особое сочетание нагрузок, подпорное сооружение, прогрессирующее обрушение, распорная система, специальные технические условия, «стена в грунте», численное моделирование.*

*Topical issues of preserving the stability and strength of the cofferdam construction when one of the fastening elements are destroyed. As a result of the work done, the correlation of efforts in the structural elements of the cofferdam during its normal operation and in the event of an emergency situation is given. Conclusion on the degree of influence on the overall stability of the cofferdam when one of the fastening elements is failure and the need to take this factor in the design is made.*

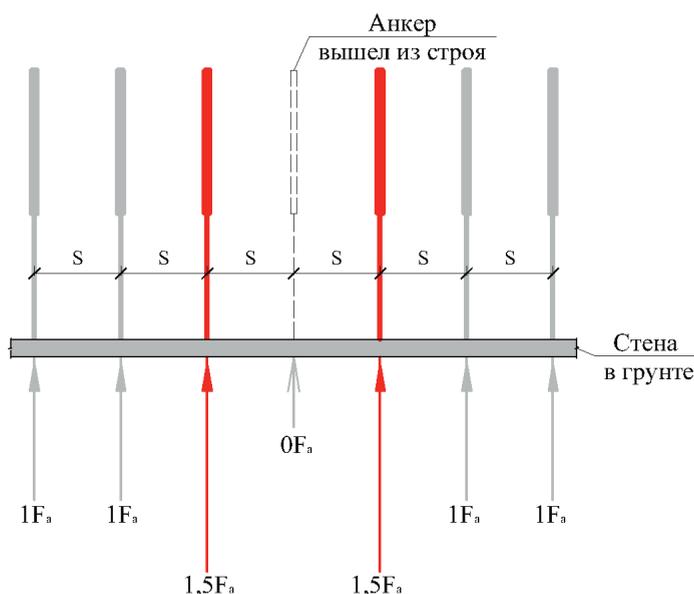
### Key words:

*Anchor, basic load combination, cofferdam, division, emergency situation, numerical simulation, progressive collapse, retaining wall, special load combination, strut system, special technical regulations, «wall in the ground».*

В 2016-2017 гг. в рамках научно-технического сопровождения проектирования одного из объектов г. Москвы сотрудники НИИОСП им. Н.М. Герсеванова встретились с задачей прогноза распределения усилий в отдельно взятых грунтовых анкерах с учетом их групповой работы при разработке глубокого котлована. Котлован относился к уникальным сооружениям согласно ст. 48.1 п. 2 Градостроительного Кодекса РФ [1] (глубина более 15 м), в связи с чем при его проектировании рассматривалась аварийная расчетная ситуация (ст. 16 п. 6 [2]), имеющая малую вероятность возникновения и небольшую продолжительность, но являющаяся важной в отношении последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации (расчет на прогрессирующее обрушение).

В качестве одной из таких ситуаций был рассмотрен выход из строя грунтового анкера. Стандартным инженерным подходом при подобных ситуациях является допущение, что выход из строя одного анкера с расчетным усилием  $F_a$  приводит к равномерному распределению усилий между соседними анкерами, добавляя половину от его усилия к левому и половину — к правому анкеру, в результате чего итоговое (аварийное) усилие, приходящееся на левый и на правый анкера, составит (рис. 1):

$$F_{\text{авар}}^{\text{лев}} = F_{\text{авар}}^{\text{прав}} = F_a + 0,5F_a = 1,5F_a.$$



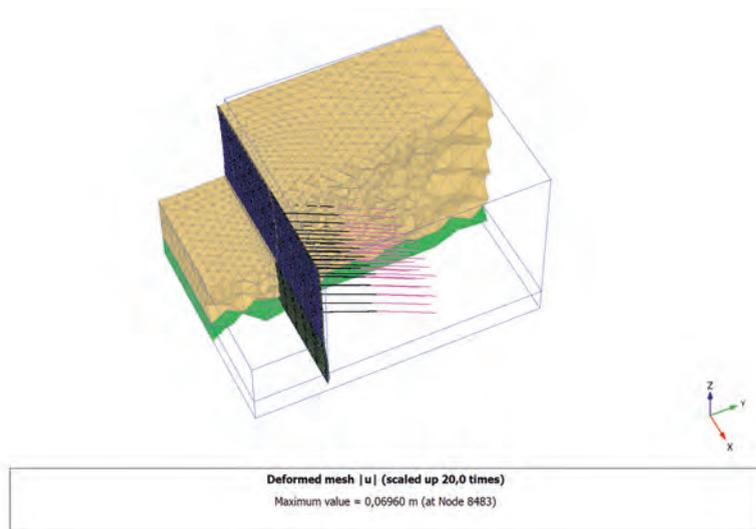
**Рис. 1.** Схема распределения усилий в группе анкеров при отказе одного из них, обычно принимаемая при проектировании

Исходя из такого допущения, проектирование и контрольные испытания грунтовых анкеров согласно [5] выполняются на нагрузку, в полтора раза превышающую расчетное значение, что является необходимым для обеспечения надежности ограждения котлована.

Однако результаты выполненных расчетов существенно отличались от указанного

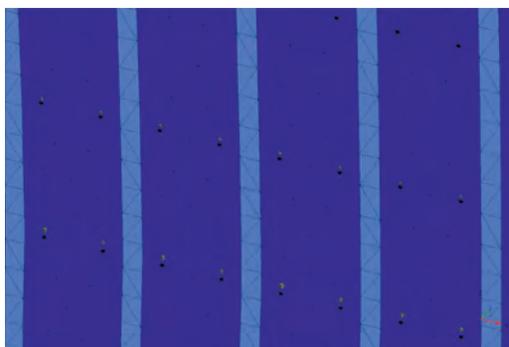
допущения, в связи с чем сотрудниками НИИОСП было принято решение продолжить исследовательскую работу по изучению групповой работы грунтовых анкеров.

Для решения поставленной задачи в программном комплексе PLAXIS 3D [7] выполнена расчетная модель фрагмента котлована глубиной 15 м. Размер расчетной схемы составил  $40(b) \times 40(h) \times 60(L)$  м (рис. 2).



**Рис. 2.** Общий вид расчетной модели PLAXIS 3D

Ограждение котлована смоделировано в виде «стены в грунте» толщиной 800 мм с заглублением на 8 м ниже дна котлована. «Стена в грунте» состоит из 13 отдельных захваток шириной по 3 м каждая, не связанных между собой, т.е. в расчетной модели каждая захватка работает отдельно, и таким образом в задаче мы пренебрегли усилиями, передающимися по стыку захваток (рис. 3). Такой подход близок к реальной работе ограждения котлована в виде «стены в грунте» – ввиду технологических особенностей горизонтальное армирование «стены в грунте» не производится, хотя некоторое усилие между захватками все же передается по бетону благодаря особой конфигурации стыка захваток и наличия сил трения.



**Рис. 3.** Модель стыка захваток (в стыках заданы элементы с почти нулевой жесткостью)

Расчетная модель выполнена для трех вариантов инженерно-геологических условий, характерных для г. Москвы (табл. 1):

- вариант 1 – однородная толща грунтов на всю глубину расчетной схемы, с физико-механическими свойствами, характерными для песков средней крупности, средней плотности, с уровнем подземных вод, расположенным с глубины 4 м от поверхности земли и далее до низа ограждения котлована;
- вариант 2 – однородная толща грунтов на всю глубину расчетной схемы, с физико-механическими свойствами, характерными для песков средней крупности, средней плотности, без подземных вод;
- вариант 3 – однородная толща грунтов на всю глубину расчетной схемы, с физико-механическими свойствами, характерными для мягкопластичных глинистых грунтов без подземных вод.

