



Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

**КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Материалы  
научно-практической конференции

15 ноября 2017 года



Санкт-Петербург  
2018

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

# **КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Материалы  
научно-практической конференции

15 ноября 2017 года

Санкт-Петербург  
2018

УДК 678.5.067:53

**Композитные материалы в строительстве объектов транспортной инфраструктуры:** материалы научно-практической конференции; 15 ноября 2017 года / под ред. А. В. Квитко и др. – СПб., 2018. – 100 с.

Представлены статьи участников научно-практической конференции Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.

ISBN 978-5-9227-0804-3

*Редакционная коллегия:*  
председатель: А. Ф. Степченко  
зам. председателя: А. В. Квитко  
члены: И. В. Бурьгина  
С. Ф. Васюткин  
В. Н. Вторушин  
Л. М. Каплан  
М. И. Цалко  
Д. А. Бойцов  
В. Н. Зазимко  
А. Н. Бирюков  
В. Б. Коновалов  
А. Д. Филатов  
А. С. Симонова

ISBN 978-5-9227-0804-3

© Авторы статей, 2018  
© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2018

## УДК 69.07

*Александр Владимирович Квитко,*  
канд. техн. наук, доцент  
*Виктор Андреевич Шендрик,* аспирант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: kvitko.67.67@mail.ru*  
*vicinshendrik@yandex.ru*

*Alexander Vladimirovich Kvitko,* PhD in Tech. Sci,  
Associate Professor  
*Viktor Andreevich Shendrik,* post-graduate student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: kvitko.67.67@mail.ru*  
*vicinshendrik@yandex.ru*

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

### THE METHODOLOGY AND RESULTS OF TESTING OF COMPOSITE STRUCTURES FOR TRANSPORT CONSTRUCTION

Сказано о об испытании композитных винтовых свай из стеклопластика диаметром 100 мм с одно-винтовой лопастью диаметром 450 мм. Изложена методика проведения испытаний. По результатам испытаний сформулированы предложения об использовании конструкций из композитных стеклопластиковых винтовых свай для объектов транспортного строительства. Изложены основные направления проведения дальнейших испытаний по выявлению экспериментальных показателей, характеризующих работу композитных стеклопластиковых свай при возведении объектов транспортного строительства. Сообщается о проведении испытаний трубчатых конструкций из стеклопластика на вертикальную, горизонтальную нагрузку. Описано проведение и результаты эксперимента бокового трения винтовых композитных свай в грунтах.

*Ключевые слова:* композитные материалы, мостовые сооружения, традиционные материалы, опоры мостовых сооружений, экспериментальные исследования, свайные опоры.

Announced about the test composite screw piles made of fiberglass. The methodology of testing. Discusses the advantages of screw piles composite of fiberglass over widespread metal screw piles of the same diameter. According to the results of the testing proposals on the use of structures made of composite fiberglass screw piles for objects of transport construction. The main directions of further tests to identify pilot indicators characterizing the performance composite fiberglass piles in the construction of objects of transport construction. Reported on the testing of tubular structures made of fiber glass vertical and horizontal loads. It was describe the implementation and results of experimental investigation of lateral friction in soils of composite spiral piles.

*Keywords:* composite materials, bridge constructions, conventional materials, experimental investigation, composite spiral piles.

Последнее десятилетие широко характеризуется внедрением в строительство, в том числе и в транспортное, новых технологий, инновационных процессов ведения строительных работ, применением новых, перспективных материалов.

Одним из направлений по применению новых материалов в строительстве является применение композитных материалов, объединяющих свойства различных компонентов в одну взаимосвязанную структуру.

Стеклопластик по своим свойствам является композиционным материалом, так как в его состав входят стеклянные волокна и застывшая искусственная смола.

Для объектов транспортного строительства стеклопластик открывает много новых возможностей, позволяющих заменить собой часть традиционных металлических изделий, снизив при этом затраты на строительство и оптимизировав использование металла там, где он незаменим. По данным интернет журнала «ПРОСТОСТРОЙ» при замене металла стеклопластиком, общий удельный вес закупки снижается в 9 раз, параллельно снижается и ее стоимость, а также трудозатраты на доставку.

Стеклопластик характеризуется высокой прочностью, относительно малым удельным весом, многообразием создаваемых форм. Важную роль в некоторых случаях играет его радиопрозрачность, низкая электропроводность, а также декоративные качества.

Одним из направлений внедрения стеклопластика в транспортное строительство является создание винтовых композиционных свай на основе пултрузионных стеклопластиковых труб.

Изготовленная фирмой РАНТЕС и представленная для испытаний композитная свая представляет из себя пултрузионную стеклопластиковую трубу диаметром 100 мм, в которой стекломатериал имеет специальную запатентованную схему укладки, металлический винтовой сварной или литой наконечник диаметром 40 см. Закручивать её можно по той же технологии что и металлическую, так и за специально вваренный в наконечник стержень. Для выравнивания вкрученных свай по горизонту их обрезают обычной болгаркой, сверху на сваю можно одеть металлическое навершие, на которое, как и для металлических свай, крепится на болты несущий швеллер.

Испытания винтовых композитных свай проводились на базе СК «Спецстрой» в поселке Рыжики Ленинградской области.

Для испытаний была определена опытная площадка, где залегают глинистые отложения.

Лабораторные исследования грунтов показали, что на разведанной глубине до 5,0 м грунтовое основание представлено суглинком серым, ленточным, текучепластичным.

Для проведения испытаний в грунт были погружены 4 сваи (2 сваи с винтовыми сварными металлическими наконечниками, соединенные с пултрузионной стеклопластиковой трубой клеевым раствором и 2 сваи с винтовыми литыми металлическими наконечниками, соединенные с пултрузионной стеклопластиковой трубой с помощью саморезов). Погружение свай завинчиванием осуществлялось с помощью бурового агрегата с максимальным вращающим моментом 5200 кгс/м. Погружение свай в грунт осуществлялось до отказа.

Расстояние между осями свай составило 2,0 м. Погружение сваи в грунт составило 1,7 м.

Для сравнения в грунт на расстоянии 2,5 м от винтовой композитной сваи были погружены с помощью бурового станка две металлические винтовые сваи такого же диаметра. Отказ от дальнейшего погружения металлических свай в грунт происходил на такой же глубине – 1,7 м от поверхности земли.

Для проведения испытаний винтовых композитных свай использовалась установка сборно-разборной конструкции, состоящая из металлической балки двутаврового сечения № 30, прикрепленного к металлическим винтовым сваям с помощью сварки. Для обеспечения большего веса двутавр был пригружен дополнительным грузом массой 1,0 т.

Испытания свай проводились вертикальной приложенной статической и циклической нагрузкой на сжатие. Загружение осуществлялось с помощью 100-тонного гидравлического домкрата. Постоянство давления в процессе каждого опыта обеспечивалось подкачкой масла в домкрат, по мере необходимости, ручным насосом. Гидравлическое давление, передающееся на сваю, фиксировалось манометром. Пересчет нагрузки в тоннах, в зависимости от величины гидравлического давления, производился по переходной таблице для установленного гидравлического домкрата.

Наблюдение за вертикальными деформациями грунта при испытании свай осуществлялись с помощью прогибомеров Аистова ПАО-6, установленных на реперных установках.

Для обеспечения центрального приложения нагрузки завинчивание испытуемых свай производилось в строго вертикальном положении. Кроме того, соблюдалась необходимая соосность сваи и домкрата, достигаемая с помощью металлического столика, одетого на голову сваи. Все применяемые приборы и оборудование имеют акты о их тарировке. После монтажа установки и проверки измерительных приборов сваи загружались нагрузкой.

На начальном этапе проведения испытаний при сравнительно небольшой нагрузке происходило выдергивание анкерных свай из грунта. При этом, нагрузка на сваю составляла всего порядка 2,0–3,0 т.

Максимально достигнутая на винтовую композитную сваю нагрузка составила 11 000 кг, после чего наблюдалось «выдергивание» анкерных свай установки из грунта. Таким образом, на предельную нагрузку винтовую композитную сваю испытать не удалось. Теоретические расчеты показали, что винтовая свая диаметром 100 мм и с одновинтовой лопастью диаметром 400 мм в суглинках составляет 30 тонн.

По завершению натурного эксперимента сваи были откопаны и осмотрены на предмет деформаций. Осмотром установлено, что сваи, имеющие соединение пултрузионной стеклопластиковой трубы с металлическим наконечником с помощью клеевого раствора дали трещины в местах их соединения. Кроме этого, произошла деформация сварных лопастей металлических наконечников (лопасти загнулись кверху) на 90–130 мм.

Литые металлические наконечники и соединения пултрузионной стеклопластиковой трубы с металлическим наконечником с помощью винтового соединения деформациям не подверглись.

Результаты проведенного эксперимента позволили сделать следующие выводы:

1. Винтовые композитные сваи хорошо зарекомендовали себя при испытаниях на сжимающую статическую и циклическую нагрузки. Восприятие сваей диаметром 100 мм с лопастью диаметром 400 мм нагрузки в 11 тонн является более чем достаточным для рекомендации применения таких свай в строительстве, в том числе и строительстве транспортных объектов.

2. Винтовые композитные сваи в процессе испытания подтвердили свои достоинства: легкость монтажа, высокую несущую способность, коррозионную стойкость, малый вес и т. д.

3. По проведенным натурным испытаниям в качестве металлического наконечника можно рекомендовать литой металлический наконечник, соединенный с пултрузионной стеклопластиковой трубой винтовым креплением.

Проведенный натурный эксперимент позволил наметить дальнейшую программу исследований, заключающуюся в определении опытных данных:

- по предельно допустимому моменту при работе композитных свай на кручение;
- предельно допустимому усилию при работе композитных свай на выдергивание и горизонтальную нагрузку;
- проведение эксперимента по включению в работу боковой поверхности винтовой композитной сваи и получении коэффициента, учитывающего за счет этого прирост несущей способности винтовых композитных свай.

С целью определения напряжений непосредственно в композитных оболочках и понимания механизмов их разрушения были проведены испытания оболочек на нагрузки различного характера. Во-первых, оболочки испытывались на центральное сжатие, так как данный тип нагружения испытывает большинство конструкций транспортных сооружений. Композитные оболочки нескольких типов подвергались центральному сжатию в испытательной машине «INSTRON W-5196» с максимальным усилием до 600 кН. Нагрузка подавалась по ступеням с интервалов в одну тонну. Эксперимент продолжался до разрушения образца. Максимальное усилие достигало 30 тонн. Также для установления значений напряжений на стенках материала к образцам прикреплялись тензорезисторы. Максимальное напряжение вертикальное достигало около 11000 кг/см<sup>2</sup>, горизонтальное – около 4000 кг/см<sup>2</sup>. Во-вторых, оболочки подвергались действию изгиба, поскольку опоры транспортных сооружений работают и на такие нагрузки. Эксперимент проводился на установке «BISS Magnum UT-05-2000» с максимальным усилием до 200 тонн. Для крепления оболочек были сконструирована и специально изготовлена надежная металлическая оснастка. Агрегат осуществлял давление на оболочку, опускаясь на 0,5 см за одну минуту. На образцах нескольких видов также устанавливали тензодатчики для считывания напряжений. Образцы разрушались по следующему закону: после достижения предела прочности раздавался характерный треск, машина уменьшала нагрузку, однако композитная оболочка разрушалась не полностью, а могла еще выдерживать нагрузку, хотя и на порядок меньшую. Максимальный изгибающий момент при разрушении составлял 0,7 т · м. Максимальное напряжение на стенках трубы – около 18 000 кг/см<sup>2</sup> вертикальное и около 3800 кг/см<sup>2</sup> горизонтальное. В-третьих, оболочки подвергались воздействию кручения. Для осуществления

эксперимента также использовалась дополнительно изготовленная оснастка. Кручение осуществлялось вручную посредством динамометрического ключа «Torque Master TM 1000R» с максимальным усилием до 1380 Н · м. В образце просверливались отверстия для крепления образца с одной стороны и крутящего привода с другой. В местах креплений образовались характерные разрушения. При максимальной нагрузке образцы не разрушились 1380 Н · м, максимальное напряжение в стенках оболочки от крутящего усилия составило около 4000 кг/см<sup>2</sup>.

Кроме упомянутых, было проведено еще одно экспериментальное исследование в рамках определения прочности конструкции из композиционных материалов на горизонтальную нагрузку. Конструкция представляла собой ступенчатую колонну из композитных труб разного сечения. Чем больше высота, тем больше возникает изгибающий момент, а практика показывает, что при больших нагрузках выгоднее переходить на ступенчатые колонны. Поскольку испытывать колонну общей высотой 7 метров затруднительно, для удобства решили расположить ее горизонтально. Для заземления стойки такой длины использовалась напольная металлическая конструкция в виде двухстержневой рамы с жестким креплением стержней друг к другу. Стержни сквозные решетчатые в сечении выполнены из прокатных уголков, соединения сварные. Воздействие нагрузки осуществлялось через металлический канат, протянутый через низ металлической конструкции и натягиваемый лебедкой. Эксперимент проводился управляемым способом, нагрузка увеличивалась на определенную величину, фиксировалась величина нагрузки и прогиб образца, далее опять увеличивали нагрузку, фиксировали данные и так далее. Опыт проводился пока величина нагрузки не достигла 300 кг, после этого был остановлен. Максимальный изгибающий момент (разрушения не произошло) достиг значения 0,43 т · м. На конструкции не проявились видимые признаки разрушения, в ходе эксперимента не раздавалось характерное для полимерных композиционных изделий потрескивание, предшествующее разрушению.

Для более глубокого изучения поведения винтовых композитных свай в грунтах, был проведен эксперимент, задачей которого являлось повышение коэффициента бокового трения сваи под действием статической нагрузки, создаваемой домкратом. В первом опыте испытываемая свая полая, не залитая ЦПС, во втором опыте сваю заливали цементно-песчаным раствором марки М-150, для определения прочности застывшей смеси был использован прибор «измеритель прочности стройматериалов» (СКБ СТРОЙПРИБО ИПС-МГ4,03). Опыт проводился в лаборатории кафедры геотехники. Для проведения опытов была взята свая диаметром 100 мм и длиной 142 см с металлическим наконечником, помещенная в емкость предварительно очищенную от песка, после установление сваи в вертикальное положение ее закапывали вновь песком с послойным уплотнением. Поверх сваи был установлен металлический оголовок, служащий площадкой для установления домкрата, и динамометра, а также служащий для фиксирования металлической лески для датчиков погружения сваи.

Во втором опыте в свае проделывались отверстия, диаметром 7 мм, по окружности сваи в количестве 6 отверстий, на расстояние друг от друга 5,2 см. Общее количество отверстий составило 36. После установление сваи в вертикальное положение и закапывания песком, в этом опыте была залита смесь ЦПС М-150.

Снятие показаний счетчиков под действием статической нагрузки производилось после набора прочности бетоном не ниже 70 %. Максимальная нагрузка составила 1,5 т. Осадка сваи измерялась с помощью прогибомеров Аистова. Прирост несущей способности композитной винтовой сваи за счет увеличения коэффициента бокового трения составил 18,3 %.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать выводы:

1. Композитные оболочки хорошо выдерживают сжимающие нагрузки, изгибающий момент и сопротивляются кручению. Выдерживание столь небольшими изделиями серьезных нагрузок достаточно для рекомендации применения в строительстве транспортных объектов (лучше бетона по сопротивлению в продольном направлении, иногда и в поперечном).

2. Винтовые композитные сваи при технологических новшествах намного эффективнее ныне применяемых по долговечности и выше по прочности.

Широкому внедрению препятствует множество причин, преодоление которых абсолютно реально. Необходимо разработать четкий план и следовать ему. Обязательным условием является участие и заинтересованность руководства транспортной отрасли, проектировщиков, производителей КМ, научных работников. Некоторые проблемы внедрения заключаются в следующем:

- недостаток опыта долгосрочного содержания таких сооружений (более 15 лет);
- недостаток руководящих и нормативно-технических документов;
- отсутствие методик расчетов;
- трудности прохождения экспертизы;
- неясность в ценообразовании изделий КМ;
- нежелание производителей традиционных материалов расходовать деньги на модернизацию производства.

### Литература

1. Федеральный закон N 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Москва, Кремль, 30 декабря 2009 года.
2. Шендрик В.А., Квитко А.В. Использование композиционных материалов в опорах мостовых сооружений // Вестник гражданских инженеров, СПбГАСУ. 2015. № 6.
3. Беленя Е. И. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 2001.
4. Каменев С.Н. Транспортные сооружения. Волгоград: Изд-во Ин-Фолио, 2010.
5. Иванчев И.И., Топуров К.Х., Топилин А.Н., Иваненко Н.И. Железобетонные автодорожные мосты. Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. 279 с.
6. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*. М.: ФГУП ЦПП, 2011.
7. СТО 2.29.112-2013 Строительство деревянных и композитных мостов. Часть 2. Сооружение пешеходных мостов из полимерных композитных материалов. М.: Нострой, 2013.

### УДК 625.8

*Анна Сергеевна Симонова*, ст. преподаватель  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: ansi11@yandex.ru*

*Anna Sergeevna Simonova*, Senior Lecturer  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: ansi11@yandex.ru*

## К РАЗРАБОТКЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕТОДОВ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

## TO THE DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION OF METHODS OF HOT RECYCLING OF ASPHALT-CONCRETE PAVEMENTS

Одной из основных задач совершенствования транспортной инфраструктуры Российской Федерации под современное интенсивное и скоростное движение является эффективный ремонт и реконструкция существующей сети дорог. Следует отметить, что методы горячей регенерации имеют различную применимость в зависимости от видов дефектов покрытия, но в сравнении с традиционными методами ремонта обладают рядом преимуществ. В зависимости от характера и вида деформаций и разрушений покрытия и нижних слоев дорожной одежды, выявленных причин разрушений от характера воздействий подвижной нагрузки и природно-климатических факторов, а также качества производства работ, в статье приведены классификации методов горячей регенерации по различным признакам, служащим для обоснования выбора эффективного способа, обеспечивающего увеличение межремонтных сроков работы обновленной дорожной конструкции.

*Ключевые слова:* горячая регенерация, ремонт, ремикс, ремикс плюс, ремиксер, ремиксер.

One of the main tasks of improving the transport infrastructure of the Russian Federation for modern intensive and high-speed traffic is the effective repair and reconstruction of the existing road network. It should be noted that the methods of hot regeneration have different applicability depending on the types of coating defects, but in comparison with traditional methods of repair have a number of advantages. Depending on the nature and type of



deformations and damages of the pavement and the lower layers of pavement, the identified causes of damage from the nature of the impacts of the mobile load and natural and climatic factors, and the quality of work, the article categorizes the methods of hot regeneration according to various characteristics that serve to justify the choice of an effective method to ensure an increase in the between-repair times of the renewed road structure.

*Keywords:* hot recycling, repair, remix, remix plus, remixer, remixer.

В Российской Федерации метод горячей регенерации асфальтобетонного покрытия, названный методом термопрофилирования, получил наибольшее развитие в конце 80-х годов с появлением термопрофилировочного комплекта машин фирмы Виртген (ФРГ), включающего асфальтозагретель и термосмеситель. В настоящее время одной из причин сдерживающей широкое применение методов и способов горячей регенерации является отсутствие соответствующего отечественного нормативного документа, в полной мере нормирующего требования, условия и область применения каждого метода. Кроме того отсутствует единообразная классификация методов горячей регенерации.

Методы горячей регенерации можно классифицировать по различным признакам:

- на основе линейки технологического процесса (количество операций),
- по применяемой технике (от простейшей до тяжелой).
- по области применения (видам ремонтных работ).

Наиболее простейшая классификация методов встречается в работе А.П. Васильева рис. 1 [1]. Данная классификация отражает виды применяемой техники при производстве работ.

Термопланирование представляет собой выравнивание при нагреве без добавления новой смеси. Технологический процесс включает: разогрев асфальтобетонного покрытия горелками инфракрасного излучения до 120–180 °С на глубину 2–5 см, рыхление, перераспределение и уплотнение. Термогомогенизация кроме основных операций включает перемешивание старой разрыхленной асфальтобетонной смеси с применением термопрофилировщиков, оснащенных мешалкой в виде одной машины или комплекта машин. Термоукладка представляет собой выравнивание при нагреве с добавлением новой смеси, но без ее перемешивания со старой, этот способ в зарубежной практике называют репейвинг, а машины для его реализации – репейвер.

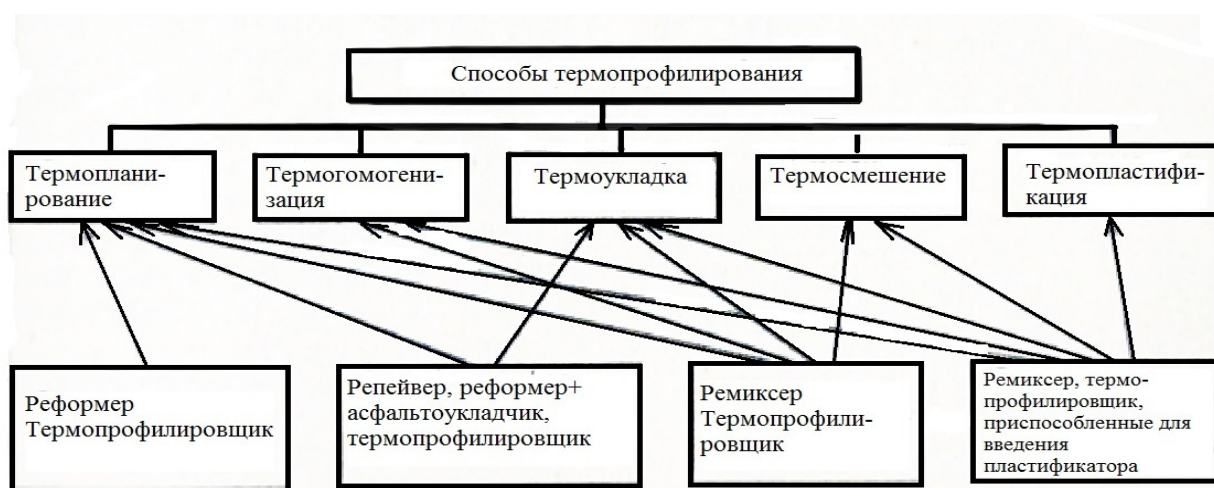


Рис. 1. Способы горячей регенерации с указанием применяемой техники

Термоукладку осуществляют с применением термопрофилировщика, оснащенного оборудованием для приема и распределения новой смеси. Термопластификация отличается от предыдущих способов тем, что в старую смесь вводится пластификатор. Технологический процесс выполняют ремиксером, оснащенным узлом для введения пластификатора.

Классификация методов горячей регенерации на основе линейки технологического процесса представлена на рис. 2 [2].

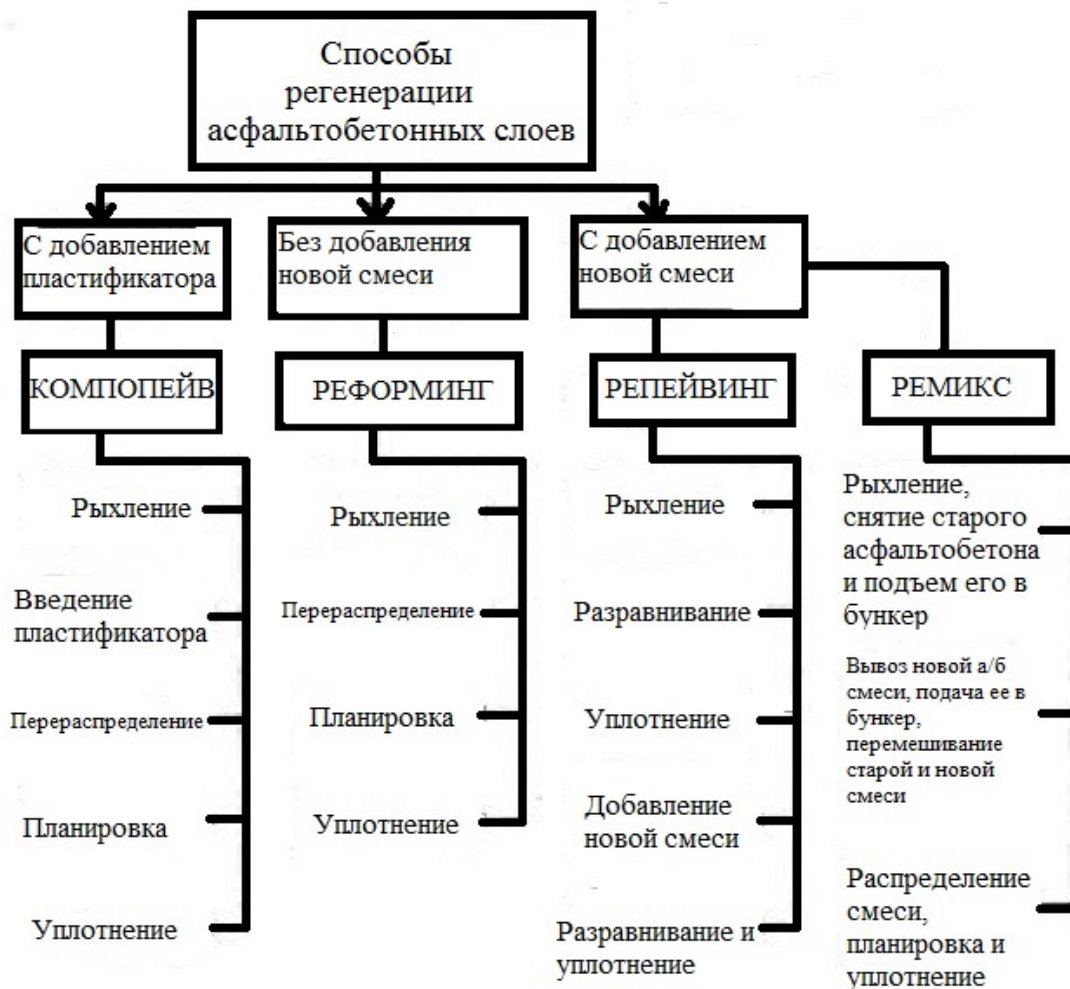


Рис. 2. Способы горячей регенерации асфальтобетонных слоев с указанием технологических операций

Способ компопейв (термопластификация) состоит из технологических операций: рыхление асфальтобетона, введение пластификатора, перераспределение смеси, планировка, уплотнение. Способ реформинг (термопланирование) – без добавления новой смеси, включает следующие технологические операции: рыхление асфальтобетона, перераспределение смеси, планировка, уплотнение.

Режим репейвинг (термоукладка) предусматривает восстановление покрытия с добавлением новой смеси. Ремонт может выполняться как «заподлицо» с недеформированной поверхностью покрытия, так и с повышением высотных отметок его ремонтируемого участка. Укладка новой смеси ведется в едином технологическом процессе одной машиной, которая: рыхлит асфальтобетон, разравнивает, предварительно уплотняет, добавляет новую смесь, разравнивает, уплотняет.

Способ ремикс (термоусиление) – с перемешиванием. Последовательность технологических операций следующая: разогрев, рыхление старой смеси с добавлением новой и перемешивание. Весь процесс протекает в едином технологическом цикле на месте производства работ с применением ремиксера или термопрофилировщика, оснащенного, кроме оборудования для термоукладки, также мешалкой.