Таблица 1

### Принятые для расчета характеристики грунтов

№ варианта	Наименование грунта	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\nu$	$e$	$c$ , МПа	$\varphi$ , °	$E$ , МПа
1	Песок средней крупности, средней плотности, водонасыщенный, УПВ – 4 м от поверхности	18,0	0,3	0,6	1	30	25
2	Песок средней крупности, средней плотности, неводонасыщенный						
3	Глина мягкопластичная	18,9	0,4	0,9	28	20	23

Устойчивость ограждения котлована обеспечивается устройством трех ярусов крепления. В исследовании рассмотрены три варианта конструкций крепления:

- вариант 1 (рис. 4) – крепление котлована тремя ярусами преднапрягаемых грунтовых анкеров. Конструкция анкеров – тросовые, жесткость анкера эквивалентна 4 канатам К7  $\varnothing 15,2$  мм. Длина тяги анкера принята 11 м, длина корня анкера 6 м, диаметр корня 300 мм, угол наклона анкера к горизонту 35°, усилие предварительного натяжения 32 т на анкер, средний шаг анкеров 1,5 м (два анкера на захватку);

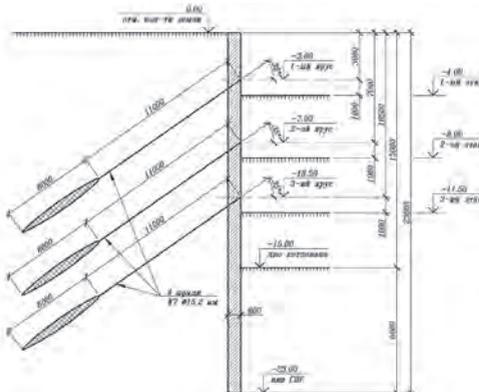


Рис. 4. Расчетная схема к варианту 1

- вариант 2 (рис. 5) – крепление котлована выполняется тремя ярусами преднапрягаемых грунтовых анкеров. Конструкция анкеров – стержневые ТВШ типа «Атлант-джет» (или аналогичные), жесткость анкера эквивалентна жесткости стальной штанги  $\varnothing 52/26$  мм. Длина анкера принята 17 м, диаметр корня 300 мм, угол наклона анкера к горизонту  $35^\circ$ , усилие предварительного натяжения 32 т на анкер, средний шаг анкеров 1,5 м (два анкера на хватку);

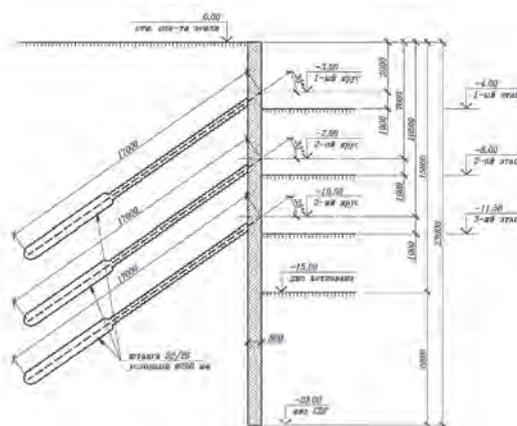


Рис. 5. Расчетная схема к варианту 2

- вариант 3 (рис. 6) – рассмотрен вариант крепления котлована стальными распорками. В модели не задавались реальные параметры распорной системы, так как задачей этого варианта является анализ распределения усилий в ограждении котлована и между соседними анкерами (распорками) без учета влияния грунтовых условий на их несущую способность, т.е. фактически в варианте 3 смоделированы те же грунтовые анкера и с тем же шагом, что и в вариантах 1, 2, но без натяжения и с исключением влияния грунтовых условий на их несущую способность.

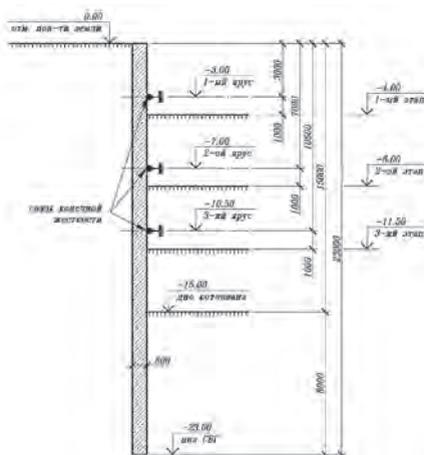
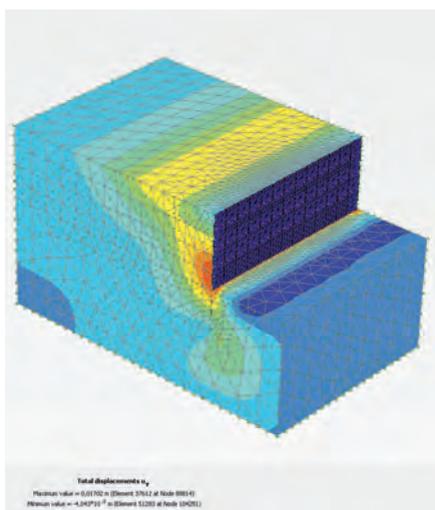


Рис. 6. Расчетная схема к варианту 3

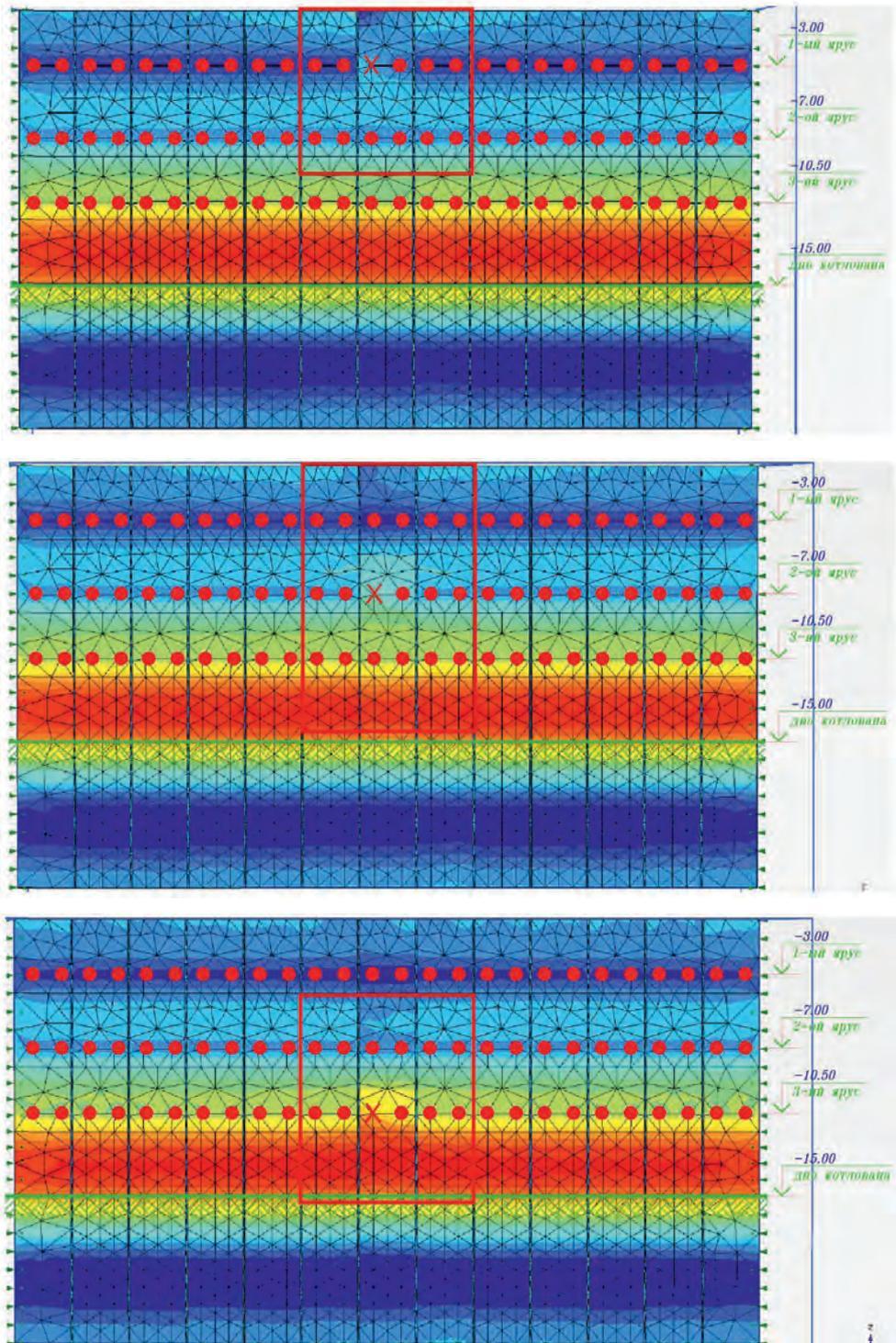
В расчетной модели использованные следующие типы материалов:

- грунтовые условия – нелинейная модель грунта Hardening Soil;
  - «стена в грунте» – упругий элемент типа «Plate»;
  - корень тросового анкера, а также для всей длины стержневых анкеров – упругий элемент типа «Pile»;
  - тяга тросового анкера – упругая узловая связь, работающая только на растяжение «node-to-node»;
  - распорки – связь конечной жесткости, работающая на сжатие.
- Расчет выполнялся в несколько этапов, с учетом последовательности разработки котлована, характерной для подобных объектов:
- разработка котлована на глубину 4 м от поверхности земли;
  - включение анкеров или распорок 1-го яруса, задание предварительного натяжения (для анкеров);
  - разработка котлована на глубину 8 м от поверхности земли;
  - включение анкеров или распорок 2-го яруса, задание предварительного натяжения (для анкеров);
  - разработка котлована на глубину 11,5 м от поверхности земли;
  - включение анкеров или распорок 3-го яруса, задание предварительного натяжения (для анкеров);
  - разработка котлована на окончательную глубину 15 м.

После разработки котлована (рис. 7) выполнялось поочередное «выключение» одного анкерного или распорного элемента средней захватки 1-го, 2-го или 3-го яруса. На каждом этапе выполнялся анализ изменения перемещений и усилий в конструкции ограждения котлована, а также в анкерах или распорках в пределах всей расчетной схемы.



**Рис. 7.** Общий вид деформированной расчетной схемы на последнем этапе разработки котлована

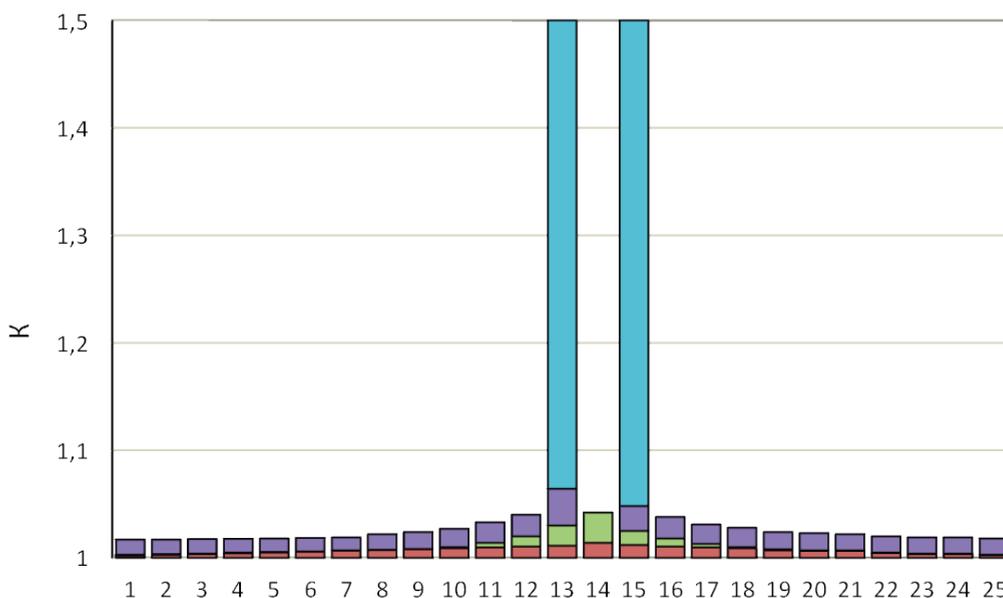


**Рис. 8.** Изменение изгибающих моментов «стены в грунте» при отключении анкера/распорки 1-го, 2-го или 3-го яруса в средней захватке (рамкой выделен участок изменения изополей)

По результатам выполненных расчетов установлено, что во всех рассмотренных вариантах отключение одного из анкеров не приводит к существенному изменению перемещений и усилий в конструкции ограждения котлована и соседних анкеров. Изменения изгибающих моментов (рис. 8) и перемещений настолько незначительны, что они практически незаметны на изополях, а усилие от выключенного элемента (анкера или распорки) распределяется на множество соседних анкеров, причем сумма «добавочного» усилия на всех соседних анкерах меньше, чем усилие, которое приходилось на отключенный анкер, а максимальное увеличение нагрузки на соседний элемент не превышает 6%, что радикально отличается от принятой практики проектирования. Характерный график распределения усилий в анкерах одного из ярусов крепления приведен на рис. 9.

Полученный эффект может быть обусловлен множеством факторов, например:

- горизонтальное давление грунта и подземных вод меньше, чем суммарное усилие натяжения анкеров;
- грунтовые воды повышают сцепление грунтового массива, снижая горизонтальное давление на ограждающую конструкцию;
- иные причины, требующие дополнительного исследования.