На настоящий момент в мировой практике широкое применение нашли следующие методы горячей регенерации асфальтобетонных покрытий: термоукладка термосмешивание, термоусиление Классификация методов горячей регенерации по области применения с учетом основных критериев и рациональных условий применения представлены в табл. [3].

### Критерии и рациональные условия применения способов горячей регенерации

Повреждения существующего покрытия	Вид ремонтных работ. Краткое описание и объемы повреждений	Способы термопрофилирования		
		Термосмешение	Термоукладка	Термоусиление
<b>Ремонт асфальтобетонного покрытия</b>				
Выкрашивание	Поверхностное разрушение покрытия за счет потери отдельных зерен минерального материала (общая площадь повреждения не менее 50 % от площади ремонтных работ)	+	+	-
Выбоины	Частые выбоины глубиной до 5 см и имеющиеся на покрытии места их заделки	+	+	-
Коледи	На полосе наката при стабильности свойств нижележащих слоев (средняя глубина коледи до 50 мм)	+	+	-
Трещины	Трещины с шагом менее 15 м и шириной раскрытия более 5мм	+	+	-
<b>Капитальный ремонт дорожной одежды</b>				
Повреждения, образовавшиеся в результате усталости АБ-слоев (при отсутствии условий для выполнения холодной регенерации)	Требуется усиление дорожной одежды (объемы работ определяют после выполнения расчета прочности дорожной одежды)	-	-	+

Методы горячей регенерации является альтернативой классическому способу полной замены старого асфальтобетонного покрытия, поэтому принятие решения об использовании должно быть оправдано экономически. Чаще всего поводом для ремонта покрытия методами горячей регенерации является прогрессирующее выбоинообразование, колееобразование, обусловленное излишней пластичностью одного из слоев покрытия при условии достаточной прочности его подстилающих слоев, а также широкое распространение произвольно расположенных трещин с малым шагом, не связанных со снижением прочности дорожной одежды.

#### Литература

1. Васильев А. П., Сиденко В. М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для вузов; Под. ред. А. П. Васильева. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
2. Лещицкая Т П., Попов В. А. Современные методы ремонта аэродромных покрытий / М АДИ-ТУ М., 1999.-132с
3. ОДМ 218.3.004-2010. Методические рекомендации по профилированию асфальтобетонных покрытий. М.: Федеральное дорожное агентство (издан основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 11.01.2011 № 8-р). М., 2011.

## УДК 625.8

Елена Альбертовна Коваленко, магистрант  
Анна Сергеевна Симонова, ст. преподаватель  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: aionochka94@yandex.ru,  
ansi11@yandex.ru

Elena Al'bertovna Kovalenko, student  
Anna Sergeevna Simonova, Senior Lecturer  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: aionochka94@yandex.ru,  
ansi11@yandex.ru

### СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

#### MODERN APPROACH TO TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF WORKS BY THE METHOD OF HOT RECYCLING

В статье рассмотрены основные аспекты ремонта автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием с применением горячей регенерации. Более подробно выделены две технологии горячей регенерации: Remix и Remix+, проведен их сравнительный анализ, подчеркнуты основные преимущества и недостатки каждой из приведенных технологий. Методы были рассмотрены на предмет энергоемкости, трудозатрат, способности применения для ремонта различных видов дефектов на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием. Приведены современные способы производства работ методом горячей регенерации, выведены их преимущества и область применения.

*Ключевые слова:* горячая регенерация, ремонт, ремикс, ремикс плюс, ремиксер, ремиксер.

In the article the main aspects of repair of roads with asphalt-concrete coating with application of hot regeneration are considered. Two technologies of hot regeneration are highlighted in more detail: Remix and Remix +, their comparative analysis is carried out, the main advantages and disadvantages of each of the given technologies are underlined. Methods were considered for energy intensity, labor costs, the ability to use for repairing various types of defects on roads with asphalt concrete. Modern methods for the production of works by the method of hot regeneration are given, their advantages and scope are shown.

*Keywords:* hot recycling, repair, remix, remix plus, remixer, remixer.

В январе 2018 года правительством Санкт-Петербурга была утверждена программа ремонта автомобильных дорог на 2018–2022 годы. Количество объектов, которые требуют повышения транспортно-эксплуатационных характеристик, с каждым годом увеличивается. Высокие требования предъявляются в связи с возрастающим уровнем автомобилизации. Так, согласно данным аналитического центра «АВТОСТАТ», обеспеченность легковыми автомобилями в среднем по России составила 293 единицы на тысячу жителей (по состоянию 2018 года), что на 1,7 % больше, чем в январе 2017 года. Уровень автомобилизации в городе Санкт-Петербурге превысил тождественный показатель в городе Москва, оказался выше среднего по стране и достиг 317 штук. Для поддержания удовлетворительного состояния автомобильных дорог в условиях возросшей интенсивности и уровня автомобилизации широко применяется ремонт.

Согласно Приказа Минтранса РФ от 12 ноября 2007 г. № 160 «Об утверждении классификации работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования и искусственных сооружений на них» (с изменениями от 6 августа 2008 г.) применение регенерации покрытия рекомендовано, как при капитальных ремонтах дорожной одежды, так и при ремонтах.

Благодаря повторному использованию асфальтобетона старого покрытия при производстве работ методом горячей регенерации достигается экономия асфальтобетонной смеси. Несмотря на повышенный расход энергоносителя, связанный с необходимостью разогрева верхнего слоя покрытия, достигается общий экономический эффект.

Однако применение данного метода ограничено глубиной разогрева покрытия 3–5 см. На эту глубину регенерируемый слой омоноличивается. Если прочность дорожной одежды недостаточна, что обычно выражается в многочисленных произвольно располо-

женных на покрытии трещинах или сетке трещин, то метод горячей регенерации, как правило, не применяют, так как на регенерированном покрытии быстро появляются отражённые трещины.

Методы горячей регенерации такие как компопейв, реформинг, репейвинг либо не предусматривают добавку новой смеси, либо не предусматривают перемешивание новой вводимой смеси, битума или пластификатора со старой разогреваемой асфальтобетонной смесью, что в свою очередь ведет к неравномерности состава уложенного материала, напрямую влияет на качество асфальтобетона ремонтируемого покрытия, в частности на сцепление битума с каменным материалом и снижение шероховатости покрытия, а также измельчение крупного каменного заполнителя на счет вторичного использования.

Технологии ремикс (REM) – горячая регенерация на месте включает: разогрев старого асфальтобетонного покрытия асфальто-разогревателем до температуры, необходимой для горячего фрезерования, затем старый слой фрезеруется. В регенерируемую смесь вводится регенерирующая добавка (пластификатор), затем производится перемешивание с новой асфальтобетонной смесью, распределение, укладка и последующее уплотнение однородной регенерированной смеси на дороге. Новая смесь добавляется в зависимости от степени износа дорожного покрытия, приблизительно  $15-25 \text{ кг/м}^2$ , что составляет, как правило, 20 процентов от нового слоя износа. Нагрев старого покрытия следует проводить равномерно, чтобы температура поверхности после нагревания была  $\leq 250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Смесь укладывается и уплотняется обычным образом. Температура поверхности покрытия из АБ после прохода укладчика должна быть не менее  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , а покрытия из ЦМА не менее  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Способ применим при ремонте, когда на покрытии много выбоин, волн, наплывов, а также для улучшения свойств асфальтобетонной смеси верхнего слоя старого покрытия. Для выбора нового состава смеси с учетом свойств старого асфальтобетона из покрытия берут керны, исследуют смесь и проектируют новый состав с учетом имеющихся материалов и вяжущих. Технология производства работ методом ремикс представлена на рис. 1.

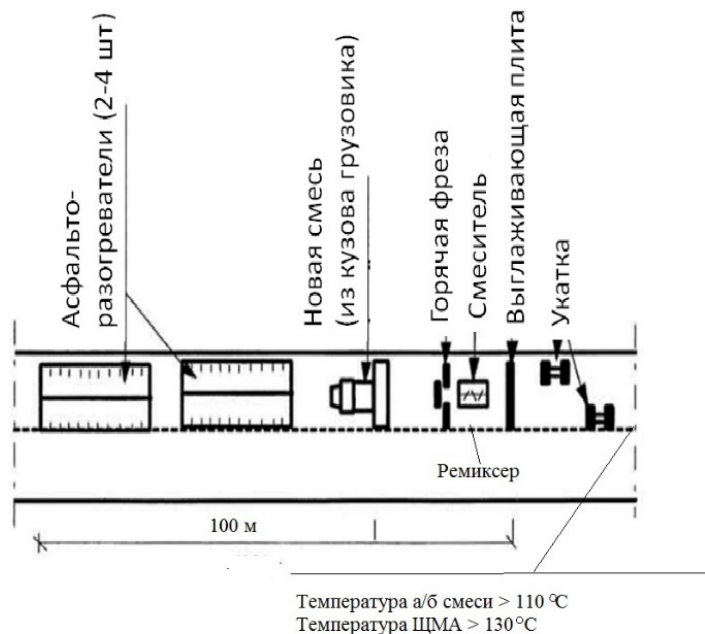


Рис. 1. Технологическая схема регенерации асфальтобетона методом ремикс

Дальнейшим развитием метода регенерации с добавлением новой смеси и ее перемешиванием является метод Ремикс плюс, который состоит в том, что на слой регенерированного асфальтобетона сразу той же машиной укладывается дополнительный слой усиления, или защитный слой из новой смеси. Работы производятся с использованием термо-

смесителя (ремиксера) (рис. 2), оборудованного двумя выглаживающими плитами, когда покрытие укладывается в два слоя (регенерированная смесь снизу и добавляемая смесь сверху). В этом случае в качестве добавляемой смеси используется асфальтобетонная смесь, приготовленная из минерального материала высокого качества (обычно щебнемастичный асфальтобетон (SMA), перемешивание которого со старым покрытием нежелательно), расход составляет 30–40 кг/м<sup>2</sup>.

Старое асфальтобетонное покрытие нагревают, сфрезеровывают, после чего перемешивают и укладывают обратно на дорогу отдельным слоем под слой из новой смеси. При перемешивании к старому покрытию при необходимости добавляется регенерирующая добавка.

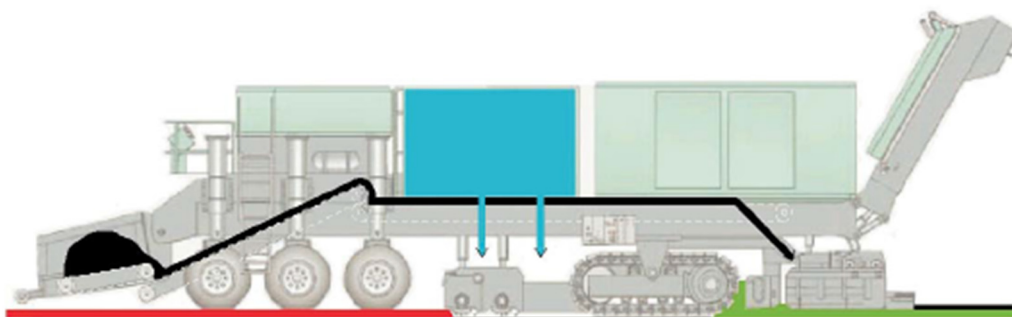


Рис. 2. Установка для регенерации асфальтобетона на месте методом ремикс плюс, где:

	Уже разогретое старое покрытие
	Добавление новой смеси
	Добавление вяжущего
	Новое асфальтобетонное покрытие

Окончательное уплотнение первого и второго слоев производится одновременно, сначала легким вибрационным катком с выключенным вибратором или гладко-вальцевым катком массой 6–8 т, затем продолжают вибрационным катком с включенным вибратором и пневмоколесным катком массой 16–20 т. Завершают уплотнение тяжелым гладковальцовым катком. Технологическая схема представлена на рис. 3.

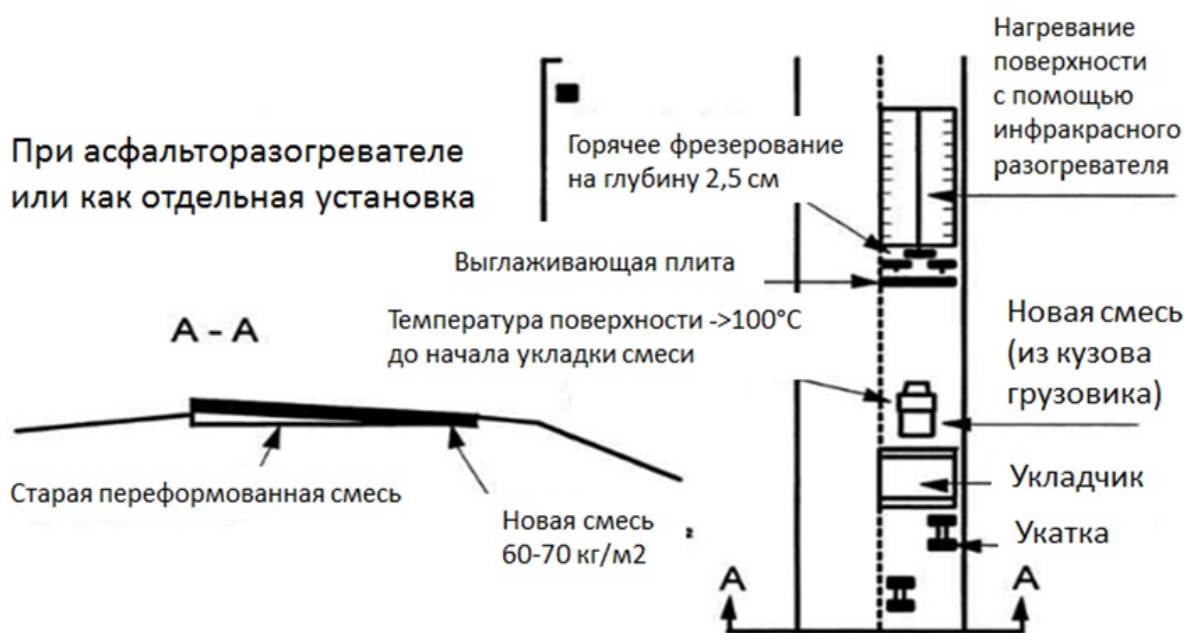


Рис. 3. Технология укладки слоя износа методом ремикс плюс

Таким образом метод ремикс плюс объединил в себе лучшие качества горячей регенерации включая дополнительный слой усиления, который укладывается на слой регенерированного асфальтобетона той же машиной.

Сравнительный анализ применяемости технологии ремикс и ремикс приведены в таблице.

**Таблица применяемости от 0 до 3 баллов**

№	Виды деформации	Remix	Remix+
1	Колейность	2	3
2	Сетка трещин	1	2
3	Продольные и поперечные трещины	2	3
4	Выпотевание битума	3	2
5	Выкрашивание а/б	1	3
6	Неровность покрытия	2	2
7	Скользкость	2	2
8	Водонасыщение земполотна	2	2
9	Ухабы, выбоины	2	3
10	Низкий модуль упругости	2	3

Легенда:

Слабый эффект	Средний эффект	Высокая эффективность
---------------	----------------	-----------------------

Развитие технологии ремикс также можно выделить ремикс колеи. Ремикс колеи – горячее обновление деформированного следа повторным смешением. Применение: неглубокая колейность, продольные трещины, разрушения и выбоины, трещины в виде сетки. Преимущества: ремонтируется только деформированный след, в общем случае разметка дорожки сохраняется, новое покрытие устраивается в один уровень, безопасность движения – ступеньки шва не образуется, можно использовать для всех битумосодержащих покрытий. Недостатками метода являются: максимальный размер зерен заполнителя – 20 мм, минимальная длина рабочей зоны 50–100 м, нельзя ликвидировать продольные неровности. Технологический процесс включает: разогревание покрытия инфракрасным излучателем (грилем), горячее фрезерование (глубиной 4 см), добавление нового асфальтобетона во фрезуемую смесь (25 кг/м<sup>2</sup>), смешение, укладка смеси, уплотнение покрытия комбинированным катком рис. 4.

С методом ремикс колеи схож метод УраРемо (URAREM/URAREMO) – технология ремонта методом горячей регенерации только по одной колее. Метод предусмотрен для покрытий из мягкого асфальтобетона. Фрезуемое устройство (1,25 м) и укладываемая панель (1,25–2,5 м) шире, чем в методе ремикс колеи, кроме того в смесь добавляют битум. Количество нового добавляемого асфальтобетона 30–40 кг/м<sup>2</sup>. Метод УраРемо также применяется для ремонта кромок проезжей части. Технология производства работ методом УраРемо представлена на рис. 5.

Кроме того существует технология восстановления изношенных слоев покрытия из регенерируемого материала методом дробления – Новофлекс (novoflex) или МРКЖ – укладка слоя износа на нагретое, отфрезерованное основание. Преимущества метода: экономия площади (не нужно асфальтировать до кромки покрытия), значительное уменьшение количества смеси, хорошая связь между новым и старым покрытием, а также не требуется устройство выравнивающего слоя. Недостатки: подводка полос к среднему шву, затруднен-

ность производства работ в зонах перекрестков и невозможность производства работ в стесненных условиях (рекомендуемая рабочая площадь больше 2000 м<sup>2</sup>). Технология производства работ включает: разогрев поверхности покрытия инфракрасным излучателем (с грилем), горячее фрезерование, укладка фрезуемого материала, укладка нового тонкого слоя асфальтобетона (слоя износа), уплотнение рис. 6.



Рис. 4. Технология производства работ методом ремикс колеи



Рис. 5. Технология производства работ методом УраРемо.





Рис. 6. Технология производства работ методом Новофлекс.

### Литература

1. Рейтинг российских регионов по обеспеченности легковыми автомобилями. URL: <https://www.autostat.ru/news/34037/> (дата обращения 03.04.2018)
2. Радовский Б.С. Опыт применения технологии холодной регенерации дорожных покрытий в США // Дорожная техника. 2005. С. 176-186.
3. Сычѳв Я. С., Степанец В. Г. Горячая регенерация асфальтобетонных покрытий // Молодой ученый. 2017. № 18. С. 88-95.
4. Горячая регенерация конструктивных асфальтобетонных слоев для устройства оснований дорожных одежд. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ. СТО 017 Нострой 2.25.158 – 2015 (СТО60452903 Союздорстрой 2.1.1.2.4.02-2015). М., 2015.
5. ОДМ 218.3.004-2010. Методические рекомендации по профилированию асфальтобетонных покрытий. М.: Федеральное дорожное агентство (издан основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 11.01.2011 № 8-р). М., 2011.

### УДК 69.059.3:691.175

*Владимир Николаевич Глухих*, д-р техн. наук,  
профессор

*Владимир Маркович Петров*, д-р техн. наук,  
профессор

*Егор Вадимович Худаев*, магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: Boturdar@mail.ru

*Vladimir Nikolayevich Gluhih*, Dr. of Tech. Sci.,  
Professor

*Vladimir Markovich Petrov*, Dr. of Tech. Sci.,  
Professor

*Egor Vadimovich Khudaev*, student  
(Saint Peterburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: Boturdar@mail.ru

## УСИЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ БАЛОК СТАЛЬНЫМ ПРОКАТОМ И КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

### REINFORCEMENT OF BUILDING BEAMS WITH STEEL ROLLED PRODUCTS AND COMPOSITE MATERIALS

В работе рассмотрены варианты усиления деревянных балок металлическим швеллером и пластиной из углепластика. Усиление композиционными материалами проводится при приклеивании листов из углепластика к деревянной балке в растянутой зоне. Расчет усиления производится методом условного приведения разномодульных составляющих сечения к однородной. Задача решена без учета податливости соединений швов. Исследование показало, что усиление деревянных балок металлическим швеллером увеличивает несую-

щую способность в 1,49 раз, но увеличивает массу на 21 кг/м, а усиление наклейкой углепластика дает увеличение в 1,41 раза и увеличение массы конструкции на 16 кг/м, что играет решающую роль в выборе способа усиления.

*Ключевые слова:* усиление балок, деревянные конструкции, полимерные материалы, углепластик, композиционные материалы, расчет усиления балок.

The paper considers options for strengthening wooden beams with a metal channel and a plate made of carbon fiber. Strengthening of composite materials is carried out by gluing sheets from CFRP to a wooden beam in a stretched zone. The calculation of reinforcement is made by the method of conditional reduction of the non-modular components of the cross section to a homogeneous one. The problem is solved without taking into account the compliance of joints. The study showed that the reinforcement of wooden beams with a metal channel increases the bearing capacity by 1.49 times, but increases the weight by 21 kg / m, and the reinforcement with a carbon fiber sticker gives the increase by 1.41 times and the increase in the weight of the structure by 16 kg / m, which plays decisive role in choosing the method of amplification.

*Keywords:* reinforcement of beams, wooden structures, polymeric materials, carbon plastic, composite materials, calculation of beam strengthening.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений при действии различных факторов (осадки, появление дефектов в материалах конструкций, землетрясения и т. д.) возникает необходимость ремонта, восстановления и усиления конструкций.

Особенно это касается материалов растительного происхождения, которые чувствительны к температурно-влажностным воздействиям.

В случаях невозможности замены элементов конструкции на новые требуется ремонт, реставрация, восстановление и, как следствие, усиление старой конструкции при ее сохранении.

Применение современных материалов с наперед заданными свойствами делает такую задачу практически достижимой. Новые высокопрочные материалы – композиционные материалы – без ущерба для внешнего вида и габаритов конструкции значительно повышают срок ее службы и надежность.

Рассмотрим на примере строительной балки из такого наиболее распространенного природного композиционного материала как древесина. Для повышения ее несущей способности используем стальной прокат в виде, например, швеллера, что особо не отразится на габаритах балки по высоте сечения (рис. 1).

Балку, составленную из разнородных материалов, рассчитываем условно заменяя ее сечение «приведенным» сечением из одного материала, эквивалентным заданному. Из условия эквивалентности и на основании гипотезы плоских сечений следует равенство продольных относительных деформаций основного и «приведенного» сечений. При этом напряжения в составных частях балки будет зависимым от отношения модулей упругости материалов этих частей. Если, например, в деревянной полке, заменяющей стальную, величина напряжений должна быть в 20 раз меньше, чем в стальной, то ширину полосы в «приведенном» сечении необходимо во столько же раз увеличить, где число 20 есть отношение модулей упругости стали и древесины. И наоборот, если дерево заменить сталью, то в «приведенном» сечении ширину следует принять в 20 раз меньшую.

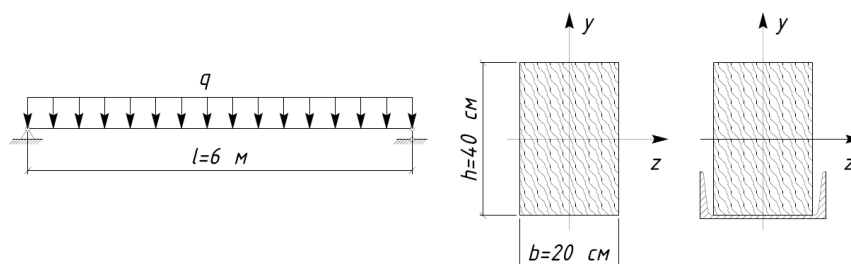


Рис. 1. Расчетная схема строительной балки:  
а – с традиционной формой прямоугольного сечения;  
б – с усилением за счет стального прокатного профиля

Для расчета примем  $b \times h = 20 \times 40 \text{ см}$ ; швеллер № 22;  $I_z = 151 \text{ см}^4$  (ГОСТ 8240-89);  
 $y_0 = 2,21 \text{ см}$ ;  $A = 26,7 \text{ см}^2$

Приведенная площадь сечения:

$$A_{np} = A_{дер} + nA_{см} = 800 + 20 \cdot 26,7 = 1334 \text{ см}^2 = 0,1334 \text{ м}^2$$

Определяем положение общего центра тяжести сечения:

$$y_c = \frac{S_{z1npus}}{A_{npus}} = \frac{A \left( \frac{h}{2} + s - z_0 \right) n}{1334} = \frac{26,7 \left( \frac{40}{2} + 0,54 - 2,21 \right) 20}{1334} = \frac{26,7 \cdot 18,33 \cdot 20}{1334} = 7,337 \text{ см}$$

$$y_c = 7,337 \text{ см.}$$

где  $s$  – толщина стенки швеллера.

Момент инерции приведенного сечения:

$$I_{z_0} = \frac{20 \cdot 40^3}{12} + 20 \cdot 40 \cdot y_c^2 + n \left[ I_z + y_j^2 \cdot A \right] =$$

$$= 106666,7 + 20 \cdot 40 \cdot 7,337^2 + 20 \left[ 151 + 26,7 \left( \frac{40}{2} + 0,54 - 2,21 - 7,337 \right)^2 \right] =$$

$$= 149731,9 + 67551,8 = 217283,7 \text{ см}^2$$

Расчетное значение изгибающего момента:

$$M(x) = \frac{ql^2}{8} = \frac{\kappa H}{m} \cdot \frac{m^2}{8} = q \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{8 \cdot 10^3} = 4,5 \cdot 10^3 \cdot q \text{ кН} \cdot \text{мм}$$

Напряжение в деревянной части балки:

$$\sigma_{дер} = \frac{M(x)}{I_{z_0}} y = \frac{4,5 \cdot 10^3 \cdot q \cdot 10^3}{217283,7 \cdot 10^4} y = 0,00207 \cdot q \cdot y \text{ МПа}$$

- при  $y = 27,337 \text{ см}$ :  $\sigma_{дер} = 0,00207 \cdot 273,37 \cdot q = 0,565q \text{ МПа}$ ;
- при  $y = 0 \text{ см}$ :  $\sigma_{дер} = 0$ ;
- при  $y = 5 \text{ мм}$ :  $\sigma_{дер} = 0,00207 \cdot 50 \cdot q = 0,103 \cdot q \text{ МПа}$
- при  $y = 13,203 \text{ см}$ :  $\sigma_{дер} = 0,00207 \cdot 132,07 \cdot q = 0,273q \text{ МПа}$

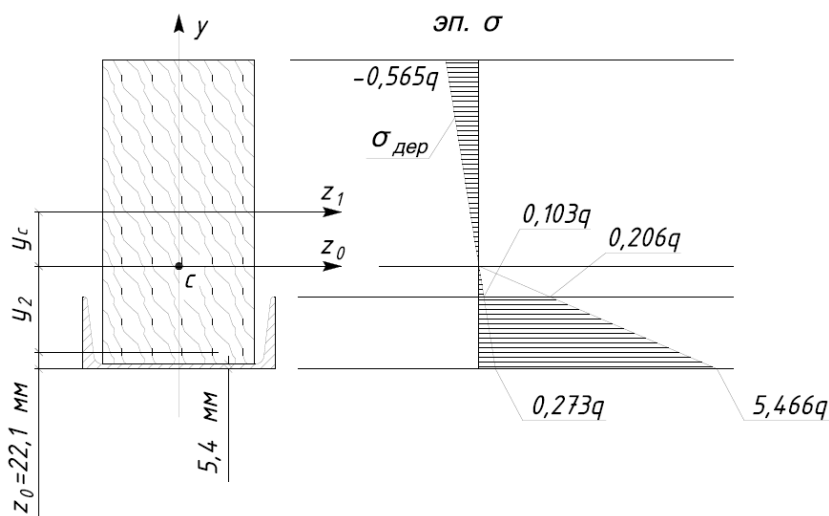


Рис. 2. Нормальные напряжения в балке усиленной металлическим швеллером

Если ординаты эпюры  $\delta_{дер}$  умножим на коэффициент приведения  $n = \delta_{ст} / \delta_{дер} = 20$ , то получим соответствующие напряжения в стальной части, т. е.  $\delta_{ст}^{см} = 20 \cdot 0,273 \cdot q = 5,466q$  МПа. Масса усиливающей конструкции равна 126 кг, увеличение массы на погонный метр составит 21 кг/м.