**Рис. 9.** Распределение усилий на соседние анкера при выключении из работы центрального анкера (сравнение результатов принятой практики проектирования и результатов выполненного расчета):

- – распределение усилий на анкера 1-го яруса при отключении среднего анкера 3-го яруса;
- – то же 2-го яруса;    ■ – то же 3-го яруса;    ■ – распределение усилий на анкера в современной практике проектирования

Далее приводится сводная таблица 2, в которой представлены обобщенные результаты изменения усилий и перемещений по их максимальным значениям, полученным

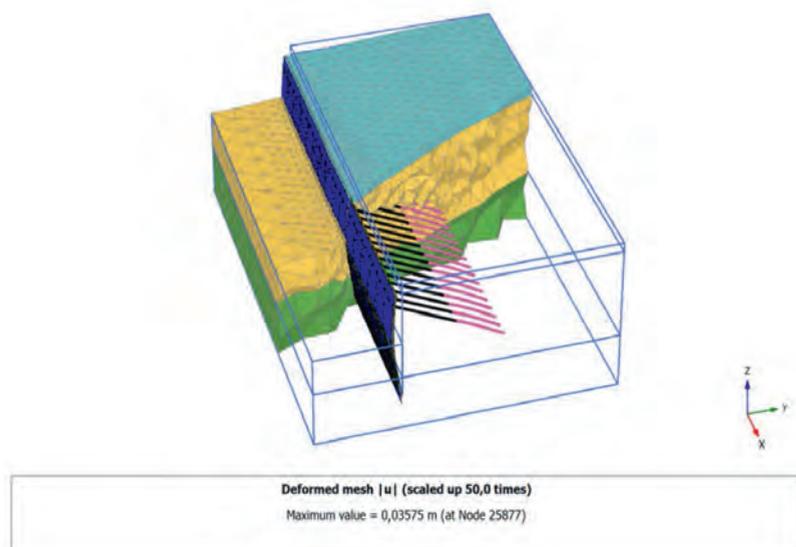
по всем расчетам (в таблице указано, на сколько процентов возрастает усилие и перемещение в конструкциях при отключении одного из анкеров по отношению к нормальной работе ограждения котлована со всеми анкерами).

Таблица 2

**Сводная таблица увеличения усилий и перемещений, %, по их максимальным значениям**

№ пп	Наименование	По столбцам: отключение 1-го/2-го/3-го яруса								
		Песок водонасыщенный			Песок сухой			Глина мягкопластичная		
1	Горизонтальное перемещение СВГ, мм	1,9	4,1	14,0	8,8	7,8	11,2	0,5	1,5	3,0
2	Изгибающие моменты $M_x$ , кН×м/п.м	1,1	4,2	11,0	3,7	3,2	7,6	0,6	5,2	6,9
3	Поперечная сила $Q_z/Q_x$ , кН/п.м	11,8	15,6	19,0	14,2	18,4	18,8	0,9	3,3	10,7
4	Усилие в анкерах 1-го яруса	4,5	4,0	2,1	5,2	4,3	1,9	3,4	2,4	1,0
5	Усилие в анкерах 2-го яруса	3,3	4,9	5,5	3,5	5,3	5,1	2,1	3,2	2,5
6	Усилие в анкерах 3-го яруса	1,2	4,0	6,0	2,4	5,1	5,8	1,0	2,8	3,2
7	Пассивное давление	Увеличение менее 1%								
8	Коэффициент устойчивости	Снижение коэффициента запаса устойчивости пренебрежимо малое								

Для проверки полученных результатов были решены аналогичные задачи с упрощением расчетной схемы – вместо трех ярусов крепления моделировался котлован меньшей глубины с одним ярусом грунтовых анкеров (рис. 10).



**Рис. 10.** Общий вид расчетной схемы с 1-м ярусом грунтовых анкеров

Изменение усилий в «стене в грунте» и перераспределение нагрузки на соседние анкера при выключении одного из них, так же как и в «большой» схеме, не превысило 6-10%.

### **Заключение**

1. Анализ выполненных расчетов показывает, что выход из строя одного анкера любого яруса в рассмотренных инженерно-геологических условиях вызывает увеличение перемещений и изгибающих моментов в конструкции «стены в грунте» не более чем на 11%, увеличение поперечных сил — не более чем на 19%, увеличение усилий в соседних анкерах — не более чем на 6%. Расчетная величина изменения пассивного давления и коэффициента устойчивости также незначительна.

2. Принципиально схема распределения нагрузок на смежные анкера в рассмотренных случаях практически не меняется при изменении конструкции крепления — тросовые или стержневые преднапрягаемые или не преднапрягаемые анкера как с учетом влияния грунтовых условий на их несущую способность (варианты 1, 2), так и без учета этого влияния (вариант 3).

3. Выполненный анализ позволяет заключить, что выход из строя одного анкера (при соблюдении остальных проектных параметров конструкции и проектных значений внешних нагрузок) не должен привести к нарушению прочности, устойчивости или к прогрессирующему разрушению ограждения котлована.

4. Полученные результаты расчетов побуждают поставить вопрос о необходимости разработки адекватной методики расчета на прогрессирующее обрушение ограждающих конструкций котлована с креплением грунтовыми анкерами.

## **Библиографический список**

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 г. №190-ФЗ.
2. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 №384-ФЗ.
3. СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».
4. СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты».
5. СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения основания и фундаменты».
6. СП 381.1325800.2018. «Сооружения подпорные. Правила проектирования».
7. PLAXIS 3D. Руководство пользователя. 2011 г.

## Авторы:

Руслан Игоревич ЧЕРНОВ, главный инженер проектов отдела проектирования НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ruslan CHERNOV, head engineer of Project department, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: chernov@niiosp25.ru

тел.: +7 (499) 170-27-02; +7 (499) 170-63-12

Вячеслав Анатольевич КИТАЙКИН, начальник отдела проектирования НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vyacheslav KITAYKIN, head of Project department, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

тел.: +7 (499) 170-27-02

Роман Игоревич КОНОВАЛОВ, старший инженер отдела проектирования НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Roman KONOVALOV, engineer of Project department, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

тел.: +7 (499) 170-27-02

Екатерина Владимировна ЧЕЛИКОВА, старший инженер отдела проектирования НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ekaterina CHELIKOVA, engineer of Project department, NIIOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

тел.: +7 (499) 170-27-02

# НЕКЛАССИЧЕСКАЯ НАУКА. ОТ ПРЕДМЕТОВ К ПРОЦЕССАМ

## NONCLASSICAL SCIENCE. FROM OBJECTS TO PROCESSES

В. И. НИКИТИН, канд. ист. наук

*Раскрываются причины и содержание одной из переломных эпох в развитии науки, по существу означавшей научную революцию в познании человеком окружающей его объективной реальности. Показано, как в результате выдающихся открытий второй половины XIX – первой четверти XX вв. современная наука перешла от изучения материально-предметных объектов к исследованию фундаментальных процессов в природе и обществе. Делается вывод, что современная наука, отказавшаяся от ньютоновских линейных моделей, стала характеризоваться фундаментальным программным дуализмом.*

### Ключевые слова:

*Вероятность, время, движение, дополненность, квант, масса, неопределенность, относительность, пространство, поле, электродинамика, энергия*

*The reasons and the content of one of the critical epochs in the development of science, essentially meaning a scientific revolution in human cognition of the objective surrounding reality. It is shown that as a result of the outstanding discoveries of the second half of the XIX century – first quarter of the XX century modern science has moved from the study of material objects to the study of fundamental processes in nature and society. It is concluded that modern science has abandoned the Newtonian linear models, and is characterized by a fundamental programmatic dualism.*

### Key words:

*Complementarity, electrodynamics, energy, field, mass, motion, probability, quantum, relativity, space, time, uncertainty*

На протяжении практически двух столетий возникшая в конце XVII в. наука в представлении ученых развивалась как бы по восходящей экспоненте, постоянно добавляя к полученным всё новые и новые знания, пополняя и наращивая уже имеющийся научный багаж.

Во второй половине XIX в. сложилась даже особая, так называемая кумулятивная теория, создателями которой считались О. Конт, Г. Спенсер и, особенно, П. Дюгем, который утверждал, что развитие науки всегда происходило абсолютно непрерывно, вне зависимости от споров и дискуссий среди ученых, т.е. кумулятивно.

В те времена наука развивалась как бы отдельными лакунами: физика, механика

и оптика сами по себе, геология и биология – тоже, химия только зарождалась и т.д., и т.п. В научном познании доминировали первые три отрасли знания, особенно механика, опиравшаяся на идеи И. Ньютона и заложившая основы многих технических наук на базе бурно развивавшегося в те годы промышленного капитализма.