Таким образом, вновь вводимая стальная часть берет на себя значительную часть нагрузки. Покажем это таким расчетом для деревянной балки без стальной части (рис. 3):

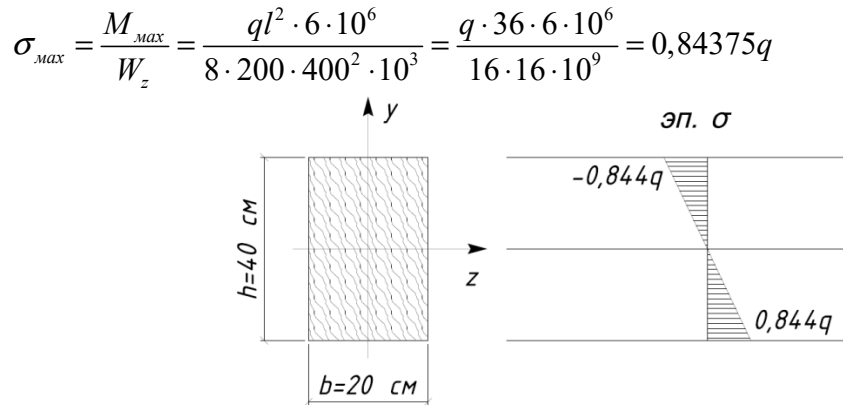


Рис. 3. Нормальные напряжения в сечении балки без усиления

Сравнение грузоподъемности балки усиленной стальным швеллером с балкой без усиления:

$$\frac{0,84375q}{0,565q} = 1,4933$$

Можно с этим вариантом сравнить деревянную балку с приклеенным полимерным композиционным материалом в растянутой зоне (рис. 4):

$$\frac{E_{комп}}{E_{дер}} = 13,$$

$$y_c = \frac{20 \cdot 40 \cdot 21 + 13 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 1}{20 \cdot 40 + 13 \cdot 1 \cdot 20} = 15,97 \text{ см},$$

$$I_{np} = \frac{20 \cdot 40^3}{12} + 20 \cdot 40 \cdot 5,03^2 + 13 \left( \frac{20}{12} + 20 \cdot 15,47^2 \right) = 189152,48 \text{ см}^4 = 1,892 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4,$$

$$\sigma_{дер}^{верх} = \frac{ql^2 250,3}{8I_{np}} = \frac{q \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot 250,3}{8 \cdot 189152 \cdot 10^4} = 0,59547q,$$

$$\sigma_{дер}^{низ} = \frac{149,7ql^2}{8I_{np}} = \frac{q \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot 149,7}{8 \cdot 189152 \cdot 10^4} = 0,35614q,$$

$$\sigma_{ст}^{верх} = 13 \cdot 0,35614 \cdot q = 4,6298 \cdot q,$$

$$\sigma_{ст}^{низ} = \frac{q \cdot 13 \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot 159,7}{8 \cdot 189152 \cdot 10^4} = 4,9391q.$$

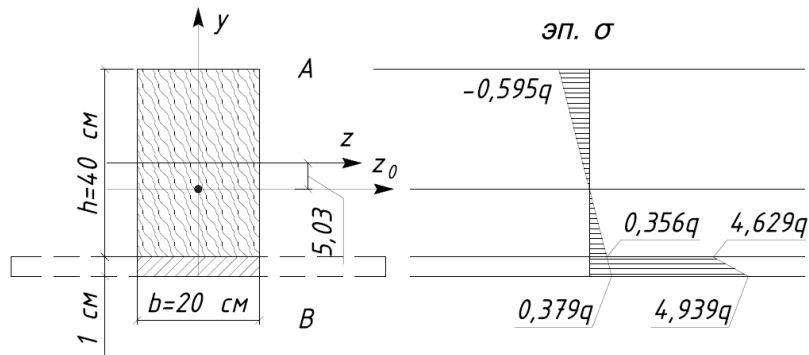


Рис. 4. Нормальные напряжения в балке усиленной наклейкой листа из углепластика

Масса элемента усиления 96 кг. Увеличение массы на погонный метр составит 16 кг/м.

Необходимо учитывать, что усиление, препятствующее развитию разрушения от действия изгибающего момента, может повысить вероятность появления разрушения от действия поперечной силы и касательных напряжений. Определим прочность клеевого шва при скалывании:

$$\tau_{max} = \frac{Q_y S_x^{omc}}{I_x b} = \frac{25,03 \cdot 20 \cdot 12,515 \cdot Q_y}{1,892 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2} = 16,55 \cdot 10^6 Q_y,$$

$$\tau_{max} \leq 35 \text{ МПа}.$$

Сравнение грузоподъемности балки с усилением и без усиления углепластиком:

$$\frac{0,84375q}{0,59547q} = 1,4169.$$

Грузоподъемность при усилении повышается в 1,4169 раза. График зависимости несущей способности балки от толщины наклеиваемого материала усиления приведен на рис. 5.

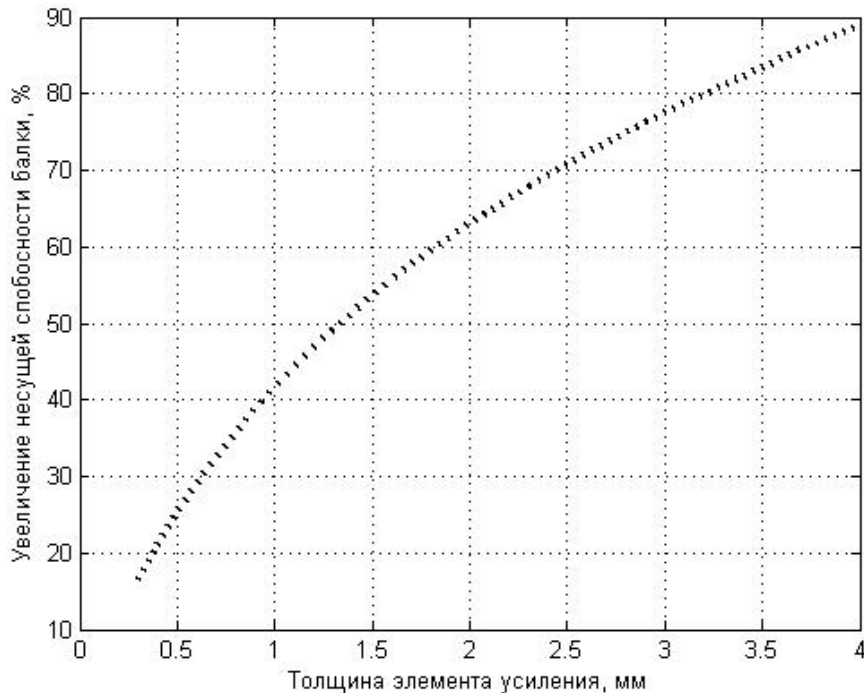


Рис. 5. График зависимости несущей способности балки от толщины наклеиваемого материала усиления

Таким образом, подбирая материалы по величине модуля упругости, можно усилить строительную балку до требуемого уровня.

Результаты исследования по повышению прочности балок при восстановлении, ремонте либо реконструкции позволяют в необходимых случаях сохранить строительную конструкцию при наименьших затратах. Применение высокопрочных композиционных материалов на основе волокон углерода, стекла, металлов делают эту задачу практически осуществимой.

Использование композиционных материалов на основе древесины, чувствительной к изменениям влажности среды, потребует влагоизоляции с целью предотвращения порчи и гниения и, что, в конечном счете, приведет к увеличению срока службы. Для защиты погонажных изделий от окружающей среды можно при их изготовлении защитить их поверхности способом намотки тканевых полос из композиционных материалов, армированных высокопрочными волокнами углерода, стекла и др.

Решенная задача выполнена без учета податливости соединений слоев из разнородных материалов. Податливость соединений (клеевых, на шурупах, с применением когтевых шайб, на гвоздях и т. д.) не отразится на основных выводах этого исследования.

Основными недостатками внешнего усиления строительных конструкций углепластиком являются возможные риски отказа от пожара, вандализма и случайных повреждений незащищенной конструкции. Поэтому при проектировании усиления необходимо учитывать, что наиболее благоприятным случаем эксплуатации конструкции после усиления будет восприятие усиливающим элементом из полимерного композиционного материала всей временной нагрузки (кратковременной и длительной), а постоянную нагрузку, особенно от собственного веса будет воспринимать усиливаемая конструкция. Это положение играет важную роль при усилении мостовых конструкций. Композиционные материалы можно защитить как от вандализма, так и от пожара нанесением специальных покрытий.

Таким образом можно сказать, что усиление строительных конструкций композиционными материалами является менее трудоемким и энергозатратным процессом по сравнению со всеми другими аналогичными способами усиления. Это обстоятельство имеет немаловажное значение при ремонте и усилении многих конструкций, например, мостовых на автодорожных и железнодорожных магистралях, когда их отказ (временное прекращение эксплуатации) во время проведения ремонтных работ приводит к значительным финансовым потерям.

### **Литература**

1. Александров А. В. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. – Смоленск: Издательство «Высшая школа», 2004. – 560 с.
2. Батаев А. А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
3. Иванов В. А. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебник для вузов / Иванов В. А., Куницкий Л. П., Кормаков Л. И. – Киев: Издательство «Будівельник», 1970. – 504 с.
4. ГОСТ 8240-97. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
5. Шилин А. А., Пшеничный В. А., Кутузов Д. В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: ОАО Издательство «Стройиздат», 2004. – 144 с.

УДК 69:678

*Владимир Николаевич Глухих*, д-р техн. наук,  
профессор

*Дарья Владимировна Ли*, студент

*Юлиана Игоревна Малявка*, студент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: darya.lee2015@yandex.ru*

*Vladimir Nikolayevich Glukhikh*, Dr of Tech. Sci.,  
Professor

*Darya Vladimirovna Li*, student

*Yuliana Igorevna Malyavka*, student

(Saint Petersburg State University of Architecture  
and Civil Engineering)

*E-mail: darya.lee2015@yandex.ru*

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### TO THE QUESTION OF THE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTION

По имеющимся данным почти половина энергии потребляется на отопление жилищ, поэтому повышение энергоэффективности домов является востребованным направлением в строительстве. Сократить энергопотребление домов возможно не только за счет современных инженерных установок, но и с помощью устройства простой крыши дома – предусмотрев более пологий двускатный вариант, при котором снег будет удерживаться на кровле и служить дополнительным теплоизолятором в зимнее время. При этом для устройства данной крыши можно использовать такой природный композиционный материал, как древесина. Учитывая приобретенную деревом напряжённость в процессе его роста, можно спроектировать скаты крыши с естественной кривизной. Конструкционные пиломатериалы с требуемой кривизной могут быть отобраны для изготовления различных архитектурно-строительных конструкций по результатам силовой сортировки. Такие конструкции представляют особый интерес при проектировании и изготовлении домов сферической, либо овальной формы, а также при строительстве перекрытий зданий, пролетов деревянных пешеходных мостов, переходов, спортивных арен.

*Ключевые слова:* энергоэффективность, композиционный материал, древесина, естественная кривизна, конструкция.

According to the information available almost half of the energy is consumed for the heating of dwellings, therefore the improving energy efficiency of the houses is a high demand course in construction. The energy consumption reduction of the homes realizes not only due to modern engineer installations but by dint of a device of simple roof, providing a more sloping variant, in which the snow will stay on the roof and serve as an additional thermal insulant in the winter. In doing so to set this roof the natural composite material such as wood can be used. Taking into account the wood's acquired tensity during it's growth, the slopes of a roof with natural curvature may be designed. Composite lumber with required curvature may be selected for the production of the various architectural structures using results of stress grading. Such constructions are of special interest in designing and production of the houses with spherical or oval shape and also in the construction of building slabs, wooden pedestrian bridges' spans, crossings, sport arenas.

*Keywords:* energy efficiency, composite material, wood, natural curvature, construction.

По имеющимся в литературе данным почти половина энергии потребляется на отопление жилищ. Учитывая, что по оценкам различных экспертов источников энергии (нефти, газа и угля) в мире осталось максимум на сто лет, повышение энергоэффективности домов является инновационным направлением в строительстве.

Сокращение энергопотребления домов возможно за счёт максимального использования солнечной энергии (гелиоздания), за счёт использования герметизации и теплозащиты зданий, новых материалов с высокими теплоизоляционными свойствами, слоистых (композиционных) материалов с высокой прочностью для создания легких высокоэффективных ограждающих конструкций, а также за счёт применения автоматического (компьютерного) управления инженерным оборудованием здания. Лидерами в разработке конструкций энергоэффективных домов в мире являются Дания, Германия и Финляндия. В России строительство энергоэффективных зданий находится пока на стадии эксперимента, хотя в Канаде, с близкими к российским климатическим условиям, уже существует опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий. При строительстве 1–3-х этажных домов на северной стороне устраивается только одно окно для освещения кухни. Мини-

мальное количество окон проектируется также в восточной и западной сторонах. Южная стена полностью остеклена, при этом только 30 % остеклённой поверхности предназначено для естественного освещения помещений. В остальной части, за остеклением, находится стена, окрашенная в чёрный цвет, и зазор между этой стеной и остеклением служит своего рода солнечной теплицей на всю высоту здания, и за счёт этого происходит нагрев стены дома солнечной энергией. Это позволяет уменьшить теплопотери здания в холодное время суток. В России накапливается опыт размещения между остеклением и наружными ограждающими конструкциями лёгких волокнистых плит из композиционных материалов на основе стекловолокон с повышенными теплоизолирующими свойствами.

Сэкономить энергию можно даже путём устройства простой крыши дома – предусмотрев более пологий двускатный вариант, при котором снег будет удерживаться на кровле и служить дополнительным теплоизолятором в зимнее время. При этом для устройства такой крыши можно использовать такой природный композиционный материал, как древесина. Учитывая природную особенность древесины – приобретённую деревом напряжённость в процессе его роста, можно спроектировать скаты крыши с естественной кривизной (рис. 1), позволяющей удерживать снег на ней там, где это необходимо. Строительный брус в таких случаях лучше изготавливать в виде клеёной деревянной конструкции с естественной кривизной, что позволит либо замедлить, либо ускорить сход снега с тех участков крыши, с которых это потребуется с точки зрения энергосбережения либо безопасного схода снега с крыши (рис. 2).

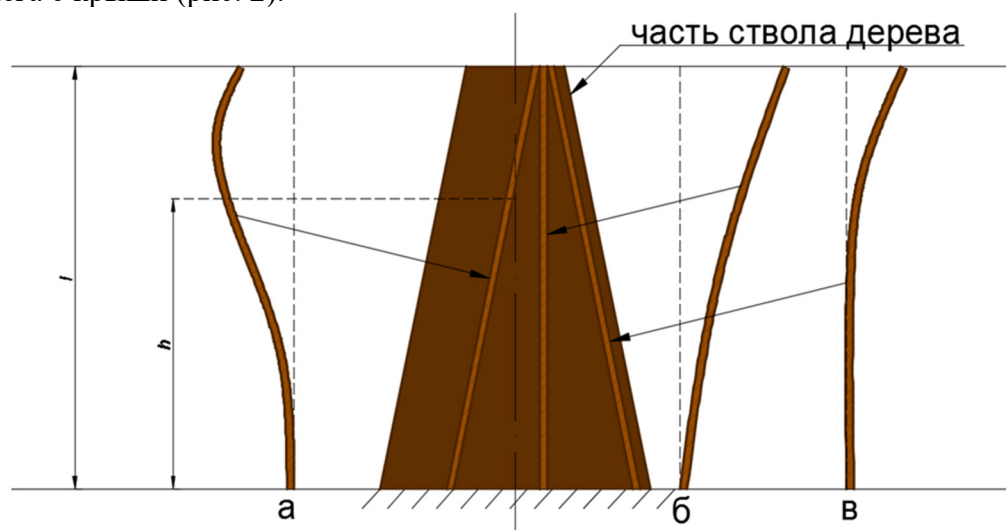


Рис. 1. Естественная кривизна конструктивных пиломатериалов, появляющаяся за счёт начальных напряжений, образующихся в стволе дерева в процессе его роста:  
*а* – при распиловке бревна параллельно образующей с выходом торцов доски на разные стороны от его продольной оси; *б* – при распиловке традиционным способом; *в* – естественный изгиб доски при расположении её торцов по одну сторону от оси бревна

Конструктивные пиломатериалы с требуемой кривизной могут быть отобраны для изготовления стропильного бруса по результатам силовой сортировки на специальных сортировальных машинах.

Аналогичным образом могут быть отсортированы заготовки для изготовления клееных, арочных и сводчатых деревянных конструкций, лестничных перил, клееных конструкций с естественной кривизной.

Определенный интерес представляет использование конструкций из композиционного материала с естественной кривизной при проектировании и изготовлении домов сферической, либо овальной формы. Такие здания должны быть достаточно лёгкими, энергоэффективными, каркасного типа, и они могут быть на стационарном фундаменте неподвижными, либо вращающимися вслед за солнцем.



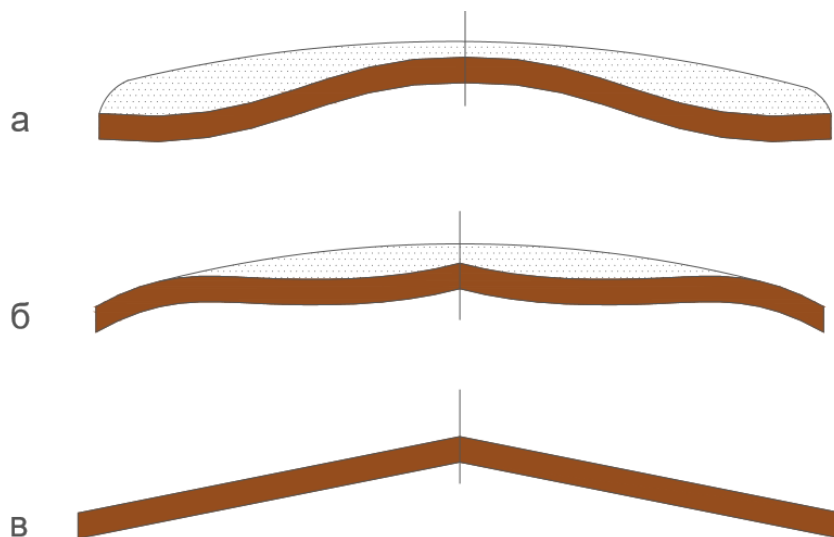


Рис. 2. Схема пологой крыши с разной кривизной участков из композиционного природного материала на примере древесины: *a* – снег задерживается на все поверхности скатов; *б* – снег на краях скатов не задерживается, распределяется по всей основной поверхности; *в* – снег не задерживается на скатах

Для таких зданий потребуются лёгкие, прочные, недорогие композиционные материалы, и многие конструкции в этих зданиях могут быть изготовлены из наиболее известного природного композиционного материала, как древесина.

Клееные деревянные конструкции в виде арок, сводов, балок с естественной кривизной могут быть использованы при строительстве перекрытий зданий (примером этому может служить перекрытие зала заседаний европарламента), пролетов деревянных пешеходных мостов, переходов, спортивных арен. В таких конструкциях, находящихся в помещениях, не предусматривается защита от атмосферных осадков. Однако, потребуется проводить чистовую обработку лицевых поверхностей с последующей отделкой, тонированием, окраской. В случае возникновения необходимости защиты такой конструкции от атмосферных осадков можно использовать композиционные материалы (в виде армированных тончайшими волокнами из углерода, стали, стекла, тканевых полос), которые путем намотки в несколько слоев со смолами одновременно усиливают такую конструкцию и значительно увеличивают срок службы изделия. В таком случае значительно возрастет потребность в древесине, как в природном композиционном материале, и в полосах тканей, армированных высокопрочными нитями.

В последующих публикациях авторы планируют предложить методику расчета и отбора конструкционных пиломатериалов с естественной кривизной и с учетом начальных напряжений, образовавшихся в стволах деревьях в процессе их роста.

Материалы наших исследований имеют научный и практический интерес, кроме выше изложенного, при разработке новых композитов, в том числе с предварительно напряженными слоями армирующих волокон.

## Литература

1. Акопян А.Л., Глухих В.Н., Прилуцкий А.А. «К вопросу использования некоторых особенностей природных материалов при разработке композитов для строительных материалов // Фундаментальные исследования-2016. – № 3-2.-С. 235-239
2. Глухих В.Н., Акопян А.Л. Начальные напряжения в древесине-СПб.: СПбГАСУ.-2016.-118с.
3. Глухих В.Н., Кирютина С.Е., Богданова А.Д. Влияние начальных напряжений в древесине на прочность и формоустойчивость деревянных конструкций [Текст] / В.Н. Глухих, С.Е. Кирютина, А.Д. Богданова // Известия ПГУПС, 2017, № 4(49) с.600-616 ФГБОУ ВО ПГУПС

4. Формирование прочности древесины при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в процессе роста дерева – Change in Wood Strength under Static Bending and Compression Along Fibers in the Process of the Growth / Architecture and Engineering, Glukhikh V.N. // Vol.2, Issue 1, № 21 (2017) S. 26-31 DOI: 10.23968/2500-0055-2017-2-1-24-31

5. Милашечкина О.Н., Ежова И.К. Энергосберегающие здания – 2006

6. <https://www.greenside.ru/service/sustemupgrade/effectivehouse/>

7. [https://stroim.mos.ru/builder\\_science/energoeffektivnye-zhilye-doma-mirovaya-i-otechestvennaya-praktika-proektirovaniya-i-stroitelstva](https://stroim.mos.ru/builder_science/energoeffektivnye-zhilye-doma-mirovaya-i-otechestvennaya-praktika-proektirovaniya-i-stroitelstva)

8. <https://www.c-o-k.ru/review/samye-izvestnye-v-mire-energoeffektivnye-zdaniya>

9. <http://iptv-vip.ru/novosti-hi-tech/print:page,1,806-kosmicheskii-plavayuschiy-eko-dom-na-solnechnykh-batareyah-s-pochti-na-100-iz-vtorichnoy-pererabotki.html>

### УДК 691.175.3

*Владимир Маркович Петров*, д-р техн. наук,  
профессор

*Денис Валерьевич Нижегородцев*, магистрант

*Сергей Павлович Яковлев*, ассистент

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: tehme@spbgasu.ru,*

*medvedko0ya@yandex.ru, yakovlev\_sp@mail.ru*

*Vladimir Markovich Petrov*, PhD of Sci. Eng.,  
Professor

*Denis Valer'evich Nizhegorodcev*, Graduate Student

*Sergey Pavlovich Yakovlev*, Professor Assistant

(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)

*E-mail: tehme@spbgasu.ru,*

*medvedko0ya@yandex.ru, yakovlev\_sp@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ В ВИДЕ ПЛИТ ИЗ БЕТОНА, АРМИРОВАННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ РЕШЁТКОЙ ИЗ ПЛОСКИХ КОМПОЗИТНЫХ ВСТАВОК

### INVESTIGATION OF CONCRETE PLATE SPECIMENS, REINFORSED BY RECTANGULAR LATTICE FROM PLATE COMPOSITE BOXES

Работа посвящена актуальной проблеме повышения сцепления цементного камня с арматурой, возникающей при армировании бетона пластинами из полимерных композиционных материалов. В качестве примера рассмотрено армирование бетонной плиты ортогональной решёткой из стеклотекстолитовых пластин, покрытых тонким слоем углеродных волокон, либо без них. Испытания показали возможность взаимного проскальзывания арматуры и цементного камня; в зоне вокруг применяющихся для его снижения отверстий в пластинах армирования наблюдается существенная (и наибольшая по всей плите) концентрация напряжений. Вместе с тем, разрушение таких плит носит прогнозируемый характер, что можно положить в основу концепции управления процессом разрушения таких плит. Кроме того, указан фактор, лимитирующий несущую способность пластин армирования – концентрация напряжений в их соединениях между собой.

*Ключевые слова:* армирование композитными пластинами, сцепление, конечно-элементное моделирование, концентрация напряжений, механические испытания, прогнозируемый характер разрушения.

The work is dedicated to actual cement stone with armature adherence heightening problem, which appears while FRP reinforcing. As example, we study reinforcing by orthogonal lattice from fiberglass plates, which are covered by thin layer of carbon fibers, or without them. Test showed the possibility of slippage cement stone about armature, in holes in plates, which are applied it's decreasing, neighborhood we see significant (and most during whole reinforced concrete plate) stress concentration. At the same time, experimental plates fracture character predicted. On this fact may be based concept of such plates fracture management. As addition, we point on factor, which limits the reinforcing plates bearing capability – stress concentration in their connections.

*Keywords:* FRP reinforcing, adherence, finite-element modelling, stress concentration, mechanical tests, fracture character.

**Введение.** В последние годы предлагается всё большее число технических решений по замене традиционных материалов армирования бетонов на полимерные композиционные. В качестве преимуществ можно указать неподверженность коррозии, снижение массы, использование анизотропии свойств композитов для управления физико-механическими характеристиками.

Вместе с тем, можно указать ряд особенностей, имеющих место при использовании в изделиях подобного рода композитной арматуры. Так, при близких характеристиках жёсткости бетона и арматуры (т. е. при малой неоднородности среды) арматура уже не будет воспринимать большую долю нагрузки (не будет существенных скачков напряжений при переходе от монолита бетона в арматуру); концентрация напряжений на границах раздела сред цементный камень – композитная арматура достаточно мала. С другой стороны, сказанное означает, что композитная арматура не является в общем случае несущим элементом бетонной плиты. Более того, результаты собственных исследований, а также исследований других авторов [1-12] показывают, что адгезия бетона к такой арматуре крайне мала.

В статье рассматривается бетонная плита (бетон М200) с композитной (стеклотекстолит СТЭФ ГОСТ 12652-74) арматурой. Габаритные размеры плиты  $B \times H \times T = 1200 \times 600 \times 80$  мм. Армирование плиты производилось объёмной решёткой из перпендикулярно расположенных стеклотекстолитовых пластин, покрытых для увеличения шероховатости и адгезии (следовательно, сцепления) слоем углеродных волокон толщиной до 0,8 мм. Несущими в конструкции плиты являются продольные элементы решётки (6 пластин  $1170 \times 60 \times 2$  с пропилами (пазами) глубиной 10 мм и шириной 2 мм для монтажа, расположенными сверху (что препятствует их раскрытию), а также одним рядом отверстий диаметром 12 мм), ячейки ориентированы продольно. Поперечное армирование – 7 пластин  $590 \times 60 \times 2$ , пропил глубиной 50 мм и шириной 2 мм, 2 ряда отверстий. В современной отечественной практике мало изучены вопросы поведения данного класса конструкций из бетона с композитной арматурой при различных способах приложения нагрузки (в частности, при изгибе). Поэтому актуальны вопросы, связанные с моделированием и расчётом плит, а также сравнения их результатов с результатами испытаний.