Мир с научных позиций рассматривался как некий единый механический организм, в котором безраздельно правили законы механики. Предпринимались даже попытки создать особую «социальную механику», или некую «социальную физику» для обоснования процессов, протекающих в обществе.

Ученым и философам того времени наука представлялась в виде своего рода пирамиды, символизирующей цельную непротиворечивую картину мира, основанием которой выступали теоретические идеи И. Ньютона. Задача науки мыслилась как поступательное восхождение по ступеням знаний к вершине абсолютной истины (абсолютного знания), а философии – к абсолютному разуму.

Однако два выдающихся открытия в физике в конце XIX в. нанесли сокрушительный удар по ньютоновской модели построения мира. Это теория электромагнитного поля Джеймса Максвелла и открытие радиации, на базе которой в дальнейшем возникла квантовая теория.

Однако эти открытия не возникли случайно: они опирались на целую плеяду выдающихся научных достижений XIX столетия. Одни из них в дальнейшем не прошли проверку временем и были отброшены за ненадобностью; другие вроде бы способствовали упрочению ньютоновской модели науки; третьи явно не соответствовали ей или вступали с ней в неразрешимое противоречие. Достаточно лишь перечислить несколько примеров в подтверждение вышесказанного [2].

Так, в 1804 г. Т. Юнгом была выдвинута идея неподвижного, не увлекаемого Землей эфира, который якобы заполняет всё пространство Вселенной и не позволяет небесным телам срываться со своих орбит. Она настолько понравилась физикам, что до 80-х годов XIX в. ее никто не удосужился проверить экспериментально. И только в 1881 г. сначала А. Майкельсон а затем в 1887 г. он и Э. Морли провели эксперимент по обнаружению «эфирного ветра» для определения влияния Земли на скорость света. И тогда стало ясно, что никакого эфира не существует.

В 1846г. И. Галле по расчетам У. Леверье открыл новую планету – Нептун, что было очередным триумфом механики Ньютона.

В 1842 г. Ю. Майер открыл закон сохранения энергии, который с исчерпывающей полнотой сформулировал и описал в 1847 г. в своей работе «О сохранении силы» Г. Гельмгольц. Несколько ранее, в 1844 г. М. Фарадей выдвинул идею поля. Она выкристаллизовывалась у него из представления о силовых линиях и приобрела в дальнейшем фундаментальное значение для всей современной физики.

По мнению А. Эйнштейна, идея поля Фарадея является самым важным открытием со времен Ньютона, которое со временем разорвало рамки механического описания природы. У Ньютона и его последователей пространство выступало как пассивноеместилище тел и электрических зарядов, а у Фарадея оно принимало участие в явлениях.

Со времен Фарадея материя стала выступать не только в форме вещества, а и в фор-

ме поля. Полям стали придавать объективный смысл физической реальности. Понятие сил, действующих на расстоянии (мгновенно распространяющихся) заменяется новым фундаментальным понятием — понятием поля.

И всё же заслуга в формулировании точных пространственно-временных законов электромагнитных явлений принадлежит другому выдающемуся ученому — Джеймсу Кларку Максвеллу. В 1860–1865 гг. всё разнообразие этих явлений, всю совокупность законов, которым они подчиняются, он свел в одну систему, состоящую из четырех уравнений. В третьем из них Максвелл высказал гениальную догадку о так называемом токе смещения – переменном электрическом поле, которое, подобно току проводимости, также создает свое магнитное поле.

Идея о токе смещения позволила Максвеллу построить замкнутую систему дифференциальных уравнений для электрического и магнитного полей, представших как единое целое – электромагнитное поле. Уравнения Максвелла показали, что электромагнитные поля могут распространяться в свободном пространстве в виде поперечных магнитных волн, движущихся со скоростью света.

В то же время получалось, что если электромагнитное поле может существовать независимо от материального носителя, то электрическое взаимодействие уже нельзя объяснить действием на расстоянии, как это предусматривало ньютоновское дальнее действие. Поэтому ньютоновский принцип дальнего действия был заменен Максвеллом на принцип ближнего действия, т.е. полем, распространяющимся в пространстве с конечной скоростью.

На основе своей теории Максвелл теоретически определил (фактически предсказал) величину давления света, идея о наличии которого была впервые высказана Иоганном Кеплером в 1619 г. Это предсказание Максвелла блестяще доказал экспериментально в 1900 г. наш соотечественник П.Н. Лебедев.

Все эти идеи Максвелла, тем более — выраженные в математических формулах, были настолько необычными, что более 20 лет физики вообще не воспринимали его теорию. Физик Хенрик Лоренц писал, что он ничего не понял в уравнениях Максвелла. Он, конечно, понял сами уравнения, но ему было не ясно, какие процессы они описывают. По словам другого выдающегося физика Г. Герца: «Теория Максвелла – это уравнения Максвелла». К подобному тогдашние физики еще не привыкли. И лишь в 1888 г., когда тот же Герц экспериментально открыл электромагнитные волны, сопротивление новой теории было сломлено.

Как это нередко бывает, признание пришло к ученому уже после его смерти. Выдающийся ученый-физик Анри Пуанкаре считал теорию Максвелла «вершиной теоретической мысли». А. Эйнштейн вспоминал, что «самым увлекательным предметом во время моего учения была теория Максвелла». Он же отмечал, что «специальная теория относительности обязана своим возникновением уравнениям Максвелла ... ». В книге А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики», вышедшей в 1938 г., о теории Максвелла было сказано следующее: «Формулировка этих уравнений является самым важным событием со времен Ньютона не только вследствие их содержания, но и потому, что они дают образец нового типа законов» [2].

Классическая наука в своем методологическом объяснении мира опиралась на три базовых принципа: принцип относительности Галилея, принцип дальнего действия Ньютона и принцип причинности Лапласа.

Принцип относительности Галилея утверждает, что все инерциальные системы отсчета с точки зрения механики совершенно равноправны (эквивалентны). По Галилею, время везде течет одинаково, масса тела остается неизменной, ускорение тоже одинаково, так как скорость является величиной постоянной. Х. Лоренц же научно доказал, что масса тела изменяется с изменением скорости движения этого тела.

Ньютон считал, что взаимодействие передается мгновенно и промежуточная среда в передаче взаимодействия участия не принимает. Это положение и носит название принципа дальнего действия. Выше уже говорилось, что опыты Фарадея и расчеты Максвелла это опровергали, и последний заменил принцип дальнего действия на принцип ближнего действия.

Лапласовский детерминизм научным считал лишь всесторонне обоснованное знание, опирающееся на строгие причинно-следственные связи. Фактор случайности вообще исключался, так же как и вероятность. Последняя в классической науке рассматривалась как недостаточная обоснованность, проблематичность, неуточненность, как бы «неподлинность» знания, в то время как в современной науке это неотъемлемый элемент любого знания.

Получалось так, что к концу XIX в. классическая наука не только не могла объяснить новые научные открытия, но и утратила свои базовые методологические принципы. Всё это можно было преодолеть, только привлекая совсем новые понятия и идеи, кардинальным образом отличающиеся от господствовавших в тогдашней науке классических представлений. Возникший кризис в физике перенесся на математику (как заметил Максвелл, математизация привела к тому, что наука утратила наглядность), а затем — и на другие области естествознания. Не обошел он и тогдашнюю философию.