**1. Конечно-элементное моделирование и расчёт плиты под нагрузкой.** Рассматривался изгиб плиты под действием распределённого по части поверхности давления  $p = 50$  кПа в пределах зоны линейной упругости. Материалы элементов плиты и их упругие свойства следующие: бетон М200, модуль Юнга 19,5 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,2; арматура – стеклотекстолит СТЭФ (углеродные волокна не учитывались), модули упругости вдоль и поперёк волокон 21 и 17 ГПа соответственно, коэффициенты Пуассона 0,15 и 0,11. Различием модулей упругости бетона при растяжении и сжатии в расчёте пренебрегалось. Расчёт производился методом конечных элементов, средствами САЕ-системы ANSYS версии 17.1, использовался программный модуль Workbench. При этом рассматривался прилежащий к плоскостям симметрии фрагмент пластины, состоящий из четырёх четвертей ячеек армирования. Закрепления моделировались ограничением вертикальных перемещений одной из нижних кромок, давление  $p$  приводилось к противолежащей верхней кромке (рис. 1). Такая идеализация граничных условий используется с целью максимального удаления центральной области от зон проявления краевых эффектов. Кроме того, отдельно учитывались условия на плоскостях симметрии.

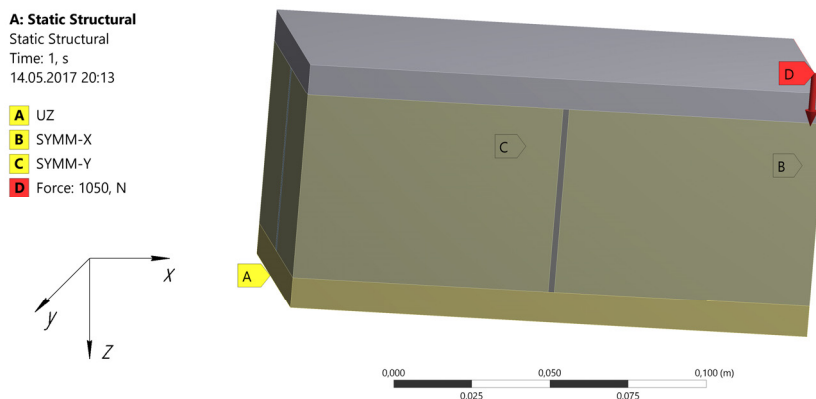


Рис. 1. Граничные условия для элемента плиты

Радиусы скругления внутренних углов пропилов пластин приняты равными 0,1 мм. Контакт продольной и поперечной пластин армирования рассматривается при величине натяга 30 мкм, коэффициент трения в соединении пластин, а также, ввиду низкой адгезии бетона к арматуре (что было выяснено в процессе испытаний), между бетоном и арматурой, принят равным 0,2. Соединение пластин армирования с бетоном считается жёстким. Характерный размер сетки конечных элементов принят равным 1 мм.

В таблице приводятся значения теоретического коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_{\sigma_i} = \max(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_i / (\sigma_{\text{ЭКВ III}})_\infty$ , где  $\max(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_i$  – максимум эквивалентного напряжения по III гипотезе прочности (материал хрупкий) в  $i$ -й зоне концентрации,  $(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_\infty$  – характерная величина эквивалентного напряжения вдали от зон концентрации. Отдельные результаты расчётов представлены на рис. 2.

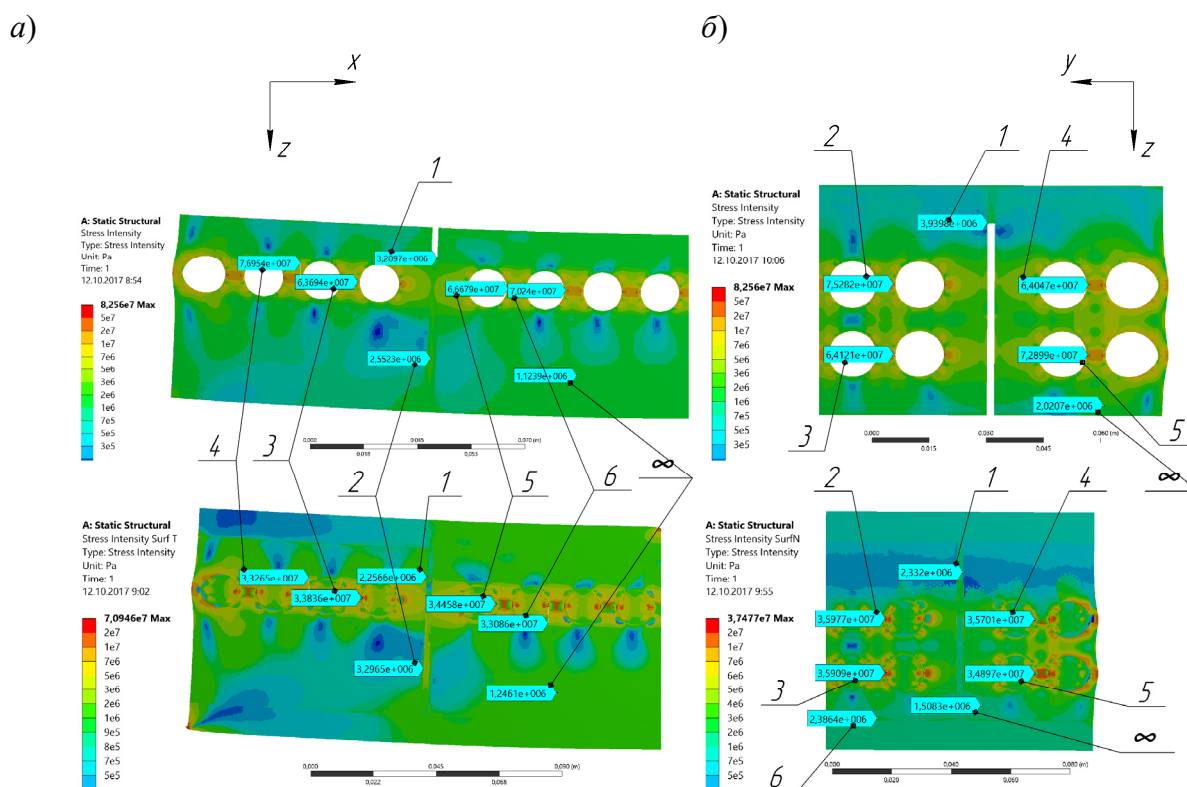


Рис. 2. Распределения эквивалентного напряжения по поверхности пластины армирования (вверху) и по сечению цементного камня на уровне армирования (внизу):  
 а – пластины продольного армирования, б – поперечного.

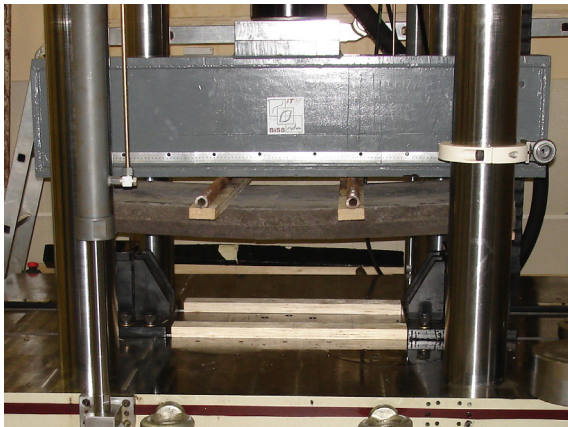
Номерами отмечены соответствующие таблице зоны концентрации напряжений; обозначение «∞» соответствует  $(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_\infty$

Пластина продольного армирования, $(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_\infty = 1,1 \text{ МПа}$						
Зона концентрации	1	2	3	4	5	6
$\alpha_\sigma$	2,9	2,3	56,7	68,5	59,3	62,5
Пластина поперечного армирования, $(\sigma_{\text{ЭКВ III}})_\infty = 2,0 \text{ МПа}$						
Зона концентрации	1	2	3	4	5	
$\alpha_\sigma$	2,0	37,3	31,7	31,7	36,1	

Бетон в сопряжении с пластиной продольного армирования, $(\sigma_{\text{экв,III}})_{\infty} = 1,2 \text{ МПа}$						
Зона концентрации	1	2	3	4	5	6
$\alpha_{\sigma}$	1,8	2,6	27,2	26,7	27,7	26,6
Бетон в сопряжении с пластиной поперечного армирования, $(\sigma_{\text{экв,III}})_{\infty} = 1,5 \text{ МПа}$						
Зона концентрации	1	2	3	4	5	6 (кромка пластины)
$\alpha_{\sigma}$	1,5	23,9	23,8	23,7	23,1	1,6

**2. Методика испытаний образцов.** Испытания проводились в Механической лаборатории СПбГАСУ на серво-гидравлической испытательной машине Magnum UT-05-1000 (максимальное усилие сжатия 2000 кН; производство компании BISS ITW, Индия, 2014 г.), (рис. 3, а) по схеме четырёхточечного изгиба (рис. 3, б).

а)



б)

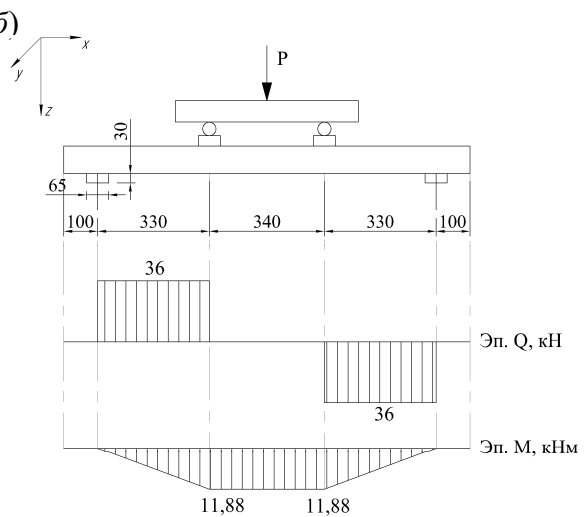


Рис. 3. Нагружение плиты при испытаниях:  
а – схема испытаний; б – расчётная схема и соответствующие пиковой нагрузке эпюры

На рис. 4 представлен график испытания плиты в осях «нагрузка-перемещение». «Ступени» ниспадающей ветви графика соответствуют нарушению сцепления цементного камня с арматурой и, далее, разрушению отдельных пластин армирования.

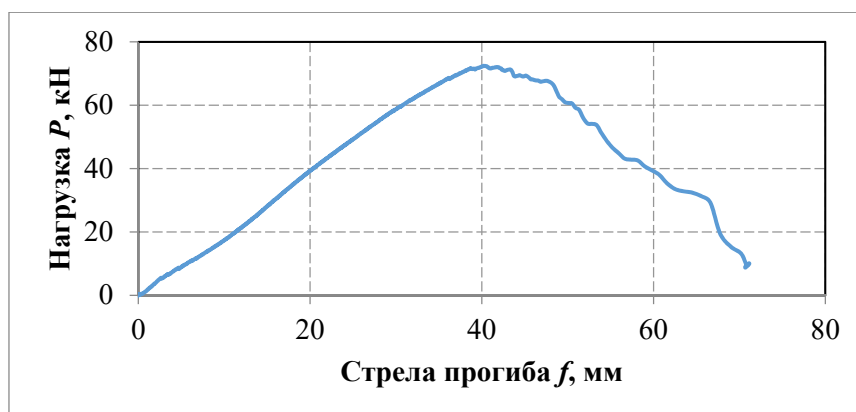


Рис. 4. График испытания экспериментальной армированной плиты

### **Обсуждение результатов теоретических и экспериментальных исследований.**

Несмотря на низкую механическую прочность и хрупкий характер разрушения бетонных плит, армированных решёткой из стеклотекстолитовых пластин (в сравнении с армированными стальной арматурой плитами) разрушение подобных плит носит прогнозируемый характер, что позволяет повысить их несущую способность усилением по плоскостям разрушения (в частности, ограничением взаимных перемещений бетона и арматуры установкой кожухов вдоль продольных и поперечных пластин армирования). Расчёт показал, что концентрация напряжений наиболее сильна вблизи заполненных бетоном отверстий – заполнение работает на скалывание, препятствуя проскальзыванию. Вместе с тем, к разрушению самих пластин приводит концентрация напряжений в местах соединения пазов; в данных зонах расчётный коэффициент концентрации на порядок меньше, чем в зоне вокруг отверстий. При этом концентрация напряжений в продольных пластинах больше; продольные пластины являются для армирующего каркаса несущими, как и заложено при проектировании.

Подлежат дальнейшему изучению следующие вопросы:

1. Оценка адгезии бетона к арматуре и поиск путей её повышения;
2. Изучение влияния на сцепление арматуры с цементным камнем шероховатости поверхности арматуры и оценка увеличения шероховатости за счёт нанесения на поверхность стеклотекстолитовых пластин тонкого слоя углеродных волокон;
3. Описание процесса деформирования и разрушения арматуры, в том числе её расслоения и отслаивания углеродных волокон.

### **Литература**

1. O. Buyukozturk, B. Hearing. Failure behavior of precracked concrete beams retrofitted with FRP // Journal of composites for construction, August 1998. Pp. 138 – 144
2. M. Thériault, B. Benmokrane. Effects of FRP Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams // Journal of Composites for Construction, Vol. 2, № 1, 1998. Pp. 7 – 16. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(1998)2:1(7)
3. El-Sayed, Ahmed K; El-Salakawy, Ehab F; Benmokrane, Brahim. Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars // ACI Structural Journal; Farmington Hills103.3 (May/June 2006): 383-389.
4. El-Sayed, Ahmed K; El-Salakawy, Ehab F; Benmokrane, Brahim. Shear Strength of FRP-Reinforced Concrete Beams without Transverse Reinforcement // ACI Structural Journal; Farmington Hills103.2 (Mar/Apr 2006): 235-243.
5. Amir Mirmiran, Mohsen Shahawy, Michael Samaan. Strength AND Ductility of Hybrid FRP-Concrete Beam-Columns // Journal of Structural Engineering / October 1999 / Pp. 1085 – 1093
6. MN Fardis, HH Khalili. FRP-encased concrete as a structural material // Magazine of concrete research, 1982. Pp. 191 – 202
7. R. G. Wight; M. F. Green; and M-A. Erki. Prestressed FRP Sheets for Poststrengthening Reinforced Concrete Beams // Journal of Composites for Construction. Vol.5, Issue 4 – November 2001. Pp.
8. K Nasrollahzadeh, MM Basiri. Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams using fuzzy inference system // Expert Systems with Applications, 2014. Volume 41, Issue 4, Part 1, March 2014, Pages 1006-1020
9. S.A.A. Mustafa, H.A. Hassan, Behavior of concrete beams reinforced with hybrid steel and FRP composites, HBRC Journal (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2017.01.001>
10. S.H. Hashemi. Ductile Design of High Strength Reinforced Concrete Beams Strengthening with FRP Plates // Iranian Journal of Structural Engineering. 2015 2(2) 78-85
11. Bashir H. Osman, Erjun Wu, Bohai Ji, Abdeldime M. S Abdelgader. A state of the art review on reinforced concrete beams with openings retrofitted with FRP // Int J Adv Struct Eng (2016) 8:253–267. DOI 10.1007/s40091-016-0128-7
12. E. Tzoura, T. C. Triantafillou. Shear strengthening of reinforced concrete T-beams under cyclic loading with TRM or FRP jackets // Materials and Structures (2016) 49:17–28. DOI 10.1617/s11527-014-0470-9

## УДК 624.142

Сергей Владимирович Ланько, канд. техн. наук,  
доцент  
Анастасия Алексеевна Колпашчикова, магистрант  
Вячеслав Михайлович Полуни, студент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: sergeylanko@gmail.com,  
akolpashchikova@mail.ru, n1ce2u@yandex.ru

Vladimirovich Lanko Sergey, Ph.D.,  
Associate Professor,  
Anastasiya Alekseevna Kolpashchikova, student  
Vyacheslav Mikhailovich Polunin, student  
(St. Petersburg State University)  
Architecture and Civil Engineering University)  
E-mail: sergeylanko@gmail.com,  
akolpashchikova@mail.ru, n1ce2u@yandex.ru

### МОНИТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ПРИ ЕГО ПЕРЕВОДЕ В ТЕПЛЫЙ СКЛАД

#### MONITORING FOR THE DEFORMATIONS OF INDUSTRIAL REFRIGERATOR AT ITS TRANSFORMATION IN A WARM WAREHOUSE

В данной статье рассказывается о ходе и результатах мониторинга за деформациями зданий промышленного холодильника. Мониторинг включал в себя устройство термометрических скважин, измерение температуры грунта гирляндой электрических датчиков, а также наблюдения за неравномерностью осадок при помощи установки осадочных марок по наружным стенам и внутренним колоннам.

Собранные за время мониторинга данные проанализированы и представлены в виде графиков распределения температуры по глубине термометрических скважин, графика зависимости температуры воздуха от осадок, вычерчен расчетный разрез перемещений, посчитана и сопоставлена с нормой относительная разность осадок.

*Ключевые слова:* промышленный холодильник, морозное пучение, деформации зданий, мониторинг, оттаивание грунта, промерзание грунта, термометрическая скважина.

This article describes the order of work and the results of monitoring the deformations of industrial refrigeration buildings. Monitoring included the measurement of the soil temperature using thermometric wells, and monitoring of uneven settlement using the settlement point on external walls and internal columns.

The data collected during the monitoring were analyzed and presented in the form of temperature distribution charts for the depth of thermometric wells, the graph of the dependence of the air temperature on the settlement of ground, the section of displacements, the relative difference settlement in precipitation is calculated and compared with the norm.

*Keywords:* industrial refrigerator, frost heave, deformations, monitoring, thawing, soil freezing, thermometric well.

Промерзание и оттаивание грунтов представляют собой сложные физические процессы фазовых переходов воды в грунтах, существенно влияющие на свойства последних.

Глубокое промерзание грунтов, возможно, добиться многолетним искусственным понижением температуры, например, при работе промышленных холодильников. Эти случаи интересны тем, что в ходе детальных обследований и мониторинга получают исчерпывающие данные по глубинам промерзания, распределению температуры в основании, свойствам грунтов, которые характеризуют процессы промерзания и оттаивания [1, с. 10].

В феврале 2017 года строительной компанией Подземстройреконструкция (ООО «СК «ПСР») было произведено обследование зданий холодильника, которые расположены в Адмиралтейском р-не г. Санкт-Петербурга между улицами Шкапина и Розенштейна. Материалы обследования были использованы в написании настоящей статьи.

Холодильник на улице Шкапина 43–45 состоит из двух корпусов. Функционально здания имеют складское назначение, в помещениях расположены холодильные и морозильные камеры для хранения пищевой продукции.

Корпус лит. А построен в 1909 году. Здание шестиэтажное с подвалом, без чердака. В плане имеет прямоугольную форму с общими габаритами ~33×65 м. Конструктивная схема – смешанная. Несущими являются наружные кирпичные стены и внутренние колонны. Фундаменты под стенами каменные ленточные, под колоннами – отдельные железобетонные. Междуэтажные перекрытия выполнены монолитными железобетонными ребристыми.



Рис. 1. Фасад здания в осях 7-18 (лит Б)



Рис. 2. Фасад здания в осях Ц-А (лит А)



Рис. 3. Вид помещений подвала в осях А-И/1-4 (лит А)



Корпус лит. Б построен в 1932 году. Здание пятиэтажное с подвалом, без чердака. В плане имеет трапециевидную форму с общими габаритами ~ 47х47 м. Конструктивная схема – каркасная. Несущим является монолитный железобетонный каркас, состоящий из колонн и ребристых перекрытий. Наружные стены выполнены кирпичными самонесущими. Под колоннами каркаса устроен плитный железобетонный фундамент.

Здания лит. А и Б смежны друг с другом по наружным стенам и имеют сообщение в уровне подвала и первого этажа. Подвальные помещения обоих корпусов заглублены на ~1,3 м, высота их находится в пределах 2,5–2,6 м. [2, с. 4]

В ходе обследования, сотрудниками ООО «СК «ПСР», было выполнено бурение 6 скважин внутри здания с целью определения областей промерзания грунта, в зависимости от температурного режима помещений. Так же был произведен отбор образцов для определения физико-механических характеристик грунтов основания в лабораторных условиях. Инженерно-геологические условия исследуемой площадки занесены в табл. 1. Распространение зон промерзания и оттаивания грунтового основания, по результатам бурения, представлено в графическом виде на рис. 4.

Для выявления накопленных неравномерных деформаций здания была выполнена выборочная нивелировка перекрытий и пола, выполнен осмотр перекрытия над подвалом и наружных стен на предмет выявления осадочных трещин.

Измерения показали, что относительная разность осадок достигает 0,009, что значительно превышает предельно допустимое значение в соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»  $(\Delta s/L)_u = 0,002$ . Выборочная нивелировка пола корпуса лит. А показала наличие отдельных участков вспучивания до 23 см. Полы подвала в здании лит. А в местах вспучивания повреждены трещинами.

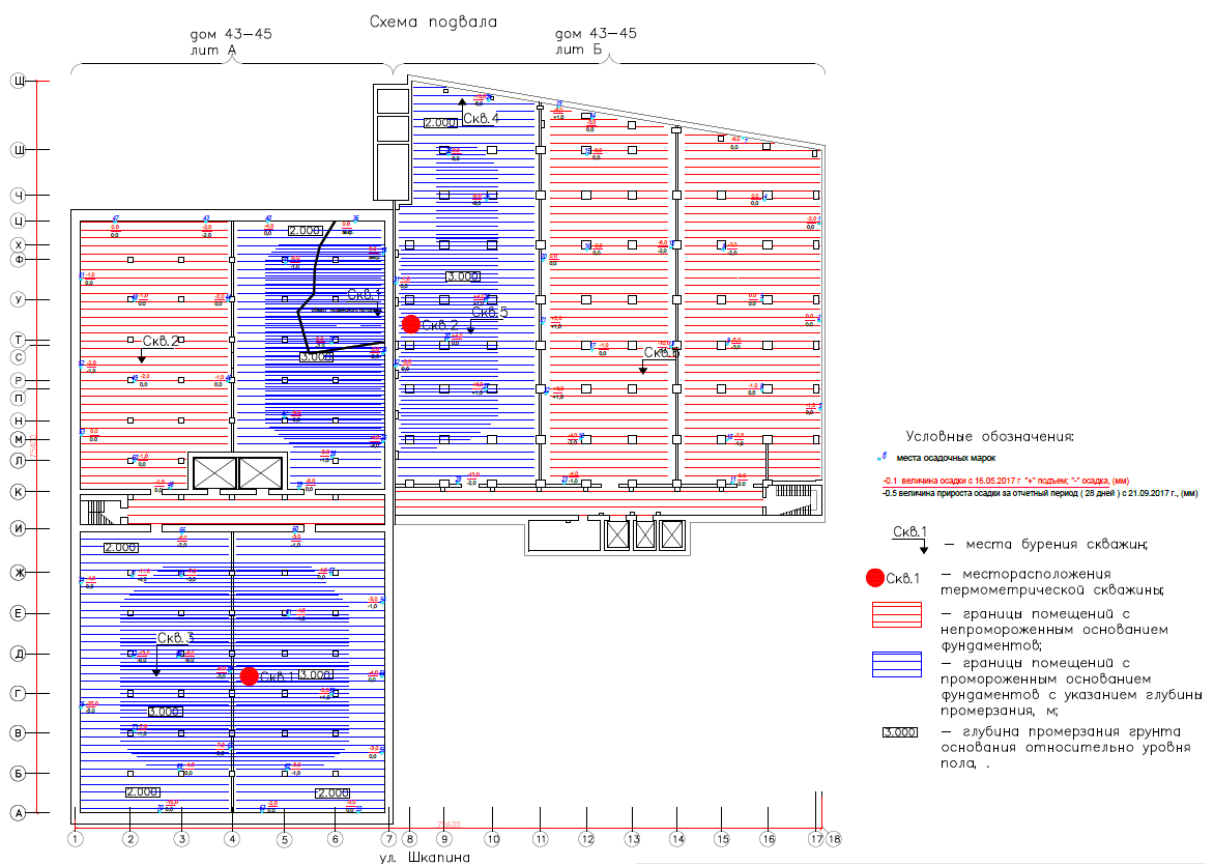


Рис. 4. Схема подвала холодильника

Осмотр наружных стен зданий показал отсутствие крупных осадочных трещин. Выявление трещин в перекрытии над подвалом, не представлялось возможным из-за утеплителя и наледи (см. рис. 3).

Для дальнейшего наблюдения за неравномерностью осадок и предотвращения угрозы обрушения несущих конструкций, в процессе перевода здания холодильника в теплый склад, по результатам обследования было принято решения об организации мониторинга температуры мерзлых грунтов в термометрических скважинах при помощи гирлянды температурных датчиков. Данное мероприятие осуществлялось совместно с наблюдением за неравномерностью осадок при помощи устройства осадочных марок по наружным стенам и внутренним колоннам. Мониторинг велся в соответствии с ГОСТ 25358-2012 «Грунты. Методы полевого определения температуры».

Таблица 1

**Инженерно-геологические характеристики грунтов исследуемой площадки**

№	Тип грунта	Пучинистость	$h$ , м	Суммарная льдистость, е. ед.	Суммарная влажность, е. ед.	Коэффициент оттаивания, е. ед.	Коэффициент сжимаемости, МПа <sup>-1</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varphi$ , градус	$c$ , КПа
ИГЭ1	Супесь пылеватая, реже песчанистая, слабодыстистая, при оттаивании пластичная до текучей	Грунт при промерзании сильнопучинистый и чрезмернопучинистый.	1,4-1,9	0,42	0,27	0,032 до 0,058	0,110 до 0,165	1,83	36	11
ИГЭ2	Песок пылеватый льдистый, с примесью органических веществ.	Грунт при промерзании сильнопучинистый и чрезмернопучинистый.	0,8-1,6	1,01	0,49	0,105	0,265	1,69	28	1,6
ИГЭ3	Песок пылеватый, коричневый, водонасыщенный. Талые грунты.	-	0,4-1,8	-	-	-	-	-	-	-

Для измерения температуры грунтов зданий холодильника были пробурены две инженерно-геологические скважины глубиной 3 м в подвальных помещениях в осях 4-5/Г-Е и 8-9/Т-У. Скважины пробурены в предполагаемых местах зон промерзания грунтового

основания. Бурение верхних слоев грунта производилось при помощи алмазной коронки, а нижних шнековым бурением.

Обустройство термометрической скважины представляет собой оснащение ее металлической обсадной трубой диаметром 125 мм. Для предупреждения погрешностей измерений, связанных с конвекцией воздуха в термометрической скважине, было принято решение засыпать конструкцию сухим песком, и применить самодельные разделительные диски-диафрагмы из пенопласта.

Датчики размещались по глубине конструкции скважины. Всего в гирлянде 4 датчика на глубине 3 м, 2 м, 1 м, 0,1 м.

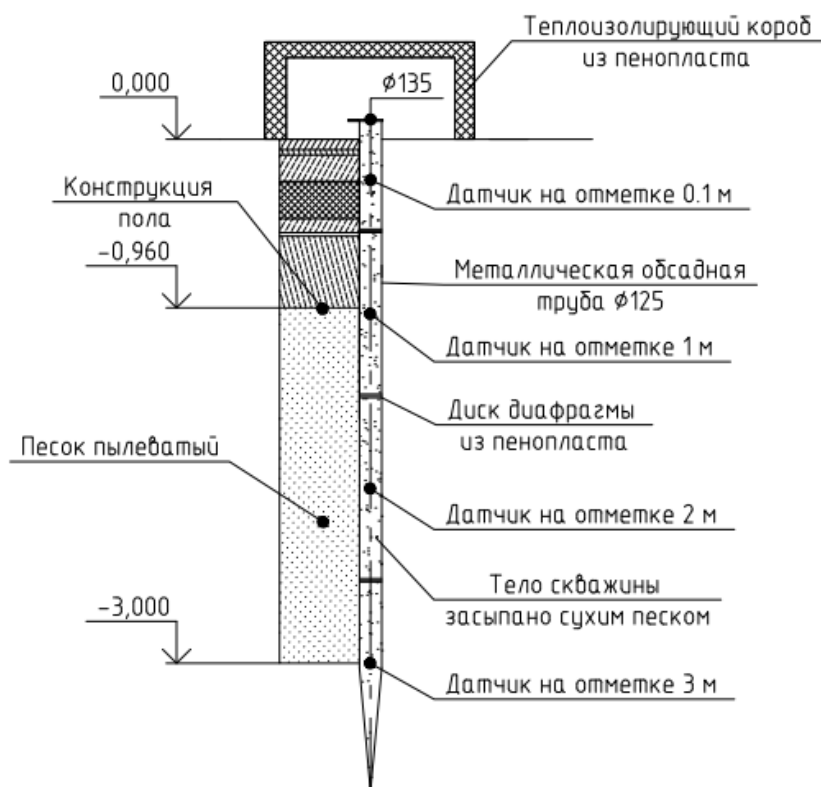


Рис. 5. Схема термометрической скважины и датчиков температуры по глубине

Термометрическая скважина плотно закрывается металлической защитной крышкой, через отверстие в которой выводятся провода тепловых датчиков. Диаметр защитной крышки равен 135 мм.

Выступающая над поверхностью земли обсадная труба теплоизолируется и накрывается коробом из пенопласта.

Комплект полевого измерения температуры грунтов в скважинах представляет собой гирлянду электрических датчиков (тип DS18B20) с контроллером для измерения температуры.

Таблица 2

#### Основные технические характеристики DS18B20

Параметр	Значение
Диапазон точности измерений в пределах измерений от $-10^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Диапазон измерения температуры	$-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$
Ток питания	1 мА
Диапазон напряжения питания	3В...5,5В



Рис. 6. Термометрическая скважина накрытая коробом



Рис. 7. Комплект полевого измерения температуры грунтов

Для герметичности, защиты измерительной гирлянды от влаги, которая приводит к быстрому отказу устройств, температурные датчики продевались через защитные трубки. [3, с. 47]

Показания температуры грунтов, температура воздуха помещения, измеряемая при помощи настенных термометров, фиксировались в журнале.

Перед проведением измерений, скважины, после бурения и установки в них измерительных гирлянд, были «выстояны».

Для наблюдения за неравномерностью осадок зданий холодильника, было заложено 75 геодезических деформационных марок типа пленочного отражателя ГДМ-5 (для планового и высотного смещения): по наружным стенам – 21 шт., внутренним колоннам – 37 шт., по внутренним стенам – 17 шт.

Наблюдения за положением координат установленных осадочных марок проводились тахеометром Sokkia SET 530R № 16406. Отсчет велся в относительных единицах. Расчетная погрешность измерений находится в пределах  $\pm 0.3$  мм.

За период с 16.05.2017 по 17.10.2017 (155 календарных дней) наблюдаются деформации в пределах от -25,0 до 6,0 мм.

Суммарные деформации подъема не превышают величины 6 мм. Максимально накопленная величина осадки составила 2,5 см, что не превышает максимально допустимую 4 см в соответствии с ТСН 50-302-2004.

Анализируя схему марок и значения осадок, полученных за мониторинг видно, что осадки больше проявляются в части здания лит. А. Значение осадок вдоль стен больше, чем у колонн. Неравномерность осадок не наблюдается, за исключением части здания в осях А-И/1-7, где относительная разность осадок между марками 75–70 составила 0,004, что превышает предельно допустимое значение 0,002. В остальных частях здания осадка пока происходит равномерно.

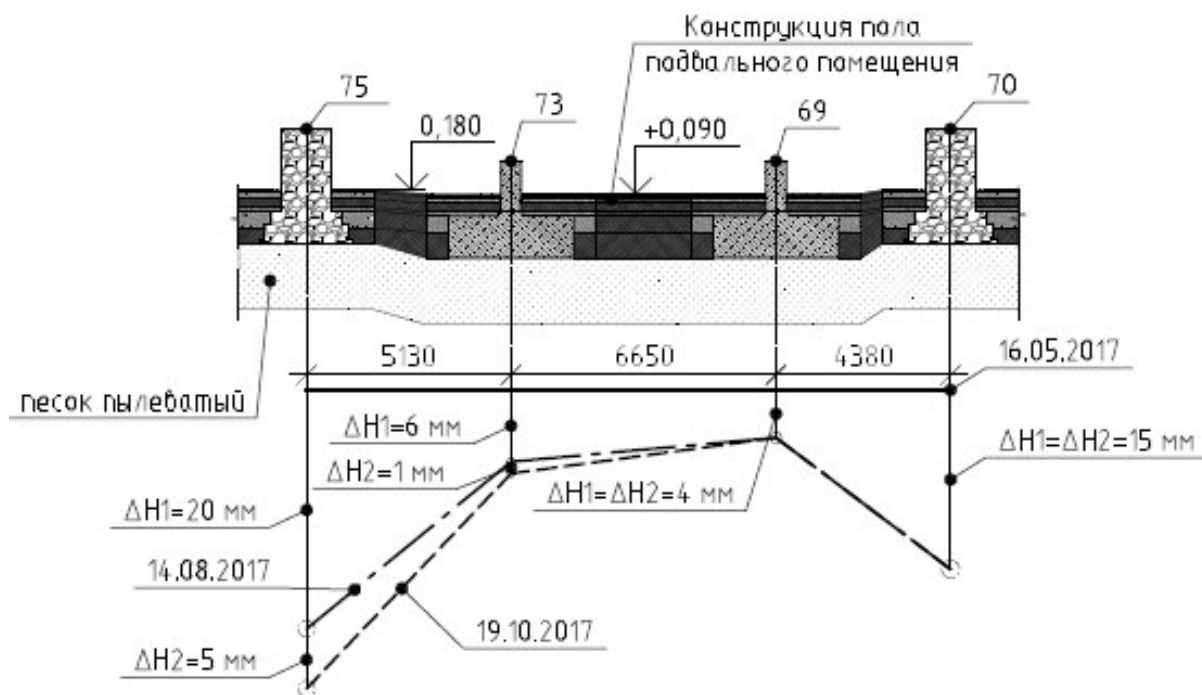


Рис. 8. Расчетный разрез перемещений

Анализируя графики распределения температур по глубине, выявить фронт промерзания – границу мерзлого и талого грунта не удалось, глубина промерзания экспериментальным путем не установлена. По данным полученным за отчетный период она должна быть ниже цифры 3 м от уровня пола, установленной ранее, так как температура грунта не уходит в плюс.

По графикам распределения температур по глубине можно увидеть, что в помещении в осях 4-5/Г-Е (камера № 13) оттаивание произошло примерно на 0,5 м, в помещении в осях 8-9/Т-У (камера № 15) на величину больше 1 м.

Температура в камерах, в которых располагаются термометрические скважины, с момента начала мониторинга поднялась на 2,5 градуса. С повышением температуры помещения, идет нарастание осадок.

Из сказанного выше можно сделать вывод о том, что полное оттаивание (конструкции пола и грунта, при принятой глубине промерзания 3 м) в части здания в осях И-Щ/7-18 произойдет примерно через год (скорость оттаивания грунта 8 мм в день), во второй части в осях 1-7/А-Ц через 2,5 года (скорость оттаивания 3 мм в день). Не допустимо форсирование оттаивания грунтов, так как в этом случае неравномерности осадок могут оказаться весьма значительными.

Не одинаковая температура в скважинах и разная динамика оттаивания грунта в помещениях, в которых эти скважины установлены, может предвещать неравномерность осадок между двумя секциями здания холодильника.

Исходя из свойств грунтов (суммарная влажность, коэффициенты оттаивания и сжимаемости), полученных при лабораторных испытаниях, наибольшие осадки необходимо ожидать в части здания, где устроена скважина 2 (в осях К-Щ/4-11). В данной части здания располагаются пески пылеватые, льдистые, с примесью органических веществ. Там произошло наибольшее оттаивание, но также, происходит несвойственное для процесса оттаивания поднятие колонн здания, что скорее всего, вызвано проседанием плиты, расположенной под данной частью здания, в результате чего при нивелировке оказывается, что колонны поднимаются, но по факту остаются неподвижны. Для выявления данного эффекта дополнительно были заложены марки на плиту пола и проводится нивелировка в настоящий момент.

В процессе оттаивания грунтов под фундаментами неизбежно будут развиваться неравномерные осадки, которые приведут к появлению новых деформаций несущих конструкций. Для понимания, будут ли осадки критичными, превышающими нормативные значения на момент полного оттаивания замороженного основания или они же наступят раньше, в дальнейшем будет произведен теплотехнический расчет в специализированном программном комплексе, который покажет, какие возникнут деформации здания при полном оттаивании и принять меры по осуществлению соответствующих компенсационных мероприятий.

Таблица 3

**Расчет относительной разности осадок**

№ Марок	Величина разности осадок, мм	Расстояние, мм	Относительная величина	Допустимое значение
75-70	18	4920	0,004	0,002
75-73	10	12500	0,001	
73-69	3	5920	0,001	
69-65	3	5500	0,001	
75-72	12	8050	0,001	
72-68	7	4700	0,001	
74-71	4	4900	0,001	
71-66	5	6240	0,001	
71-67	4	4700	0,001	
70-63	13	9800	0,001	
70-75	8	9400	0,001	
39-38	5	3700	0,001	
25-24	4	10200	0,0004	
24-19	4	7500	0,001	
20-16	2	3800	0,001	
22-18	2	8600	0,0002	
28-23	9	11700	0,001	
17-13	9	8610	0,001	
13-9	5	3700	0,001	
13-6	9	10300	0,001	
6-9	4	6200	0,001	

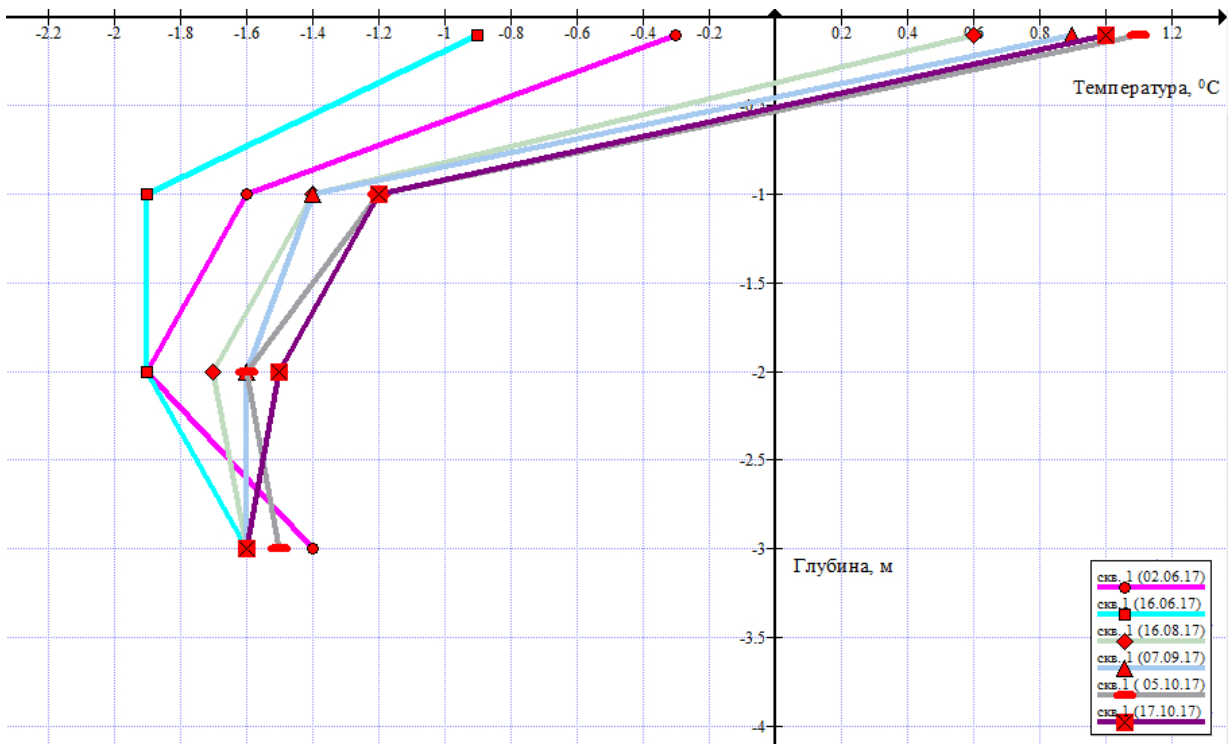


Рис. 9. Совмещенные графики распределения температуры по глубине Скважина 1

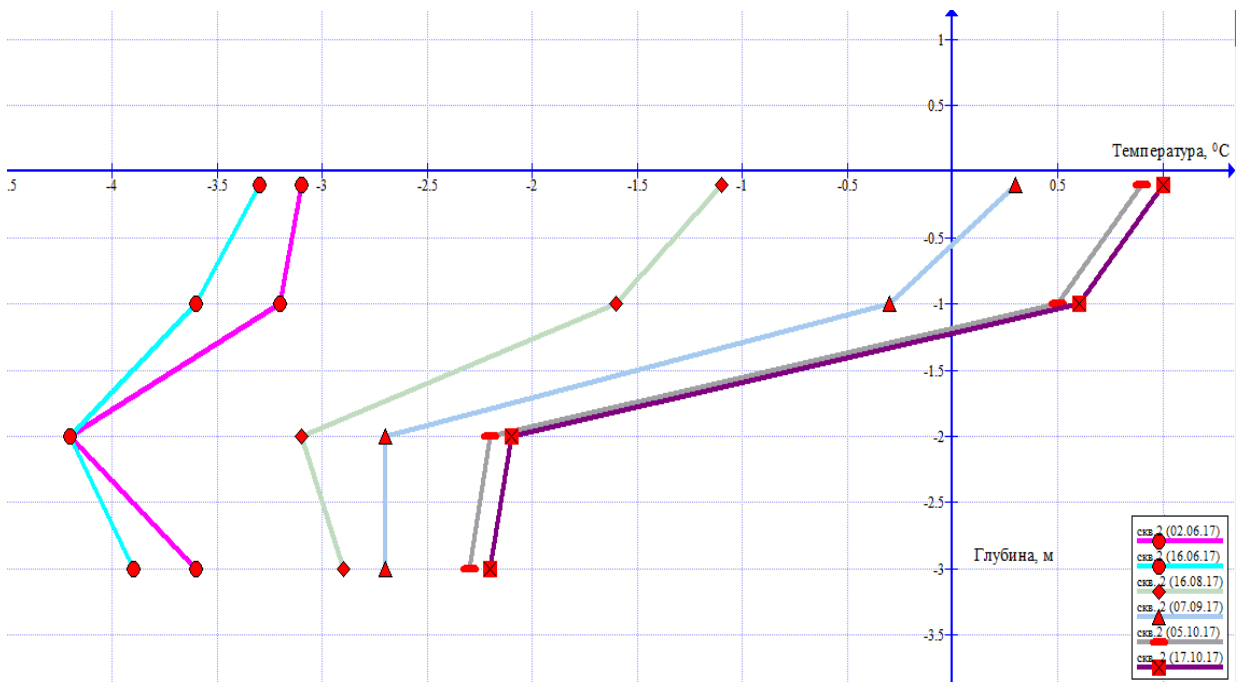


Рис. 10. Совмещенные графики распределения температуры по глубине Скважина 2

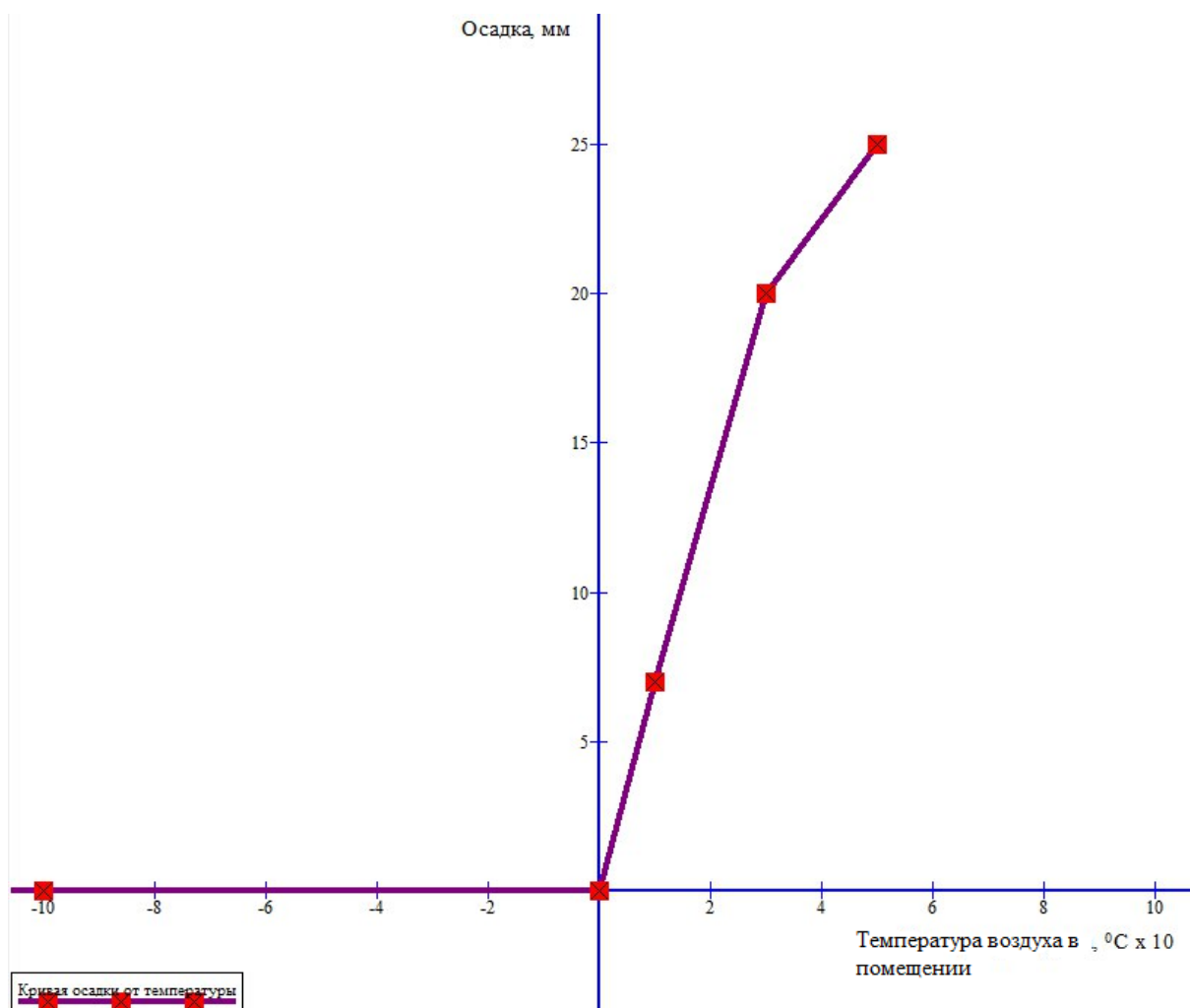


Рис. 11. Зависимость осадки от температуры воздуха на примере марки 75

## Литература

1. Кудрявцев, С.А. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчеты)/ С.А. Кудрявцев, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов. – СПб: Группа компаний «Геореконструкция», 2014.
2. Технический отчет о работе по теме: «Исследование грунтового основания здания-холодильника по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Шкапина, д.43-45, лит. А и лит. Б» 70/16-О Санкт-Петербург 2017 г. ООО «СК»ПСР».
3. Клочков, Я. В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Совершенствование методики расчета и регулирования температурного режима обводненных грунтовых оснований/ Я. В. Клочков. – Хабаровск, 2015.
4. Заключение по результатам обследования технического состояния конструкций фундаментов и основания фундаментов зданий, расположенных по адресу: Санкт-Петербург, пер. Шкапина, д.43-45, лит. А; пер. Шкапина, д. 43-45, литер Б Санкт-Петербург 2016 г. ООО «Балт-Эксперт».
5. Заключение о состоянии несущих конструкций старого корпуса Ленхладокombината № 4-5 и рекомендации по обеспечению безаварийной эксплуатации конструкций. ЛИСИ, 1984 г.
6. Научно-технический отчет по теме: Исследование состояния несущих и ограждающих конструкций зданий холодильников. Рекомендации по повышению долговечности строительных конструкций. ЦНИИпромзданий, 1982 г.
7. Предварительное заключение о состоянии строительных конструкций здания холодильника № 4 в г. Ленинграде. ЦНИИпромзданий, 1981 г.
8. Заключение по вопросу о причинах деформации несущих конструкций холодильника № 4 в г. Ленинграде. ЛИСИ кафедры «Основание и фундаменты», 1971 г.
9. Царапов, М.Н. канд. геол.-минерал. наук/Свойства мерзлых грунтов при оттаивании // М.Н. Царапов, канд. геол.-минерал. наук П.И. Котов, аспирант (МГУ).



УДК 69.059.35

*Сергей Владимирович Ланько*, канд. техн. наук,  
доцент

*Анастасия Алексеевна Колпашчикова*, магистрант

*Валерия Витальевна Сибота*, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: sergeylanko@gmail.com,*

*akolpashchikova@mail.ru, sirotavaleria@yandex.ru*

*Sergey Vladimirovich Lanko*, Ph.D., Associate  
Professor

*Anastasiya Alekseevna Kolpashchikova*, student

*Valeriia Vitalievna Sirota*, student

(Saint Petersburg State University of Architecture  
and Civil Engineering)

*E-mail: sergeylanko@gmail.com,*

*akolpashchikova@mail.ru, sirotavaleria@yandex.ru*

## УСИЛЕНИЕ ПАРКИНГА МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

### STRENGTHENING OF PARKING A MULTISTORY RESIDENTIAL BUILDING WITH COMPOSITE MATERIALS

В данной работе рассматривается вопрос усиления перегруженной железобетонной колонны подвального этажа здания – паркинга. Произведены расчеты и сравнение двух возможных вариантов усиления – железобетонной обоймой и углеволокном. Подробно описан второй способ, так как использование композитных материалов для усиления является относительно новым способом и малоизученным, но набирающим всё большую популярность. Использование углеволокна сокращает срок монтажа и дает возможность эксплуатировать здание во время проведения работ. Так же, углеволокно обладает такими положительными качествами для строительства, как высокая долговечность, стойкость к коррозии, малый собственный вес.

*Ключевые слова:* колонна, паркинг, усиление, железобетон, композитные материалы, углеволокно.

In this article authors consider the issue of strengthening overloaded reinforced concrete columns of the basement of the building parking. Compilers this article calculation and comparison of the two possible options for strengthening reinforced concrete collar and carbon fiber. Authors in detail described the second method, because of the use of composite materials for strengthening is a relatively new method and little studied, but is gaining more and more popularity the use of carbon fiber. Also, the carbon fiber has such positive qualities, such as high durability, resistance to corrosion, light weight.

*Keywords:* column, parking, strengthening, reinforced concrete, composite materials, carbon fiber.

В процессе эксплуатации зданий, со временем, происходит износ конструкции. Неравномерная осадка фундаментов, воздействие окружающей среды, коррозия арматуры, карбонизация бетона, пожар, качество строительно-монтажных работ, ошибки на этапе проектирования и т. д. – всё это приводит к изменению геометрических размеров конструкции, появлению трещин, отслоению защитного слоя, что, в свою очередь, приводит к ухудшению несущей способности сооружения и безопасности его эксплуатации.

Кроме того, иногда возникает необходимость в увеличении несущей способности конструкции при изменениях условий эксплуатации или размеров. Например, когда нужно сделать надстройку или же установить дополнительное технологическое оборудование.

Вышеперечисленные случаи показывают, что на сегодняшний день, актуальность ремонтных работ не стоит под вопросом. В связи с чем, для снижения трудоемкости и стоимости существует необходимость в разработке новых технологий и применении современных материалов.

Основными способами усиления строительных конструкций является наращивание сечений в виде набетонки, обойм и рубашек, введение затяжек, установка шпренгелей и т. д. Относительно новым способом и набирающим в наши дни большую популярность является усиление композиционными материалами.

Предпосылки для этого способа были ещё в середине XX века в Германии и Швейцарии, только вместо композиционных материалов использовались тонкие пластины из низкоуглеродистой стали. Пластины увеличивали сопротивление усиленного элемента изгибающему моменту и жесткость конструкции. Но возможность коррозии, большой собственный вес, невозможность усиления непрямых деталей, исключение эксплуатации на

длительный срок – делали недостаточно эффективным данный способ. Впервые усиление колонн композиционным материалом было осуществлено в Японии в 80-х годах XX века. Естественно, использование композитов вместо стали решило проблемы веса, коррозии, легкости транспортировки, возможности усиления поверхностей с переменным радиусом кривизны и возможности эксплуатации сооружения во время проведения работ по усилению [1].

В нашем случае по результатам технического обследования установлено, что колонны подвального этажа здания, паркинга перегружены (коэффициент использования больше 1) и нуждаются в усилении.

Самым надежным и технологически апробированным способом усиления внецентренно сжатых элементов является устройство железобетонной обоймы с продольной и поперечной арматурой. Но в данном примере недостатком этого варианта является толщина обоймы в 50 мм, уменьшающая ширину проезда паркинга, которая после усиления не будет соответствовать нормируемой, а, следовательно, эксплуатация паркинга будет ограничена, что является экономически не эффективным.

Традиционные способы усиления порой не применимы на практике в виду ограничения свободного пространства и условий эксплуатации. Поэтому в проектах всегда целесообразней запроектировать и предусмотреть два, а то и больше возможных вариантов, из которых можно выбрать наиболее подходящий и рациональный.

С целью избежать уменьшения ширины проезда паркинга из-за устройства железобетонной обоймы, был предложен альтернативный вариант усиления колонн -углеволокном.

Для наглядного сравнения двух вариантов (железобетонной обоймы и композитного материала) просчитаем усиление колонны К3, увеличение сечения которой непосредственно влечет за собой уменьшение ширины проезда паркинга.

Таблица 1

Параметры усиливаемой железобетонной колонны

Ширина сечения $b$ , мм	Высота сечения $h$ , мм	Длина колонны $l$ , мм	Арматура	Бетон	Отношение сторон сечения $\frac{h}{b}$	Продольная сила от внешней нагрузки $N$ , т
460	400	2500	A500 Ø18 мм	B25	0,87	360,4

Расчетобоймы для усиления колонны производился при помощи программы «АРБАТ–SCADSoft», предназначенной для подбора и проверки существующей арматуры в элементах железобетонных конструкций согласно СНиП 52-01-2003 [2]. Подбор производился при помощи добавления через программу недостающих стержней арматуры, количество которых достаточно для уменьшения коэффициента перегруза.