Период с 1895 по 1905 гг. в истории науки рассматривается как этап революционных изменений в физике и других областях научного знания, когда новейшие естественнонаучные открытия разрушали старые метафизические представления о неделимости атомов, неизменности химических элементов, постоянства массы. Отбрасывались старые принципы науки и открывались новые свойства материального мира.

Достаточно перечислить лишь отдельные, наиболее значимые вехи этого поистине критического периода в развитии науки. 8 ноября 1895 г. ректор Вюрцбургского университета Вильгельм Рентген открыл излучение, впоследствии названное его именем (рентгеновские лучи). За свое открытие он первым среди физиков получил самую престижную среди ученых Нобелевскую премию.

В 1896 г. Беккерель открыл естественную радиоактивность урана и в этом же году Мария Склодовская-Кюри высказала предположение, что излучение урана является свойством его атомов. В 1897 г. Дж. Дж. Томсон и В. Вихерт открыли электрон, что свидетельствовало о делимости атомов.

Во второй половине XIX в. был открыт ряд законов о тепловом излучении, которые вступали в противоречие с законом сохранения и превращения энергии и получили

в физике название «ультрафиолетовой катастрофы». Для выхода из этой ситуации немецкий физик-теоретик Макс Планк в 1900 г. выдвинул гипотезу (квантовая гипотеза Планка), что электромагнитное излучение испускается отдельными порциями – квантами, величина которых пропорциональна частоте излучения (постоянная Планка). Эта гипотеза положила начало новой квантовой физике, которая в 20-е годы XX в. легла в основу квантовой механики.

Следует отметить, что сам Планк целых 25 лет считал свою гипотезу частью классической физики и призывал к этому своих коллег. И только в 1945 г. он вынужден был признать: «Теперь я точно знаю, что квант действия играет в физике большую роль, чем я вначале был склонен считать» [4]. Если атомизм вещества и дискретность заряда были тяжелым нокаутом для классической физики, то дискретность энергии и действия были для нее настоящим нокаутом, но далеко не последним. Назовем еще ряд важных научных открытий, которые решающим образом повлияли на углубление кризиса в классической науке.

1901 г. В. Кауфман впервые экспериментально доказал зависимость массы частицы от скорости. В 1904 г. Х. Лоренц нашел преобразования пространственных координат и времени в самом общем виде, названные его именем (преобразования Лоренца), и в этом же году получил выражение для зависимости массы от скорости в случае электрона. Тогда же Анри Пуанкаре дал общую формулировку принципа относительности, ввел в научный оборот такой термин как «преобразования Лоренца», показал, что невозможно обнаружить абсолютное движение, исходя из представлений об эфире и связанной с ним привилегированной системе отсчета.

Но решающий удар по классической физике непосредственно и по классической науке в целом нанес Альберт Эйнштейн. Именно его идеи положили конец разброду и шатаниям среди естествоиспытателей и философов, заложили основы преодоления кризиса в тогдашней науке и ознаменовали переход к ее новому этапу, получившему впоследствии название неклассического. Начало его связано с разработкой А. Эйнштейном третьей после механики Ньютона и электродинамики Максвелла великой физической теории – специальной теории относительности. При этом переход от классической науки к неклассической характеризовался не только возникновением новых идей, концепций и понятий, но и новыми способами мышления, новым языком формул, изменением ее духа в целом.

Весной 1905 г. Эйнштейн отправляет сразу три свои статьи в немецкое периодическое издание «Анналы физики». Все три статьи вышли одновременно в 17-м номере журнала. В первой статье под названием «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света», он исследовал феномен кванта света, предположив, что свет следует считать совокупностью независимых частиц энергии, не приведя при этом никаких данных наблюдений. Он просто выдвинул гипотезу о существовании «кванта света» из чисто эстетических соображений [5, С. 193-203].

Им было выдвинуто предположение, что свет не только излучается квантами, но распространяется и поглощается ими же. Световые кванты позднее были названы фотонами. Таким образом, свет, по Эйнштейну, представляет собой поток световых частиц

– фотонов, что являлось возвращением к корпускулярным воззрениям Ньютона, но на новом уровне. И что удивительно: в 1921 г. Нобелевскую премию по физике Эйнштейну присудили не за работы по теории относительности, а за его первую статью с объяснением фотоэлектрического эффекта, заложившего в будущем основу существенной части квантовой механики. В 2007 г. группой немецких ученых-экспериментаторов было установлено, что скорость движения фотона превышает скорость света.

Вторая статья «Размер молекул» стала его докторской диссертацией, а в третьей Эйнштейн предложил метод определения размера и движения атомов, тем самым подтвердив атомную теорию строения вещества. В конце этого же года в четвертой статье – «К электродинамике движущихся тел» — объемом в 9 тыс. слов и написанной всего за пять недель, он формулирует специальную теорию относительности (СТО), которую историки науки считают не менее фундаментальной и революционной, чем «Начала» Ньютона.

В 1916 г. вышла в свет работа Эйнштейна «Основы общей теории относительности» (ОТО), в которой он завершил создание релятивистской теории гравитации, дав систематизированное изложение ее физических основ и математического аппарата. Помимо идеи гравитационных полей вокруг больших космических тел, Эйнштейном было высказано предположение о наличии гравитационных волн, которые то сжимают пространство, то расширяют его. Эта догадка почти через 100 лет, 14 сентября 2015 г. была экспериментально подтверждена группой ученых. Представления классической науки о стационарной (неподвижной) Вселенной, абсолютности пространства и времени, неизменности массы тела и его линейных размеров и ряда других постулатов были блестяще теоретически опровергнуты Эйнштейном, а затем подтверждены и экспериментально.

Взяв за основу принцип постоянства скорости света в вакууме как предельную скорость в природе, в противовес закону сложения скоростей в механике, он пришел к выводу, что время в разных системах отсчета течет по-разному и что промежуток времени между двумя какими-либо событиями относителен: он будет зависеть от выбора системы отсчета.

По Эйнштейну, и масса тела не неизменна: она увеличивается при увеличении скорости тела, Последующие эксперименты показали, что небольшая частица вещества, разогнанная до 86% скорости света, обладает массой в два раза большей, чем в покое [5, С. 198]. Оказывается, что линейные размеры тела также зависят от скорости движения: по мере приближения скорости движения тела к скорости света его линейные размеры сокращаются в направлении движения, а ход времени замедляется. Важнейшим следствием СТО явилась знаменитая формула Эйнштейна о взаимосвязи массы и энергии  $E = mc^2$ .

В 1908 г., опираясь на положения СТО, Г. Миньковский высказал идею объединения трех измерений пространства и времени в одно четырехмерное пространство и развил современный четырехмерный аппарат теории относительности.

В ОТО Эйнштейн распространил принцип относительности на все движущиеся системы. Он считал, что гравитационная масса массивных тел воздействует не только на все остальные тела, но и на структуру пространства, искажая и искривляя его, также

как и время. По существу, гравитация изменяет время, замедляя его. Луч света в такой области пространства также искривляется.

Таким образом, материя, движение, пространство и время оказались неразрывно связаны друг с другом. Причем последние три выступают как неотъемлемый способ существования материи.

Фактически с 1905 г. и до начала 30-х годов, когда была сформирована новая, четвертая после механики, электродинамики и теории относительности фундаментальная физическая теория – квантовая механика, в науке идет процесс становления нового, неклассического этапа ее развития и, как замечал о таких периодах Томас Кун, «обращения ученых в новую веру» [3].

Это становление осуществлялось на основе представлений о мире как сложной системе, условно включающей как бы три уровня: микро-, макро- и мегамиры. В итоге создавались предпосылки для построения целостной картины природы, в которой прослеживается иерархическая организованность Вселенной как сверхсложной системы, требующей учета особенностей функционирования и развития каждого из этих уровней, чем-то напоминающего поведение Гулливера в стране великанов, среди себе подобных, и в стране лилипутов в знаменитом произведении Джонатана Свифта.

Подводя итоги, следует подчеркнуть, что главная черта неклассической науки – это усложнение научных представлений об окружающем мире и о возможностях его познания. Неклассическое мышление допускает существование самых различных, вероятностных, дискретных, парадоксальных явлений и процессов, неустранимого присутствия субъекта в изучаемых феноменах, отсутствия однозначной связи теории и реальности, возможности существования альтернативных теорий.

Как утверждал в своей работе «Факт, фикция и прогноз» (1954 г.) профессор Гарвардского университета Генри Нельсон Гудмен, сама реальность существует и определяется не одним, а многими способами, или, как принято считать в современной философии науки: «В каждой лаборатории создается своя реальность».

Таким образом, неклассическая наука предполагает наличие так называемой теоретической избыточности, т.е. существования альтернативных научных концепций по одному и тому же предмету исследования. Примером может служить достаточно долгое существование альтернативных квантовых механик Вернера Гейзенберга и Эрвина Шредингера (матричной и волновой), пока не была продемонстрирована их эквивалентность.

Безусловно, ситуация теоретической избыточности серьезно усложняет философское толкование объективной реальности – о реализме научного знания, о референте научной теории и т.д., что объективно вызвало к 30-м годам XX в. потребность с качественно иных философских позиций осмыслить процессы, происходящие в науке и создать новую отрасль философского знания – философию науки.

## Библиографический список

1. *Дягилев Ф.М.* Концепции современного естествознания. — М.: Институт Международного права и экономики. ИНПиЭ им. А.С. Грибоедова. 1988. — С. 78–79.
2. *Кравченко А.Ф.* История науки и техники. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2005. — С. 73 – 103.
3. *Кун Т.* Структура научных революций. - М.: АСТ, 2003. — С. 198.
4. *Планк М.* Единство физической картины мира. – М.: Наука, 1966.
5. *Хокинг С.* На плечах гигантов. — М.: Изд. АСВ, 2018. — С. 193–203.

## Автор

Валерий Иванович НИКИТИН, канд. истор. наук, профессор кафедры философии АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valeriy NIKITIN, Ph. D. (History), Professor of the Department of Philosophy, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: kaffcenter@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-70-94

## Уважаемые авторы!

Журнал «Вестник НИЦ «Строительство» принимает для размещения только оригинальные научные статьи согласно тематике журнала, не опубликованные ранее в других печатных изданиях!

Для публикации статьи в журнале ВЕСТНИК необходимо представить на электронную почту редакции [vestnikstroy@list.ru](mailto:vestnikstroy@list.ru) следующие материалы (подробно см. сайт журнала: <http://vestnik.cstroy.ru> раздел Авторам – Правила оформления статьи):

1. Название статьи - на русском и английском языках.
2. Индекс УДК.
3. Информация об авторе на русском и английском языках:
  - 3.1. Ф.И.О. автора (полностью).
  - 3.2. Ученая степень, ученое звание, должность, место и адрес работы/место учебы.
  - 3.3. E-mail автора, телефон для связи.
4. Аннотация / Abstract (на русском и английском языках): 150-200 слов.
5. Ключевые слова / Keywords (на русском и английском языках): 5-10 слов или словосочетаний.
6. Введение.
7. Основной раздел.
8. Заключение.
9. Библиографический список, оформленный должным образом (см. сайт журнала: <http://vestnik.cstroy.ru>).
10. Рецензия на статью. Рецензент должен обладать ученой степенью и, желательно, ученым званием по специальности, соответствующей теме статьи.
11. Рисунки и таблицы должны иметь названия и ссылки в тексте.
12. Рисунки предоставляются отдельными файлами в форматах: eps, ai, cdr, jpeg, tiff.
13. Статьи, содержащие формулы, должны, помимо word-файла, дублироваться pdf-файлом, чтобы избежать искажения формул.
14. Рекомендуемый объем статьи – 10-12 страниц текста шрифтом Arial размером 12 пунктов через полтора интервала (32 строки на странице).
15. Число авторов (соавторов) не должно превышать четырех. В обоснованных случаях это число может быть увеличено, но при этом соавторы дополнительно должны представить обоснование с характеристикой содержания/объема работы, выполненной каждым из них.

По вопросам оформления статей и приобретения ВЕСТНИКа обращаться в редакцию журнала по телефонам +7(495) 602-00-70 доб. 1014/1002 или по e-mail: [vestnikstroy@list.ru](mailto:vestnikstroy@list.ru)

Возможно также оформить подписку по каталогу Роспечать: подписной индекс 36569; 82868, тел. +7 (495) 921-25-50

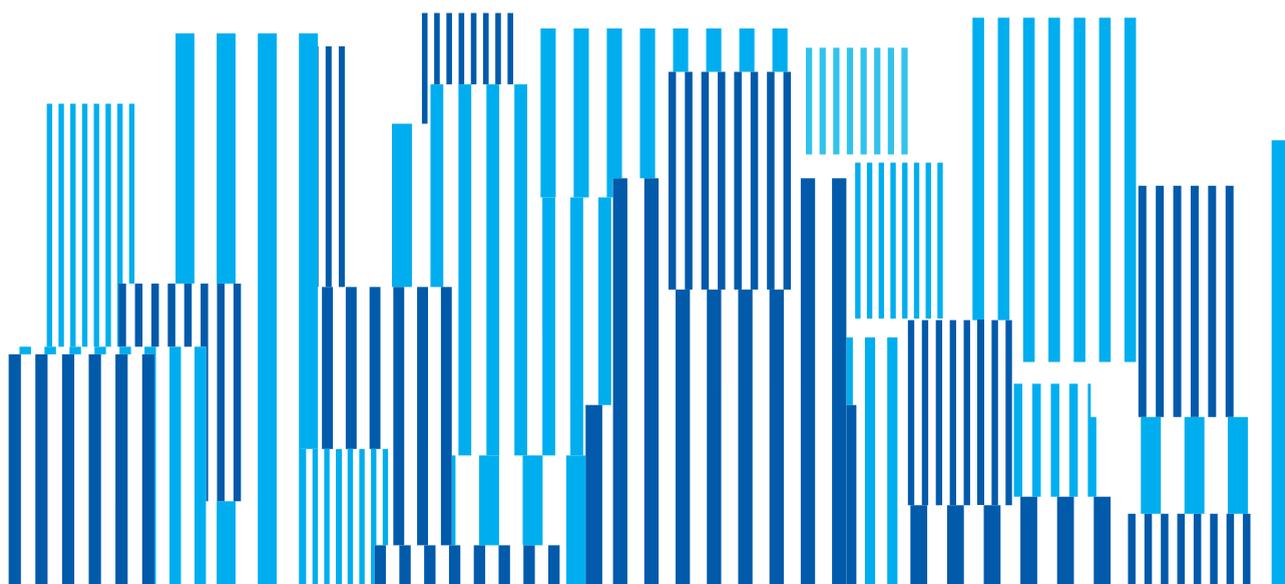
НИЦ «Строительство» — соорганизатор  
Международного форума высотного  
и уникального строительства 100+ Forum Russia