По результатам расчета К3 усиливается продольными стержнями диаметром 16 мм из арматуры класса А500, диаметр поперечной арматуры 8 мм А240 с шагом 150 мм. Толщина обоймы 50 мм, класс бетона В25.

Расчет усиления внецентренно сжатых элементов композитными материалами производился в соответствии с СП 164.1325800.2014 [3] и СП 63.13330 [4]. Алгоритм расчета усиления колонн был занесен в математическое программное обеспечение «MathCAD».

Условие прочности внецентренно сжатых элементов, усиленных внешним армированием из композитных материалов в поперечном направлении:

$$N \cdot e \leq R_{b3} \cdot x \cdot b \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A_{s'} \cdot (h_0 - a') \quad (1)$$

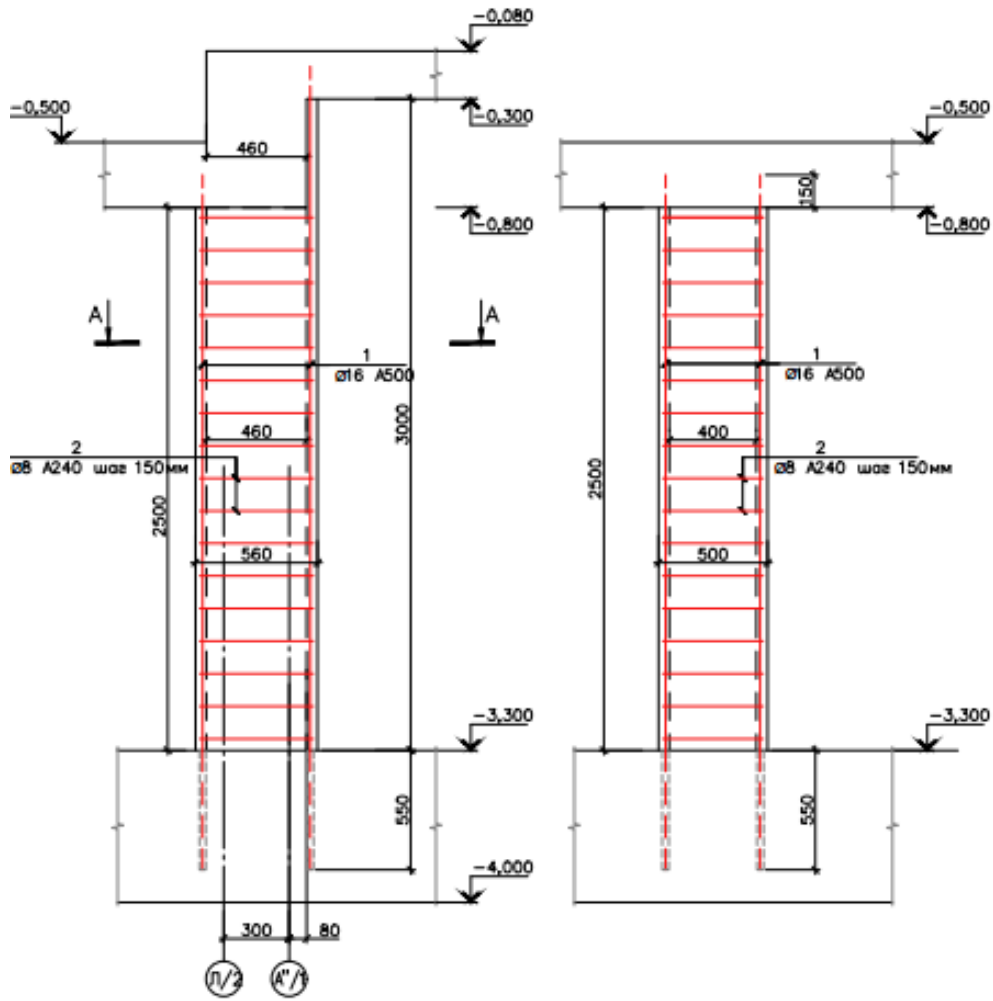


Рис. 1. Схема усиления железобетонной обоймой

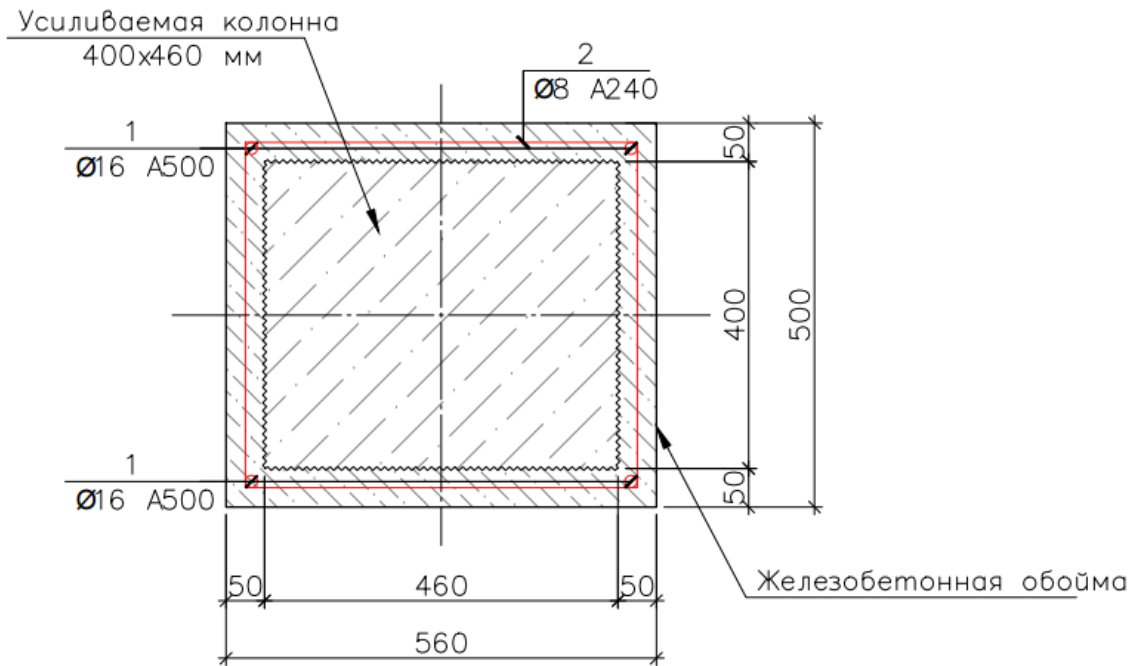


Рис. 2. Схема усиления железобетонной обоймой разрез А-А

Внешнее армирование композитным материалом зависит от механических характеристик: модуля упругости и сопротивления материала на растяжение. Важны так же геометрические характеристики: ширина обоймы, толщина одного слоя, длина обоймы с учетом нахлеста, расстояние между бандажами [5].

Так как отношение сторон поперечного сечения колонны меньше 1,5 - усиление производится в поперечном направлении.

Таблица 2

**Параметры материала усиления**

Ширина обоймы $b_f$ , мм	Толщина одного слоя $t_f$ , мм	Кол-во слоев $n$	Длина обоймы с учетом нахлеста $l_f$ , мм	Модуль упругости $E_f$ , ГПа	Расчетное сопротивление растяжению $R_{fn}$ , МПа
300	0,175	4	1868	120	1400

Ход расчета, а точнее вычисление  $X$  – высоты сжатой зоны сечения усиленного композитным материалом с учетом симметрии арматуры, зависит от сравнения  $\xi_{R3}$  – граничного значение относительной высоты сжатой зоны, вычисляемого с учетом объемного напряженного состояния бетона, и  $\xi$  – относительная высота сжатой зоны.

В данном расчете, для выполнения условия (1) принимаем для усиления композит с толщиной ленты 0,175 мм в четыре слоя. Ширина ленты 300 мм. Шаг 245 мм, количество обойм по высоте 5 штук.

Количество слоев усиления в бандаже можно уменьшить, принимая во внимание направление волокон в ленте углеволокна и учитывая в расчетах застывшие слои адгезива.

В зависимости от заданных параметров материала усиления подбираем марки углеволокна, модуль упругости и расчетное сопротивление растяжению которых не должны быть меньше выбранных нами ранее по расчету. Возможно, так же изначально задаться техническими характеристиками материала усиления, представленными в каталогах производителей.

Для лучшего понимания работы композитного материала с адгезивом и подтверждения результатов расчета, имеет место создание модели с использованием метода объемных конечных элементов [6].

Таблица 3

**Технические характеристики углеволокна**

Марка	Ширина обоймы, $b_f$ мм	Толщина слоя $b_f$ , мм	Длина рулона, м	Поверхностная плотность $\rho$ , г/м <sup>2</sup>	Модуль упругости $E_f$ , ГПа	Расчетное сопротивление растяжению $R_{fn}$ , ГПа	Тип ленты
FibArm Tape 230/300	300	-	50	230	245	4,9	однаправленная
SikaWrap-230C	300	0,131	50	230	234	4,3	однаправленная

Устройство холстов для усиления перекрытия выполняется при помощи адгезива, который наносится на поверхность бетона, как праймерный слой, и сверху углеволокна, как покрывающий. Адгезив подбирается в зависимости от марки углеволокна и типа нанесения «сухим» или «мокрым» способом [7].

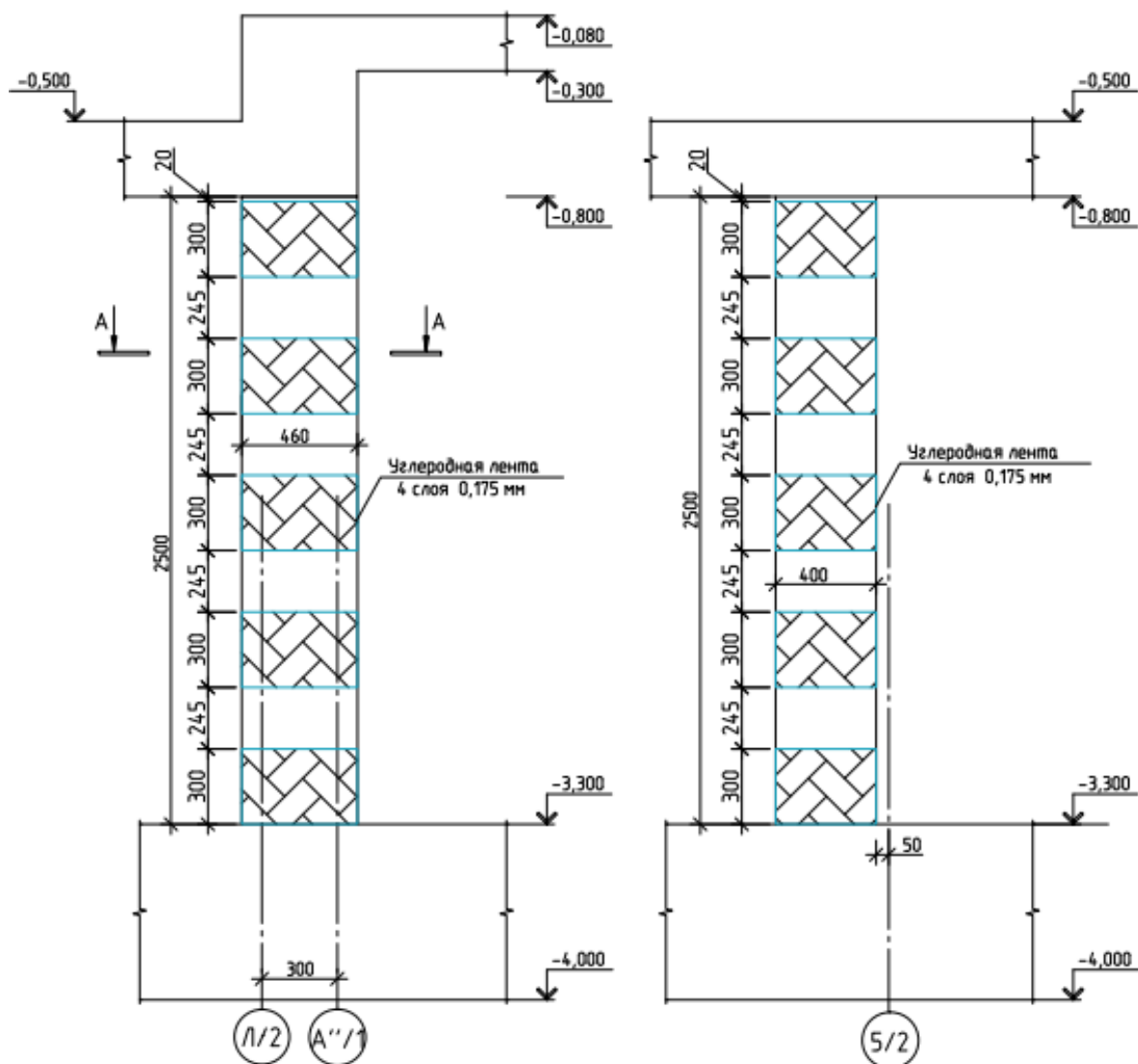


Рис. 3. Схема внешнего армирования углеволокном

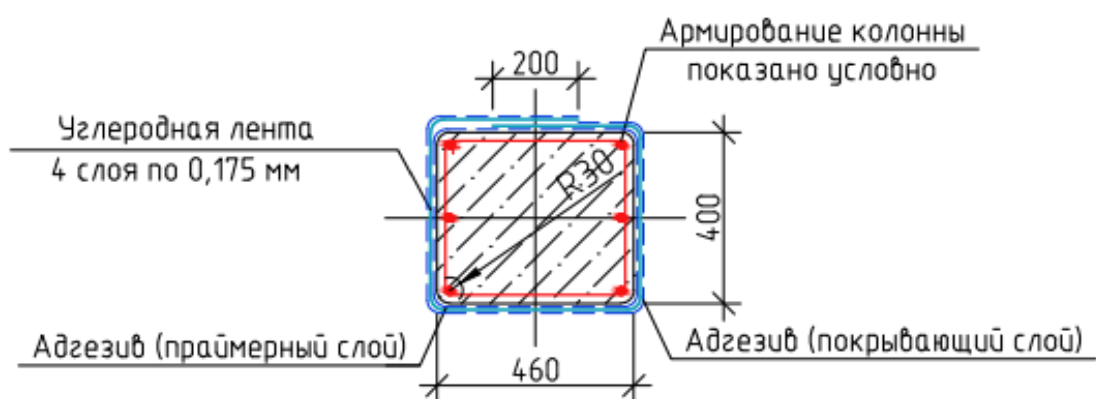


Рис.4. Схема внешнего армирования углеволокном разрез А-А

Самой большой проблемой усиления при помощи композитного материала является обеспечение пожарной безопасности. Защита требуется адгезиву, температура стеклования которого примерно 45–270 градусов. Необходима теплозащита, которая не даст нагреться адгезиву до критической температуры. Обеспечение пожарной безопасности и защита ком-

позитного материала от повреждений с устройством защитного слоя из специального огнеупорного состава предусматривает отдельным проектом по пожарной безопасности.

Устройство защитного слоя, зависящее от необходимого предела огнестойкости, и конструктивных особенностей, вытекающих из первого, бывает нескольких видов:

- жёсткие гидрофобизированные теплоизоляционные плиты, изготовленные из каменной ваты на основе базальтовых горных пород, толщина которых около 80 мм;
- теплоизоляционный материала, поверх которого крепится металлическая сетка и наносится огнезащитный штукатурный состав, толщина защиты около 47 мм;
- конструктивный огнезащитный состав, наносимый методом безвоздушного распыления, толщина 1,2 мм.

В настоящее время существуют адгезивы, с высокой стойкостью к огню, за счет добавления антипиренов.

В нашем случае выберем конструктивный огнезащитный состав, толщина которого не превышает 2 мм.

Сравнивая два варианта усиления были сделаны следующие выводы:

Проезд без усиления составляет 3320 мм, с усилением железобетонной обоймой ширина равна 3220 мм, с углеволокном около 3316 мм (с конструктивной огнезащитой и без учета застывшего эпоксидного клея).

Как известно, минусом усиления композитом является высокая стоимость материала, в отличии от железобетона: стоимость строительно-монтажных работ по усилению углепластиком 22 344,00 руб. за м<sup>2</sup> (устройство обоймы колонны из углепластика с предварительной подготовкой поверхности бетона, грунтовка и проклеивание углепластика с двух сторон каждого слоя:  $10,32 \times 22\,344 = 230\,590,08$  руб.), устройство железобетонной обоймы 15507,00 руб. за м<sup>2</sup> (армирование колонны по периметру на всю высоту, с анкерровкой в верхнее и нижнее перекрытие и бетонирование колонны:  $4,3 \times 15\,507 = 66\,680,10$  руб.).

Однако, при высокой стоимости строительно-монтажных работ и материала, использование углеволокна сокращает срок монтажа и дает возможность эксплуатировать здание во время проведения работ. За счет клеевого соединения обеспечивается надежная совместная работа элемента внешнего армирования с усиливаемой конструкцией. Так же, углеволокно несет в себе такие преимущества, как высокая долговечность, стойкость к коррозии, малый собственный вес.

Если при выборе системы усиления отталкиваться от стоимости, то можно предложить еще один вариант, который будет дешевле и позволит так же сохранить сантиметры проезда паркинга, это усиление стекловолокном, механические характеристики которого меньше, чем у углеволокна, но значительно выше, чем у других систем.

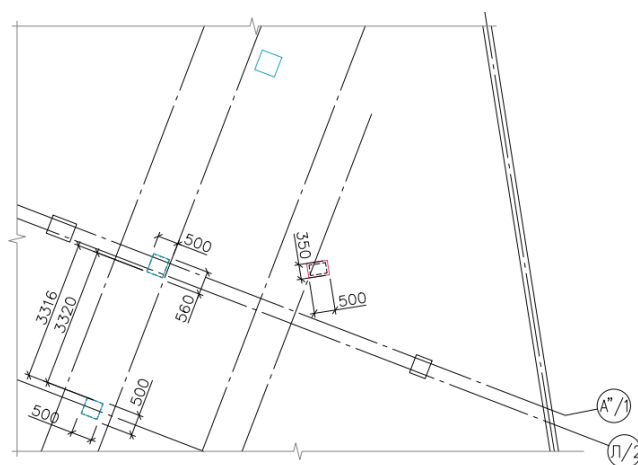


Рис. 5. Фрагмент паркинга с указанием ширины проезда при усилении колонн композитом

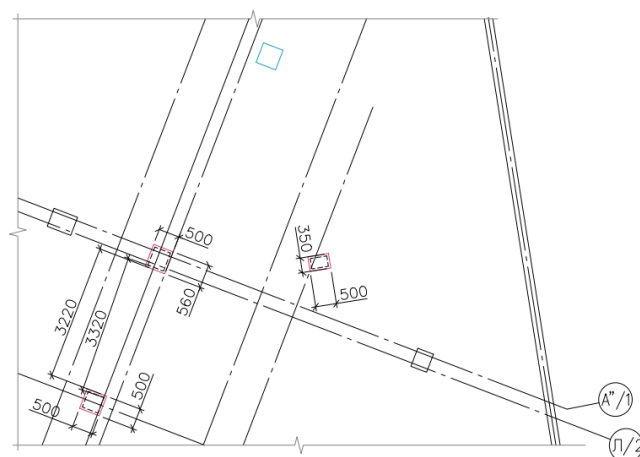


Рис. 6. Фрагмент паркинга с указанием ширины проезда при усилении колонн железобетонной облоймой

### Литература

1. Шилин А.А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. М.: Стройиздат, 2007. – 184с.
2. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: ФГУП НИИЖБ, 2004. 31 с.
3. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. М.: Минстрой России, 2015. 50 с.
4. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: ФГУП НИИЖБ, 2013. 152 с.
5. Чернявский В.Д., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления железобетонных конструкций промышленных зданий// Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 3. С. 37–38.
6. Параничева Н. В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов// Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2. С. 19–22.
7. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и железобетон. 2001. № 6. С.17–20.

### УДК 624.15

*Игорь Олегович Кохан*, студент  
*Кирилл Валерьевич Крюков*, студент  
 (Санкт-Петербургский государственный  
 архитектурно-строительный университет)  
 E-mail: *ig.kohan@yandex.ru*,  
*kryukov.build@yandex.ru*

*Igor Olegovich Kokhan*, student  
*Kirill Valerievich Kryukov*, student  
 (Saint Petersburg State University  
 of Architecture and Civil Engineering)  
 E-mail: *ig.kohan@yandex.ru*,  
*kryukov.build@yandex.ru*

## СПОСОБЫ ГЛУБИННОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

### METHODS DEEP COMPACTION OF SOIL FOUNDATIONS

Глубинное уплотнение является эффективным приёмом улучшения физико-механических свойств оснований сооружений, как это отмечают в своих работах многие ученые. Оно позволяет существенно повысить несущую способность основания и, следовательно, значительно увеличить передаваемую нагрузку от сооружения на единицу его площади, повысить устойчивость и крутизну откосов грунтовых сооружений, уменьшить фильтрацию, обеспечить устойчивость структуры грунтов при воздействии различных типов нагрузок.

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом разработаны многочисленны методы глубинного уплотнения оснований, сложенных мощными слоями слабого грунта. В данной статье приведены некоторые основные методы глубинного уплотнения грунтовых оснований такие как: уплотнение тяжелыми трамбовками, уплотнение взрывами, виброуплотнение, уплотнение с помощью технологии «vibro».

*Ключевые слова:* глубинное уплотнение, технологии «vibro», «Keller», виброобмен, виброуплотненные элементы.

Deep compaction is an effective method of improving the physical and mechanical properties of the foundations of structures, as many scientists have noted in their work. It allows to significantly increase the bearing capacity of the base and, consequently, significantly increase the transmitted load from the structure per unit area, increase the stability and steepness of the slopes of soil structures, reduce filtration, and ensure the stability of the soil structure under the influence of various types of loads.

To date, in our country and abroad, numerous methods have been developed for deep compaction of bases composed of thick layers of weak soil. In this article, some basic methods for deep compaction of soil bases are presented: compaction by heavy ramming, bursting, vibration compacting, compaction using vibro technology.

*Keywords:* deep compaction, «vibro», «Keller» technologies, vibration, vibrocompacted elements

При строительстве различных сооружений довольно часто встречаются слабые грунты, практически повсеместно они распространены в районе Санкт–Петербурга и Ленинградской области. Слабые грунты, не обладая достаточной несущей способностью, не позволяют использовать их в качестве основания сооружения, ограничивая передаваемую от сооружения нагрузку.

Уплотнение оснований, сложенных слабыми грунтами, позволяет существенным образом повысить несущую способность таких грунтов, улучшить их физико-механические характеристики. Укрепление слабых грунтовых оснований позволяет расширить возможности транспортной отрасли, сделать пригодными для строительства и эксплуатации автомобильных дорог ранее не используемые, «некачественные» территории. Для строительства объектов транспортной инфраструктуры всё чаще предоставляют участки с грунтами, отличающимися довольно низкими физико-механическими свойствами. Для увеличения долговечности и уменьшения затрат на техническое использование дорог, автомагистралей, необходимо проведение работ по уплотнению таких грунтов и улучшению их строительных свойств.

Высококачественное уплотнение способствует улучшению напряжённо– деформированного состояния грунта; минимизации влияния объёмных изменений (набухания, усадки, морозного пучения); контролю потока воды; повышению устойчивости откосов и пр. В конечном итоге улучшается состояние автомагистралей, дорог и других земляных сооружений; увеличивается их надёжность, эксплуатационная пригодность (создаются условия для более удобной езды): снижаются затраты на техническое обслуживание и др.

Проведение работ по уплотнению грунтов в настоящее время является весьма важным мероприятием, способствующим применению новых территорий, реорганизации ранее неиспользуемых земель и приспособлению их для нужд строительной, транспортной и др. инфраструктур.

Сейчас в нашей стране и за рубежом разработаны многочисленные методы глубинного уплотнения оснований, сложенных мощными слоями слабого грунта: глубинное динамическое уплотнение оснований тяжёлыми трамбовками, взрывами, виброуплотнение, гидровиброуплотнение и др.

#### **Уплотнение грунтов тяжёлыми трамбовками**

Применяется в строительстве по инициативе российских специалистов. На первоначальном этапе тяжёлые трамбовки использовались для уплотнения песчаных и глинистых грунтов оптимальной влажности. При этом существовали ограничения по весу (примерно 10 т) и высоте падения (примерно 10 м). С 70-х годов эти параметры увеличиваются вес трамбовок возрастает до 20–25 т, а высота падения до 22,5 м. Тогда появляется возможность улучшать слабые и заторфованные грунты. Французская компания «Менар» расширяет возможности трамбования с использованием тяжёлых и сверхтяжёлых трамбовок массой до 200 т, поднимаемых на высоту до 40 м.

Для получения уплотнённого основания тяжёлая трамбовка сбрасывается в одно место для образования котлована с уплотнённым дном. Чтобы повысить плотность урамбо-



ванного грунта тяжёлое трамбование стали применять вместе с другими технологиями, осуществляя, например, «динамическое замещение». В нижнюю часть котлована (скважины) забивался грунтовый материал (гравий, щебень и т. п.) с созданием из него уширения. Для укрепления грунтов после образования уширения полость заполнялась тем же материалом с его послойным уплотнением. В результате создаётся так называемый армирующий элемент с высокой деформационной характеристикой (порядка 40–60 МПа), вокруг которого за счёт вытеснения природного грунта в стороны образуется уплотнённая зона.

Сейчас глубинное динамическое уплотнение (тяжёлое трамбование) может применяться практически для всех грунтов и сыпучих материалов (даже для отходов), а также под водой. Благодаря динамическому нагружению, оно ускоряет процесс разжижения грунтов и перегруппировки частиц, следовательно, идеально подходит для улучшения грунтов в сейсмически активных районах. Исключения составляют мелкозернистые грунты, пылеватые пески, динамическое воздействие на которые может вызвать нарушение их структуры и ухудшение свойств.

Однако главным недостатком этого метода уплотнения грунтового основания является тот факт, что увеличение глубины уплотнения может достигаться только при увеличении массы и высоты сбрасывания трамбовки и, как следствие, необходимости применения всё более мощных, дорогостоящих и дефицитных грузоподъёмных механизмов.

Процесс глубинного динамического уплотнения довольно сложно контролировать и оценивать. На оптимизацию уплотнения и распространение вибрации сильно влияют масса и форма падающего груза, высота падения, расположение и расстояния внутри сетки точек уплотнения, количество ударов на точку уплотнения и заходов (один такой включает обычно 3–10 ударов), последовательность уплотнения в параметрах геометрии и времени.

#### **Глубинное уплотнение слабосвязных грунтов взрывами**

Способ уплотнения грунтов глубинными взрывами заключается в последовательном погружении на карте уплотнения основания зарядов ВВ на заданную глубину с определённым шагом (8–10 м). Количество очередей взрывов для достижения оптимальной плотности сложения грунта ( $J_d > 0,6$ ) составляет не менее 3–4.

Опытные и производственные примеры показали, что метод уплотнения грунтов взрывами зарядов ВВ является весьма эффективным средством увеличения плотности и прочности первоначально малоплотных и слабых оснований сооружений, уменьшения их деформируемости при действии статических и, в особенности, динамических нагрузок.

В больших объёмах уплотнение грунтов взрывами было выполнено при строительстве многих ГЭС. При строительстве объектов транспортной инфраструктуры, метод взрывного уплотнения грунтов использовался при уплотнении основания на отдельных участках кольцевой автодороги.