Международный форум и выставка  
высотного и уникального строительства

100+ FORUM  
RUSSIA

29 октября - 1 ноября 2019 | Екатеринбург

[www.forum-100.ru](http://www.forum-100.ru)



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



ЦНИИСК  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО



НИИЖБ  
ИМ. А.А. ГВОЗДЕВА



НИИОСП  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

# УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

Приглашает вас:

- Повысить квалификацию специалистов и экспертов
- Пройти обучение в аспирантуре
- Подготовить диссертацию
- Защитить диссертацию на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук



**ниц строительство**  
научно-исследовательский центр



НИЦСК  
ИМ. В. А. КУЧЕРЕНКО



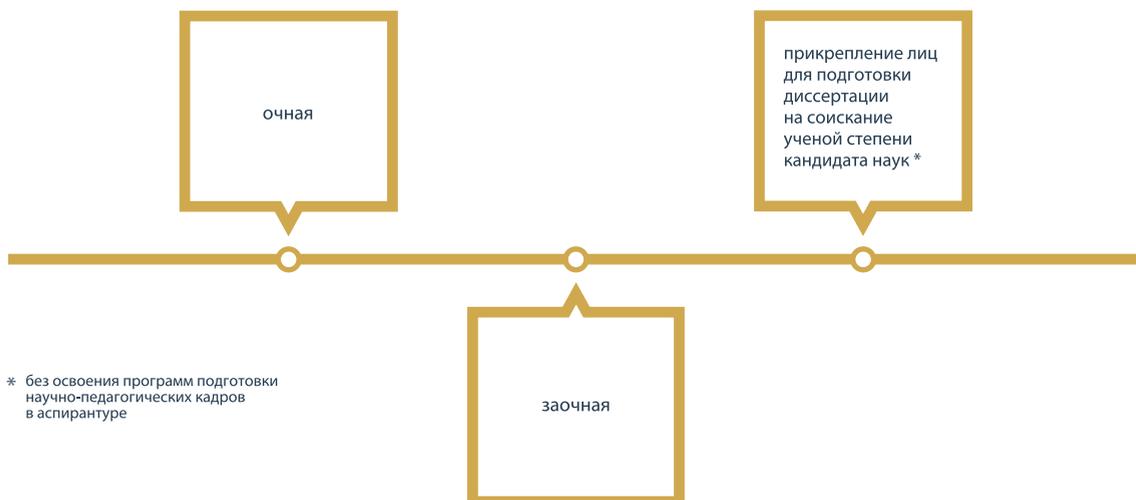
НИЦКБ  
ИМ. А. А. Г. ВОЗДЕБА



НИЦОС  
ИМ. Н. М. Г. ПЕРСЯНОВА



## ОБУЧЕНИЕ В АСПИРАНТУРЕ АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» ПРОВОДИТСЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ФОРМАМ ОБУЧЕНИЯ:



\* без освоения программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

1

АО «НИЦ «Строительство» проводит подготовку специалистов на курсах повышения квалификации по очной и заочной формам:

- разработка индивидуальных программ обучения и учебно-тематических планов
- по уникальным программам АО «НИЦ «Строительство»
- в области инженерных изысканий
- в области проектирования
- в области строительства



2

Преподавательский состав  
Учебного центра

- Лекции читают академики, действующие члены и члены-корреспонденты РААСН, лауреаты Премий Правительства РФ, заслуженные деятели науки и техники РФ, доктора и кандидаты технических наук
- Учебный класс рассчитан на обучение до 75 человек одновременно. Оснащен системой кондиционирования и видеонаблюдения



3

Набор в аспирантуру и докторантуру АО «НИЦ «Строительство» проводится по направлению 08.06.01 «Техника и технологии строительства» по направленностям:

- 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»

4

В АО «НИЦ «Строительство» работает совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Защита диссертаций проводится по следующим научным специальностям:

- 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»
- 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»
- 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»



г. Москва,  
2-я Институтская ул., д. 6



+7(499) 174-73-84  
+7(499) 174-73-80



motorina@cstroy.ru  
smirnova@cstroy.ru  
cool.opk2012@yandex.ru



www.cstroy.ru

# РУССКО-АНГЛИЙСКИЙ СЛОВАРЬ

## «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ, МОСТЫ И ТОННЕЛИ»

В словаре приведены основные термины и устоявшиеся словосочетания в области автомобильных дорог, мостов и тоннелей на них, в том числе касающиеся конструкций и устройства земляного полотна, дорожной одежды, мостов и тоннелей, их строительства и эксплуатации, а также сопутствующие термины в области инженерной геодезии, инженерной геологии, механики грунтов и т.п., экологии, экономики, финансов и др. на русском языке и в переводе на английский язык. Помещены сокращения (аббревиатуры) для некоторых наиболее распространённых терминов и словосочетаний, встречающихся в соответствующих текстах на английском языке. В конце книги помещены соотношения для перевода метрических единиц измерения в английские и американские.

Словарь ориентирован на специалистов и научных работников в области автомобильных дорог, мостов и сооружений, студентов высших и средних специальных учебных заведений, обучающихся по соответствующим специальностям.



### АВТОРЫ:



**КОСМИН ВЛАДИМИР ВИТАЛЬЕВИЧ** – действительный член Российской академии транспорта, почетный транспортный строитель, почетный работник высшей школы Российской Федерации, соавтор-составитель и редактор «Энциклопедии транспортного строительства», «Англо-русского путейско-строительного словаря», «Русско-английского путейско-строительного словаря», «Англо-русского железнодорожного словаря», «Русско-английского железнодорожного словаря», «Англо-русского словаря дорожника», «Англо-русского словаря по мостам и тоннелям», «Словаря аббревиатур (русс., англ., нем., франц.)», «Русско-болгарско-английского железнодорожного словаря», «Русско-казахско-английского железнодорожного технического словаря», «Англо-русского универсального транспортного словаря» и «Французско-русского железнодорожного словаря».

**КОСМИНА ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА** – специалист в области логистики и целей поставок, соавтор-составитель «Англо-русского словаря дорожника».



Справки о приобретении словаря на сайте издательства:  
[https:// infra-e.ru](https://infra-e.ru)



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



**НИИОСП**  
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА



**РОМГГ и Ф**

# **V МЕЖДУНАРОДНАЯ УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЕОТЕХНИКЕ**

## **V ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИГРЫ**

**НИЦ «Строительство», НИИОСП им. Н.М. Герсеванова**

**25 – 27 сентября 2019 года**

### **Основные темы конференции:**

- > Геотехника. Современные вызовы и перспективы
- > Геотехническое моделирование и расчеты
- > Экспериментальные исследования в геотехнике
- > Освоение подземного пространства городов

### **Календарь мероприятия:**

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Подача статей         | <u>до 15.08.2019</u> |
| Подтверждение участия | <u>до 13.09.2019</u> |

С более подробной информацией можно ознакомиться на сайте РОМГГ и Ф [www.rssmgfe.ru](http://www.rssmgfe.ru)

**GAMES**

Научное издание  
Вестник НИЦ «Строительство»  
Вып. 3 (22) 2019

Редактор выпуска Савельева М.А.  
Компьютерная верстка Прокопович Е.А.

Подписано в печать 25.07.2019  
Бумага мелованная. Офсетная печать.  
Тираж 500 экз. Заказ №751Т

Отпечатано в типографии  
ООО «КОНТУР»  
юр. адрес: 127282, г. Москва, проезд Студеный, д. 4,  
корпус 1, помещение V, К 15