Существенным недостатком глубинного уплотнения грунтов с помощью взрывов, также, как и при использовании тяжёлых трамбовок, является сложность их контроля и оценки непосредственно во время процесса уплотнения основания.

#### **Метод глубинного виброуплотнения песчаных грунтов**

Был разработан во ВНИИГСе на основании богатого отечественного опыта крупнейших российских специалистов в области вибротехники (в частности, погружения свай виброметодом), таких как Баркан Д.Д., Савинов О.А., Лускин А.Я. и др.

Учёными ВНИИГСа была сконструирована установка продольного вибрирования, снабжённая пространственным уплотнителем в виде «ёлочки». В данном случае уплотнитель изготавливается из трубчатой штанги, которую с целью повышения производительности путём увеличения радиуса действия уплотнителя, вдоль её длины снабжают радиальными элементами для придания уплотнителю пространственной структуры. Для искусственного насыщения водой уплотняемого грунта основания непосредственно в процессе работы уплотнителя, трубчатая штанга снабжена в нижнем конце соплом и патрубком в верхней части для подачи под давлением воды в грунт. Собранный вибрационный установкой, включающая вибропогружатель и уплотнитель, подвешивается на крюке крана.

Процесс уплотнения основания на заданной точке данной вибрационной установкой включает в себя погружение в грунт на заданную глубину, последующий подъём уплотнителя и периодическое, по мере подъёма, повторное опускание его при непрерывной работе вибратора. На всём промежутке времени погружения и подъёма уплотнителя через сопло в нижнем конце штанги в грунт под давлением подаётся вода.

При таком движении установки происходит постепенное уплотнение слоя с образованием вокруг уплотнителя мульды осевшего песка. Образовавшуюся воронку заполняют дополнительно привезённым грунтом.

Основными преимуществами данного метода по сравнению с технологией глубинных взрывов или трамбования, является возможность уплотнения песчаных грунтов оснований естественной влажности толщиной 4–6 м с достижением относительной плотности  $J_d = 0,75 - 0,96$  и угла внутреннего трения в  $45^\circ$ .

Уплотнение песчаного грунта на глубину до 6 м позволило на строительстве Архангельской ТЭЦ и Рижской ТЭЦ заменить свайный фундамент с монолитным ростверком на сборные фундаменты на уплотнённом песчаном основании.

Использование в данной установке более мощного виброфлотатора ВШ-1 позволяет увеличить глубину уплотнения основания до 12-15 м, но она также будет существенно ограничивать его рабочими параметрами.

### **Технологии «vibro» глубинного укрепления грунтов «Keller»**

Одним из лидеров в области укрепления слабых грунтовых оснований при помощи технологии «vibro» глубинного уплотнения является фирма «Keller». При проектировании и выполнении работ, она использует собственные технологии и проектные решения, а также машины, произведённые компанией.

Для укрепления оснований «Keller» использует три основные разновидности технологии «vibro» («vibro») глубинного укрепления грунтов, которые различаются способом действия и передачей нагрузки на основание: виброфлотация, виброобмен и виброуплотненные элементы.

#### **Виброфлотация**

Виброфлотация представляет собой уплотнение несвязных сыпучих грунтов под действием вибрации механизма. Эта технология применяется, если основание сложено песчаными слоями, реже – слоями крупнообломочного грунта.

Для уплотнения несвязных грунтов используется специальный вибропогружатель, который, как правило, подвешивается на крюке крана или экскаваторе. Он представляет собой металлическую полую ведущую трубу с гибкой муфтой посередине и встроенным электродвигателем. Нижняя часть трубы снабжена стальными рёбрами. Между ними предусмотрены сопла для подвода воды или воздуха при необходимости, это позволяет варьировать режимом водонасыщения грунтов. Нижний конец ведущей трубы завершается металлическим лезвием для лучшего прорезания слоёв грунта в основании.

Уплотнение крупнозернистых грунтов происходит наиболее эффективно при использовании вибраторов сравнительно низкой частоты вибрации.

#### **Процесс виброфлотации**

Процесс виброфлотации на заданной точке уплотнения основания описанной вибрационной установкой производится в следующей последовательности:

1. *Углубление.* Включённый вибратор погружается на проектную глубину в грунт с помощью ведущей трубы.

Опускание вибратора зачастую может сопровождаться сильной подачей воды под давлением, выходящей через сопла на стволе вибратора. Мелкие фракции грунта при этом выносятся на поверхность с выплывающей водой. После достижения проектной глубины подача воды прекращается.

2. *Уплотнение.* Уплотнение грунта выполняется возвратно-поступательным движением вибратора снизу-вверх по мере его подъёма.

Зона действия вибратора достигает по диаметру до 5 м. При этом динамическое возбуждение песчаной водонасыщенной среды вызывается одновременно во всём объеме массива грунта в радиусе действия уплотнителя на глубину его погружения. Песок при вибрации уплотняется не только вследствие первоначального перемещения зёрен грунта и более компактной переукладки части песка после разжижения, но также от повторного погружения вибратора по мере его подъёма. В зависимости от свойств основания и интенсивности уплотнения, достигается видимое уменьшение объема грунта.

Степень уплотнения определяется по возрастающему потреблению тока вибратором.

3. *Досыпка.* В зоне действия виброфлотатора уплотняемое слабое основание начинает интенсивно оседать. Вследствие осадки грунта вокруг вибратора образуется мульда оседания в виде ярко выраженной воронки. Её заполняют специально привезённым или «родным» песчаным материалом, который послойно уплотняется поверхностным вибратором. Досыпка составляет около 10 % уплотняемого объема.

4. *Заключение.* После выполнения виброфлотации рабочая платформа выравнивается и добавочно уплотняется поверхностным вибратором.

В песчаных грунтах возможно с помощью глубинных виброфлотаторов вводить и прочно анкерить в грунте различные гибкие строительные элементы, как, например, анкера или стальные профили.

Примером технологии виброфлотации является выполнение укрепления в районе проектирования селения Дербы в Польше. Все проектируемые здания располагались на торфах и намолах, переслоенных пластическими связными грунтами, ниже которых залежали средние и мелкие пески в рыхлом и среднем уплотненном состоянии. Уровень грунтовых вод находился на уровне подошвы ленточных фундаментов. С целью усиления основания под фундаментами было запроектировано укрепление с помощью технологии виброфлотации с применением виброобмена. Технология виброфлотации с учётом определённой сетки точек привела к улучшению степени уплотнения грунта в зоне действия колебаний, а виброобмен нашёл применение в связных грунтах, которые не подлежат собственному уплотнению.

### **Виброобмен**

Связанные и неоднородные грунты часто имеют недостаточную несущую способность или плотность. При содержании в их составе пылевидных или илистых частиц свыше 10 % такие грунты практически не поддаются собственному уплотнению. Применение для их укрепления метода виброфлотации не представляется возможным. В этом случае для повышения несущей способности грунта используется виброобмен.

Технология виброобмена заключается в формировании колонн из наполнителя, которые принимают нагрузку на себя в слабосвязанных грунтах, не поддающихся собственному уплотнению.

В качестве наполнителя для образования колонн, укрепляющих слабое связанное основание, используются крупнозернистые материалы – гравий, щебень, шлак или комбинация из двух видов указанных материалов. Для эффективного уплотнения целесообразно применять смеси различного гранулометрического состава; при этом достигается лучшее качество уплотнения образующейся колонны.

Для выполнения работ по укреплению основания методом виброобмена применяется специальный шлюзовой вибратор. Он подвешивается к мачте и устанавливается на укрепляемый грунт с помощью гусеничной машины, которая опирается гидравлически. Вибратор, так же, как и при технологии виброфлотации представляет собой полую ведущую трубу, которая снабжена гибкой муфтой посередине и имеет встроенный электродвигатель. Однако полая ведущая труба в данном случае выполняет роль бункера для наполнителя и снабжена входным шлюзом для него в верхней части. Внутри вибратора наполнитель по подающей трубе, расположенной ниже муфты, перемещается в направлении выходного отверстия вблизи лезвия под давлением сжатого воздуха.

## **Процесс виброобмена**

Процесс виброобмена производится в следующей последовательности:

1. *Подготовка.* Вибратор с помощью гусеничной машины устанавливается в обозначенной точке. После гидравлического закрепления установки в бункер для наполнителя погрузчиком загружается крупнозернистый материал (щебень, гравий и т. п.).

2. *Наполнение.* Бункер с наполнителем втягивается на мачту и загружается через входной шлюз в верхний бункер вибратора, куда он подаётся по направляющей трубе. После закрытия шлюза наполнитель перемещается под давлением сжатого воздуха в направлении выхода у лезвия вибратора.

3. *Углубление.* Вибратор, расталкивая окружающий грунт, начинает погружаться в слабое основание до предусмотренной проектом отметки. Углубление происходит как под воздействием сжатого воздуха, так и мощности основной машины. Он продвигается вдоль направляющей мачты гусеничной установки, которая может его добавочно прижимать.

4. *Устройство.* Образование колонны ведётся возвратно-поступательным движением. Подтягиванию вибратора способствует выход наполнителя из освободившегося пространства под лезвием, которое поддерживается от обрушения давлением сжатого воздуха. Возвратно-поступательный процесс приводит к расталкиванию наполнителя в стороны и его уплотнению.

В некоторых связанных и смешанных грунтах, в зависимости от степени насыщенности водой, горизонтальные вибрации и расталкивание наполнителя приводят к дополнительному уплотнению самого грунта. Этот метод укрепления основания похож на виброфлотацию, однако в результате образуется не только объём уплотнённого слабого основания, но и колонны из наполнителя в центре (KSS), которые работают вместе с грунтом при приёме и передаче нагрузок.

5. *Заключение.* После изготовления колонн нужно дополнительно уплотнить дно котлована поверхностным уплотнителем и выполнить подсыпку выравнивающего слоя, если по укрепленному грунту будет устраиваться фундамент.

Как было сказано ранее, основания, уплотнённые при помощи технологии виброобмена, обладают довольно высокой несущей способностью и характеризуются большой жёсткостью и выносливостью на все виды нагрузок. Именно поэтому метод виброобмена может быть альтернативным в вопросе замены традиционно используемых на слабых грунтах свайных фундаментов на менее трудоёмкие и дорогостоящие фундаменты мелкого заложения. Результативным является и применение усиленных гравийными колоннами грунтов для нужд дорожного и гидротехнического строительства. Технология виброобмена целесообразна при укреплении неконтролируемых насыпей, содержащих между иными строительный мусор, золы, шлак и т. п.

Размер фундаментов, проектируемых на колоннах из наполнителя, рассчитывается как для обычных фундаментов, а допускаемые давления на основание допускаются от 150 до 400 кПа.

Технология виброобмена была успешно применена при укреплении маршрута скоростного движения в Познани (город в Польше), территория которого была расположена на недействующей городской мусорной свалке.

## **Виброуплотненные элементы**

В том случае, когда очень слабый грунт не обеспечивает прочную совместную работу с колонной, изготовленной только из наполнителя, «Keller» применяет виброуплотненные элементы – цементированные колонны (VSS), бетонные уплотнённые колонны (FSS) и бетонные колонны (BRS). Эта же технология применяется в случае передачи на укрепляемое основание очень больших нагрузок и при наличии грунтов, которые могут поддаваться дальнейшему распаду или ползучести.

*Цементированные колонны (VSS)* представляют собой виброуплотненные элементы, которые выполняются технологией виброобмена посредством добавкицементной

смеси к крупнозернистому наполнителю во время формирования уплотненного элемента. Цементная смесь, связываясь с наполнителем, образует прочные колонны, способные воспринимать значительные нагрузки.

Бетонные уплотняемые колонны (FSS) также изготавливаются с помощью виброобмена, однако для их формирования применяется готовый провибрированный бетон класса В10-В15. Благодаря определённому составу и консистенции он ведёт себя так же, как и обычный наполнитель при виброобмене.

Тем самым в обоих типах колонн получается эффект добавочного укрепления окружающего грунта, который возникает благодаря вибрации и дополнительному давлению глубинного вибратора.

Имея жёсткий ствол, виброуплотнённые элементы VSS и FSS ведут себя в основании в большей степени как сваи. Они и рассчитываются подобно сваям, принимая во внимание их несущую способность, а также осадку. Несущая способность таких элементов составляет от 400 до 700 кН.

*Бетонные колонны (BRS)* выполняются путём закачивания по всей длине ствола конструкционного бетона В25.

Они обладают большой несущей способностью, которая достигается благодаря укреплению грунта вокруг основания колонны в результате работы вибратора – нескольких поднятий и вдавливания его в несущий грунт. Ствол колонны BRS имеет большую прочность и бетонируется во время равномерного поднятия вибратора вверх. После выполнения её можно дополнительно армировать.

Диаметр колонн BRS составляет от 40 до 60 см – это меньше диаметров других колонн, выполняемых по технологии виброобмена. При благоприятных условиях формирования уширения башмака в несущем грунте, бетонные колонны могут выдерживать нагрузки до 800 кН.

Усиление основания бетонными сваями BRS было успешно выполнено при проектировании основания фундаментов, пола и разгрузочной площадки гипермаркета ОБИ в г. Олыштын.

Проблемой укрепления массивов слабых грунтов занимаются довольно давно. Отечественными специалистами был разработан ряд способов уплотнения слабых грунтовых оснований: глубинное динамическое уплотнение оснований тяжёлыми трамбовками, взрывами, виброуплотнение, гидровиброуплотнение и др. Однако все эти методы имеют ограниченную глубину уплотнения толщи слабого грунта, в основном, вследствие недостаточно мощной техники и специализированного оборудования.

Уплотнение слабых массивов в зависимости от применяемой техники и используемых материалов позволяет получить «новое» основание с более хорошими физико-механическими характеристиками и достаточной для восприятия нагрузок от сооружений несущей способностью.

Дополнительным преимуществом является безвредное влияние на окружающую среду. В основание вдавливаются натуральные материалы, а количество выработки исключительно малое.

Укреплённый массив грунта хотя и обладает более высокими прочностными и деформативными свойствами, но их численное значение оценить довольно сложно. Характеристики зависят от степени уплотнения слабого основания, которое даже при качественном выполнении работ может быть весьма неоднородным. Поэтому очень важной задачей при проектировании уплотнения грунтов является получение точных значений характеристик образованного массива, их оценка и последующее прогнозирование.

## Литература

1. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. СПб., 2004.

2. Заварзин Л.Г. Слабые грунты на территории Санкт-Петербурга /Л.Г.Заварзин// Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2000. № 2.
3. Крутов А.П. Эффективность применения взрывов при уплотнении водонасыщенных малосвязных грунтов // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2000 г. № 2.
4. Иванов И.Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. М: Недра, 1983. 230 с.
5. Лапшин Ф.К. Основания и фундаменты в дипломном проектировании/Ф.К. Лапшин. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1986. 224 с.
6. Брандль Х. Улучшение грунта и инновации при проведении земляных работ для транспортной инфраструктуры // Развитие городов и геотехническое строительство -2007. № 11.
7. Цытович Н.А. Механика грунтов/ Н.А. Цытович.М.: Госстройиздат, 1963. 636 с.
9. Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах. М.: Стройиздат, 1981. 56 с.
10. Минаев О.П. Разработка динамических методов глубинного уплотнения слабосвязных грунтов оснований и сооружений. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. СПб.: 2009. 320 с.
13. А.с. № 126803 СССР, МКИ Е 02Д 3/12. Устройство вибрационного действия для глубинного уплотнения водонасыщенных грунтов/П.Д. Лобасов. – Приоритет 03.06.1959.

#### УДК 625.731

*Елизавета Сергеевна Кирьянова*, студент  
*Владимир Викторович Конюшков*, канд. техн. наук,  
 доцент  
 (Санкт-Петербургский государственный архитек-  
 турно-строительный университет)  
*E-mail: elizabeth.kiryanova@gmail.com,*  
*v.konyushkov@mail.ru*

*Elizaveta Sergeevna Kiryanova*, student  
*Vladimir Viktorovich Konyushkov*, PhD of Tech. Sci.,  
 Associate Professor  
 (Saint Petersburg State University of Architecture  
 and Civil Engineering)  
*E-mail: elizabeth.kiryanova@gmail.com,*  
*v.konyushkov@mail.ru*

### **К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ НЕАРМИРОВАННОЙ И АРМИРОВАННОЙ НАСЫПИ**

#### **ON THE INFLUENCE OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE SOIL ON THE STABILITY OF AN UNREINFORCED AND REINFORCED EMBANKMENT**

В данной статье обобщены причины, приводящие к обрушению массива грунта, и рассмотрено влияние удельного веса и угла внутреннего трения песка, слагающего насыпь, на устойчивость неармированной и армированной насыпи. Рассчитано нормативное значение коэффициента устойчивости для данного вида сооружения, выполнены соответствующие расчеты и проведен анализ влияния характеристик грунта с указанием процентного изменения коэффициента устойчивости. Для обоснования армирования насыпи выполнен расчет с максимальным углом заложения откоса и минимальными характеристиками грунта насыпи. Построены графики зависимости коэффициента устойчивости от удельного веса и угла внутреннего трения.

*Ключевые слова:* удельный вес, угол внутреннего трения, устойчивость, армирование, геосинтетические материалы.

The article deals with the causes leading to collapse of the soil massif, and consider the influence of the total unit weight and the internal friction angle of the sand composing the embankment on the stability of the unreinforced and reinforced embankment. The authors calculate the normative value of the factor of safety for this type of construction, perform the corresponding calculations and analyze the influence of soil characteristics indicating the percentage change in the factor of safety. To justify the reinforcement embankment, calculation is performed with the maximum angle of embankment and the minimum characteristics of the soil. The authors plot a dependence of the factor of safety on the total unit weight and the internal friction angle.

*Keywords:* total unit weight, internal friction angle, stability, reinforcement, geosynthetics.

#### **Введение**

Насыпь служит основанием для наиболее дорогого и важного элемента дороги – дорожной одежды. Прочность, долговечность и высокие эксплуатационные качества дорожной одежды в значительной степени зависят от прочности и устойчивости грунта насыпи. Насыпь в целом и ее отдельные части находятся под действием сил собственного веса, подвижной нагрузки и различных природно-климатических факторов. Очень важно спроектировать

тировать и построить насыпь так, чтобы под действием этих сил она не изменяла своей формы и была устойчива в целом, как земляной массив. Конструкцию насыпи выбирают исходя из категории дороги, качества грунтов, типа дорожной одежды, природно-климатических условий района строительства дороги.

Расчет устойчивости насыпи относится к первой группе предельных состояний. Поэтому устойчивость определяется напряженным состоянием и прочностью грунтов насыпи. Прочность грунтов, в свою очередь, характеризуется прочностными и физическими характеристиками – удельным весом, удельным сцеплением и углом внутреннего трения.

Зачастую, причинами, приводящими к нарушению устойчивости массивов грунта в насыпи, являются: обводнение грунтов, т. е. уменьшение удельного сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  и увеличение удельного веса  $\gamma$ ; увеличение крутизны откосов; увеличение нагрузки на насыпь; технологические воздействия и т. д.

### Изменение коэффициента устойчивости неармированной насыпи

В соответствии с ОДМ 218.2.027-2012 [1], при оценке общей устойчивости склона, откоса или сооружения рекомендуется сопоставлять расчетные значения показателей устойчивости с их нормативными значениями. Общую устойчивость можно считать обеспеченной при соблюдении условия:

$$K^P \geq K_o^H, (1)$$

где  $K^P$  – расчетное значение показателя устойчивости склона, откоса, сооружения;  $K_o^H$  – нормативный показатель общей устойчивости склона, откоса, сооружения

$$K_o^H = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_m, (2)$$

В данных вычислениях расчетные значения общей устойчивости должны быть:

$$K_p \geq K_o^H = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,1 \Rightarrow K_p \geq 1,10. (3)$$

### Влияние удельного веса

Плотность оказывает влияние на прочность и устойчивость грунтов при одновременных воздействиях на них нагрузок и погодно-климатических факторов. Существуют минимальные значения плотности, которые применительно к типу возведенного на грунтах инженерного сооружения, обеспечивают его удовлетворительную устойчивость грунтов. Эти минимальные значения зависят от климатических условий, типа местности, расположения слоя грунта в насыпи, температурно-влажностных условий окружающей среды, /в течение которых возводят насыпь, и влажности грунта. Согласно учебному пособию [3], характерными значениями плотности песка являются  $\rho = 1,65 \dots 1,85 \text{ г/см}^3$ .

В любой системе единиц удельный вес равен произведению плотности на ускорение свободного падения:  $\gamma = \rho \cdot g$ , где  $g = 9,8 \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

В качестве расчетной модели использовалась насыпь с углом откоса  $\alpha = 36^\circ$ , нагрузкой  $P = 5 \text{ кН/м}^2$  и грунтами, характеристики которых приведены в табл. 1. Все расчеты проводились численным методом, в программном комплексе *Plaxis 2D*. Диапазон изменения удельного веса грунта насыпи (песок крупнозернистый) –  $\gamma = 16,5-18,5 \text{ кН/м}^3$  с шагом  $1 \text{ кН/м}^3$ .

Таблица 1

Материал	Модель	Тип поведения	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ кН/м <sup>3</sup>	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$\nu$	$c$ , кН/м <sup>2</sup>	$\varphi$ , °
Песок крупнозернистый	Mohr-Coulomb	Drained	18,5	34000	0,30	2	35
Насыпные пески	Mohr-Coulomb	Drained	16,5	20000	0,3	0	30
ИГЭ № 4 – суглинки полутвердые с гравием и галькой до 15 %	Mohr-Coulomb	Drained	21,5	11000	0,35	25	12
ИГЭ № 13 – глины твердые дислоцированные	Mohr-Coulomb	Drained	20,7	18000	0,37	30	12

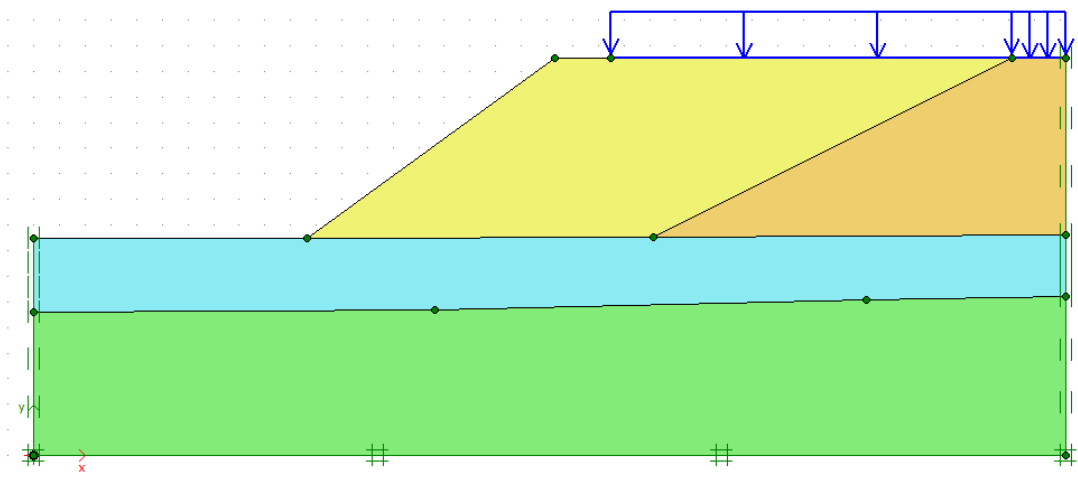


Рис. 1. Расчетная схема неармированной насыпи

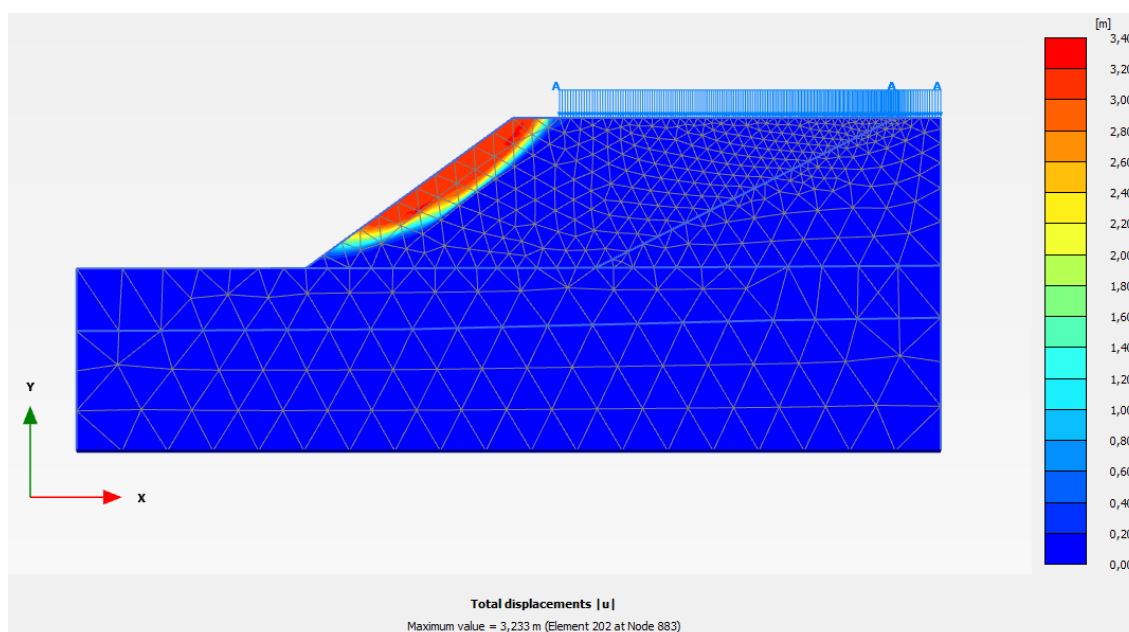


Рис. 2. Поверхность скольжения массива грунта при  $\gamma = 16,5 \text{ кН/м}^3$

Вычисленные значения коэффициента устойчивости с изменением величин удельного веса в диапазоне  $\gamma = 16,5\text{--}18,5 \text{ кН/м}^3$  представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Удельный вес, $\gamma$ , $\text{кН/м}^3$	Коэффициент устойчивости, $K^p$	Процент изменения
1	18,5	1,21	0 %
2	17,5	1,22	0,8 %
3	16,5	1,23	1,6 %

Как видно из табл. 2, изменение удельного веса, а именно его уменьшения, приводит к повышению коэффициента общей устойчивости примерно на 1,6 %. Расчеты показали, что изменение удельного веса не значительно влияет на коэффициент устойчивости грунта насыпи, так как в данных вычислениях не учитывалось влияние уровня грунтовых вод.

**Влияние угла внутреннего трения.** Угол внутреннего трения  $\phi$  характеризует трение между частицами грунта и в большей степени зависит от величины вертикального дав-



ления на грунт. Значение его для разных грунтов колеблется от 15 до 43°. Угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $c$  вместе составляют сопротивление  $\tau$  грунтов сдвигу (при отсутствии порового давления):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c . \quad (4)$$

Предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу прямо пропорционально нормальному напряжению:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (5)$$

В расчете использовались характерные значения угла внутреннего трения для песка, представленные в [3] и равные  $\varphi = 25\text{--}35^\circ$  с шагом  $2^\circ$ .

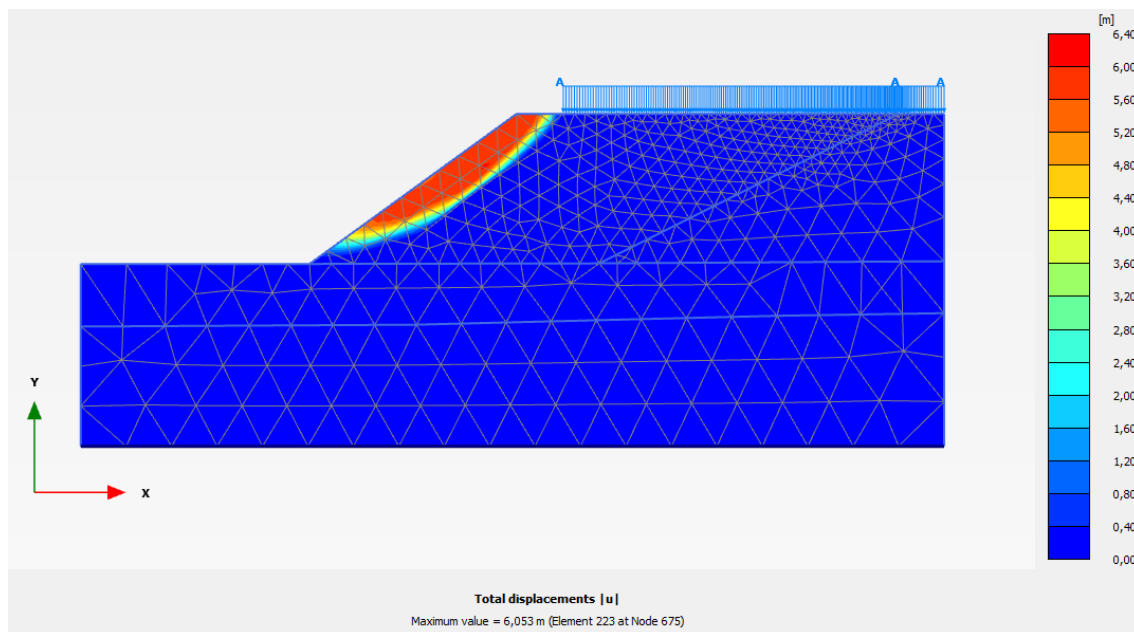


Рис. 3. Поверхность скольжения массива грунта при  $\varphi = 25^\circ$

Вычисленные значения коэффициента устойчивости показали (табл. 3), что с увеличением угла внутреннего трения с  $25^\circ$  до  $35^\circ$ , повышается коэффициент устойчивости примерно на 29 %, что оказывает существенное влияние на устойчивость насыпи. Расчеты показали, что при минимальных значениях угла внутреннего трения ( $\varphi = 25\text{--}29^\circ$ ) условие устойчивости (3) не выполняется, т. е. устойчивость грунта не обеспечена.

Таблица 3

№, п/п	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , °	Коэффициент устойчивости, $K^p$	Процент изменения
1	25	0,86	0 %
2	27	0,93	8 %
3	29	0,99	13 %
4	31	1,07	19 %
5	33	1,12	23 %
6	35	1,21	29 %

#### Изменение коэффициента устойчивости армированной насыпи

В качестве армирующего материала использовалось тканое полотно *Stabilenka* 100/50 с техническими характеристиками, данными в табл. 4.

Таблица 4

Наименование	Тип материала	EA, кН/м	N <sub>p,1</sub> , кН/м
1 Geogrid	Elastoplastic	1000	39
2 Geogrid	Elastoplastic	2000	78

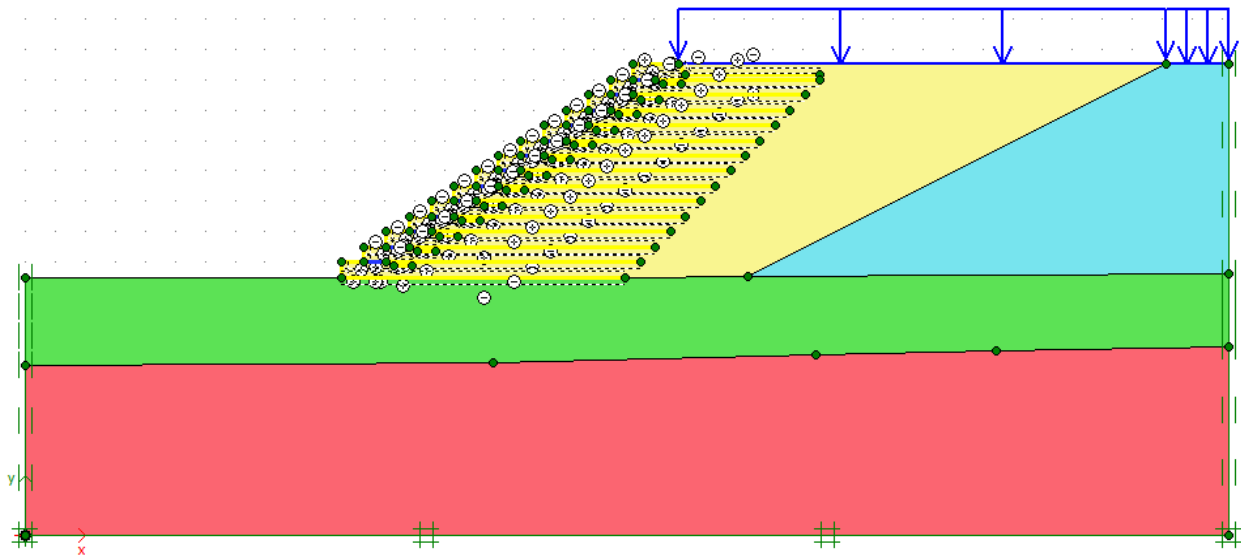


Рис. 4. Расчетная схема армированной насыпи

### Влияние удельного веса

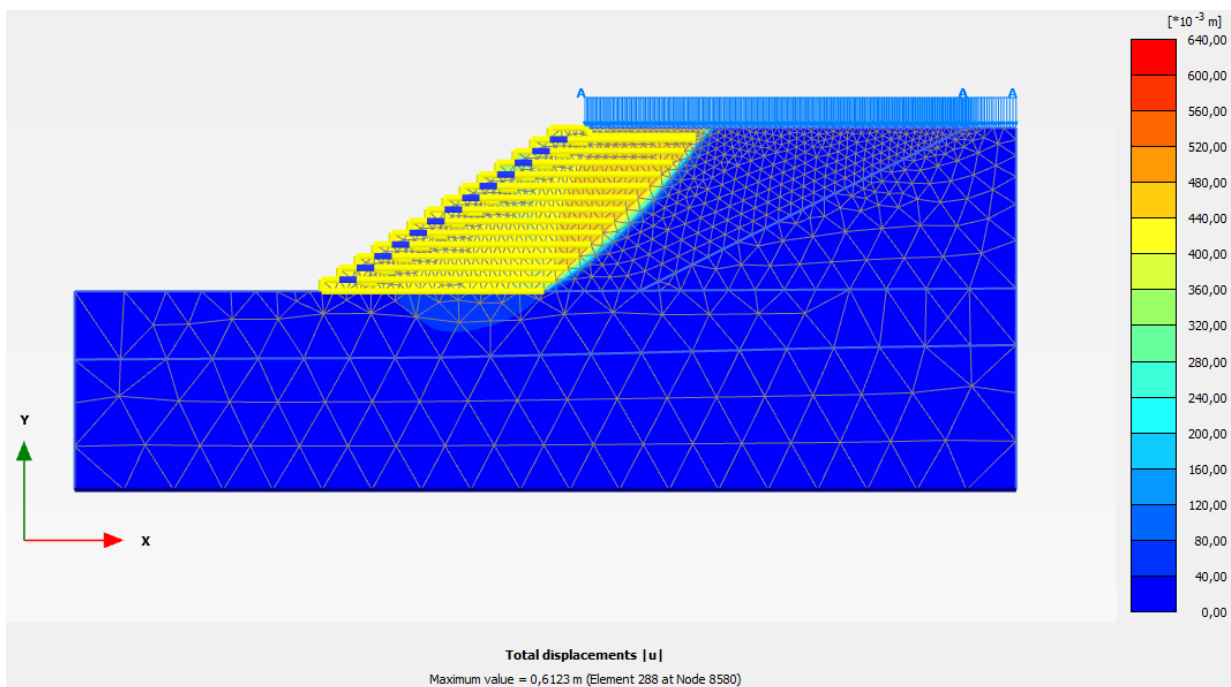


Рис. 5. Поверхность скольжения массива грунта при  $\gamma=16,5 \text{ кН/м}^3$

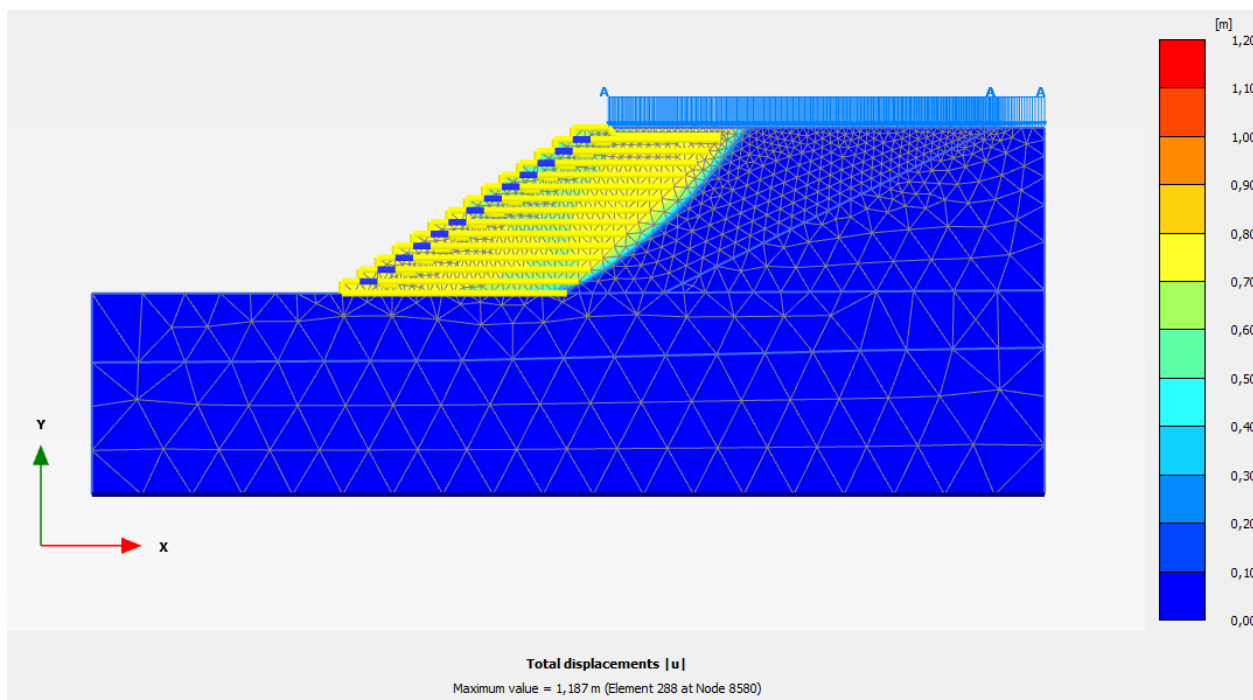
Вычисленные значения коэффициента устойчивости с разными удельными весами в диапазоне  $\gamma = 16,5\text{--}18,5 \text{ кН/м}^3$  представлены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, уменьшение удельного веса приводит к повышению коэффициента общей устойчивости примерно на 3,5 %, что не оказывает большого влияния на общую устойчивость грунта насыпи.

Таблица 5

№, п/п	Удельный вес, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Коэффициент устойчивости, $K^p$	Процент изменения
1	18,5	1,66	0 %
2	17,5	1,69	1,8 %
3	16,5	1,72	3,5 %

### Влияния угла внутреннего трения

Рис. 6. Плоскость скольжения массива грунта при  $\varphi = 25^\circ$ 

Вычисленные значения коэффициента устойчивости показали (табл. 6), что с увеличением угла внутреннего трения коэффициент устойчивости повышается примерно на 20 %, что оказывает существенное влияние на устойчивость насыпи. Расчеты показали, что при использовании арматуры, в виде тканого полотна *Stabilenka 100/50*, устойчивость насыпи обеспечена даже при минимальных значениях угла внутреннего трения.

Таблица 6

№, п/п	Угол внутреннего трения, $\varphi$ , °	Коэффициент устойчивости, $K^p$	Процент изменения
1	25	1,32	0 %
2	27	1,40	6 %
3	29	1,47	10 %
4	31	1,55	15 %
5	33	1,61	18 %
6	35	1,66	20 %

### Расчет армированной насыпи с минимальными физическими и прочностными характеристиками

Для обоснования армирования насыпи был выполнен расчет со следующими характеристиками грунта насыпи:  $\gamma = 16,5$  кН/м<sup>3</sup>,  $\varphi = 25^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ . Расчетная схема показана на рис. 9.

Результаты расчета показали, что при снижении прочностных и физических характеристик до минимальных значений и максимальном угле заложения откоса, неармированная насыпь неустойчива, ее коэффициент устойчивости составил 0,83, в свою очередь, коэффициент устойчивости армированной насыпи составил 1,23.

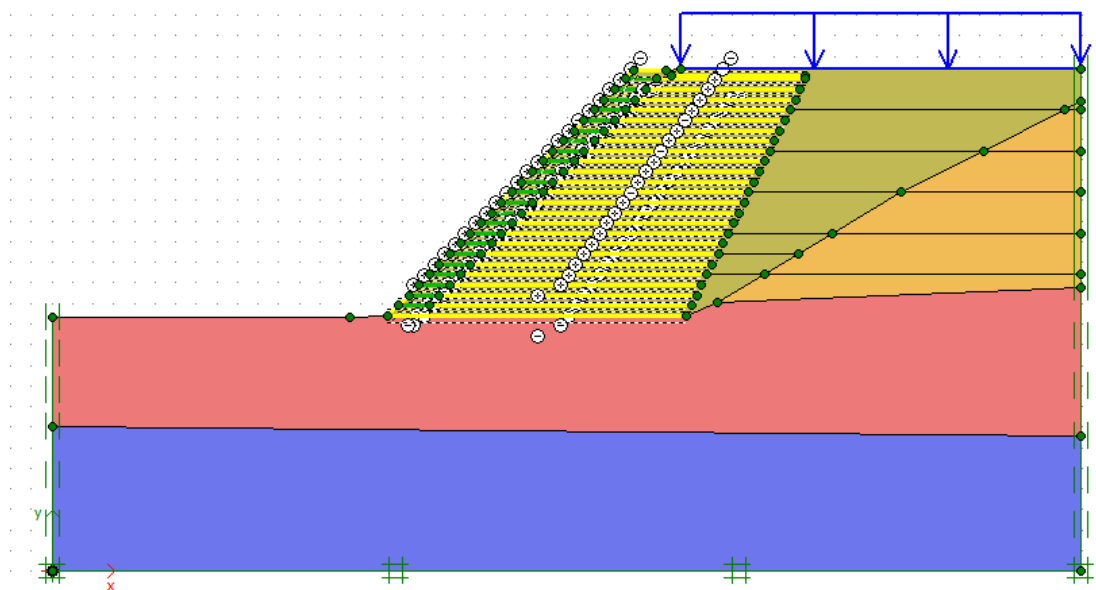


Рис. 7. Расчетная схема насыпи с минимальными прочностными характеристиками грунта и максимальным углом заложения откоса  $\alpha = 45^\circ$

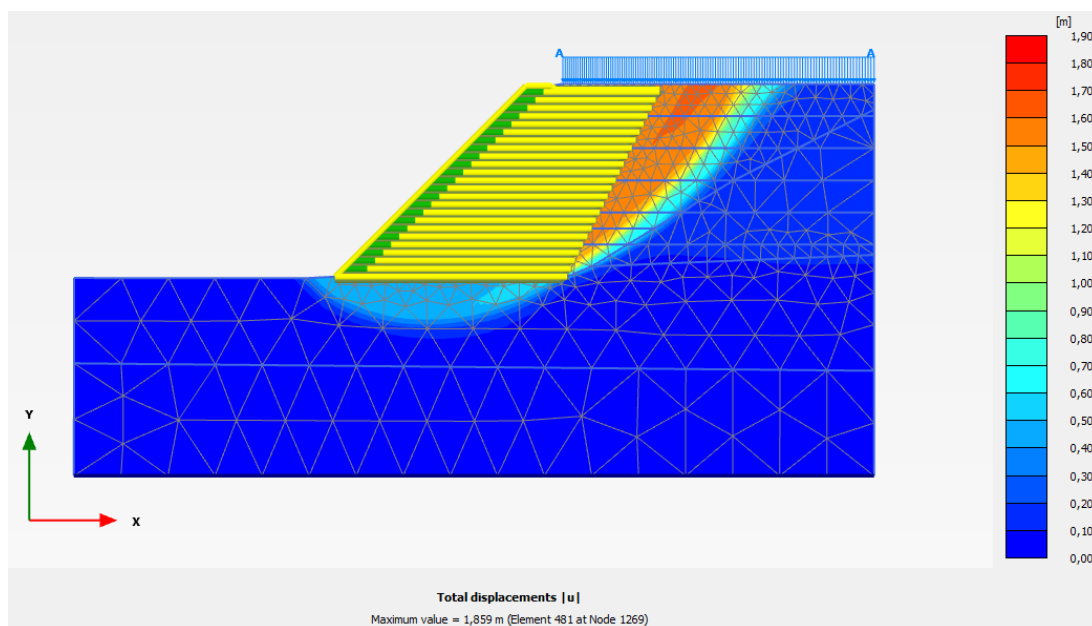


Рис. 8. Поверхность скольжения грунта насыпи при минимальных значениях свойств грунта

## Выводы

Выполненные расчеты показали, что при уменьшении удельного веса коэффициент устойчивости  $K^p$  увеличивается. Коэффициент устойчивости армированной насыпи при изменении удельного веса с  $\gamma = 18,5 \text{ кН/м}^3$  до  $\gamma = 16,5 \text{ кН/м}^3$  по сравнению с неармированной насыпью увеличился на 28 % (рис. 9). Условие устойчивости (1) выполняется и для неармированной, и для армированной насыпи. Но стоит отметить, что с уменьшением плотно

сти пористость грунта увеличивается, что приводит к уменьшению прочности. Кроме того, возрастает деформируемость, водопроницаемость, набухание и морозное пучение, что понижает прочность грунта насыпи. Поэтому, если стоит задача повысить коэффициент устойчивости, то не рекомендуется понижать плотность грунта (удельный вес), так как ее значение не значительно влияет (3,5 %) на устойчивость насыпи.

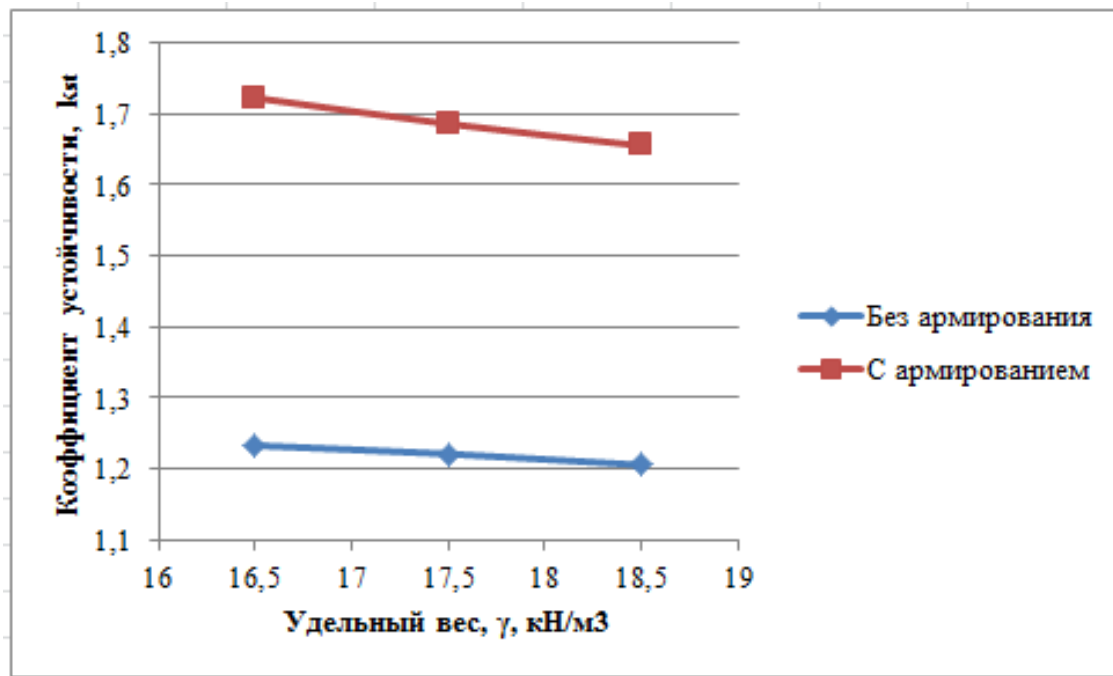


Рис. 9. График зависимости коэффициента устойчивости от удельного веса

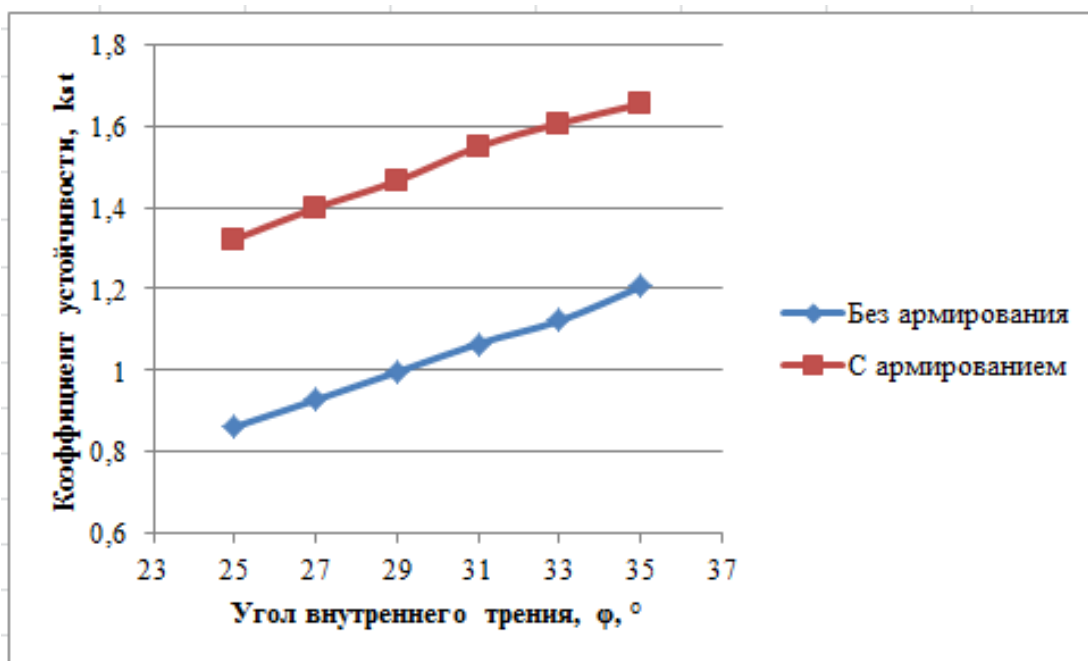


Рис. 10. График зависимости коэффициента устойчивости от угла внутреннего трения

В то же время, при изменении угла внутреннего трения, а именно его увеличении с  $\varphi = 25^\circ$  до  $\varphi = 35^\circ$ , коэффициент устойчивости армированной насыпи увеличился на 35 %

(рис. 10) по сравнению с неармированной насыпью. При этом условие устойчивости (1) полностью выполняется только в случае, если насыпь армирована. Как показали расчеты, угол внутреннего трения оказывает существенное влияние (20–29 %) на устойчивость насыпи.

При строительстве линейных объектов, таких как автомобильные дороги, железнодорожные линии и т. д., возникает проблема обеспечения общей устойчивости и требуемых характеристик грунтов на протяжении всей эксплуатации этого объекта.

При долговременной эксплуатации линейных объектов насыпь подвергается многим технологическим воздействиям, таким как:

- увеличение внешней нагрузки на насыпь (земляное полотно);
- снижение сцепления и трения грунта при его увлажнении, что возможно при повышении уровня подземных вод;
- динамические воздействия, проявление гидродинамического давления и сейсмических сил.

Нарушение устойчивости грунта насыпи часто является результатом нескольких причин, поэтому при изысканиях и проектировании необходимо оценивать вероятные изменения прочностных и физических характеристик до минимальных значений свойств грунта.

Для того чтобы нарушение устойчивости насыпи предупредить и избежать, необходимо предусмотреть армирование. Как показали расчеты, при минимальном угле внутреннего трения  $\varphi = 25^\circ$  насыпь без армирования не устойчива

$$K^P = 0,83 < K_0^H = 1,10, \quad (6)$$

в то время как у насыпи с армированием общая устойчивость обеспечивается

$$K^P = 1,23 > K_0^H = 1,10. \quad (7)$$

В настоящее время армирование широко используется как один из методов усиления слабых, сильно сжимаемых, а также структурно-неустойчивых грунтов. Применение такого типа усиления позволяет целенаправленно изменять физико-механические свойства грунта, повысить несущую способность и жесткость основания, выровнять неравномерность деформаций за счет перераспределения напряжений. Использование армирующих материалов в строительстве имеет множество преимуществ. Основным эффектом от их применения связан со значительным повышением надёжности и долговечности строительных конструкций, а также большой экономической выгодой и сокращением времени строительства.

Как видно из расчета, армирование геосинтетическими материалами, увеличивающее устойчивость насыпи на 32 %, – это эффективный способ повышения сдвигоустойчивости конструкции и механических свойств слоев дорожных одежд. Геосинтетический материал имеет высокую прочность на растяжение и в совокупности с уплотненными слоями грунта насыпи образует сложную конструкцию. Геотекстиль действует как арматура благодаря своей высокой способности к сцеплению с грунтом и поглощению растягивающих нагрузок. Использование геосинтетических материалов для армирования грунта с низкой несущей способностью исключает необходимость проведения работ по замене грунта.

## Литература

1. ОДМ 218.2.027-2012. Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах. М.: РОСАВТОДОР, 2014. 68 с.
2. ОДМ 218.5.003-2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. М.: РОСАВТОДОР, 2010. 141 с.
3. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* (с изменением N 1).
4. Заручевных И. Ю., Невзоров А. Л. Механика грунтов в схемах и таблицах: Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2007. 136 с.

## УДК 624.1

*Сергей Владимирович Ланько*, канд. техн. наук,  
доцент

*Андрей Владимирович Бояринцев*, магистрант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

*E-mail: sergeylanko@gmail.com,  
andrey\_boyarintsev@mail.ru*

*Sergey Vladimirovich Lanko*, PhD in Sci. Techn.,  
Associate Professor

*Andrej Vladimirovich Boyarintsev*, student  
(St. Petersburg State University  
Architecture and Civil Engineering University)

*E-mail: sergeylanko@gmail.com,  
andrey\_boyarintsev@mail.ru*

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СВАЙ ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

### ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MODERN COMPOSITE MATERIALS FOR PROTECTING PILES FROM FROST LOADING

В статье приведен анализ существующих мероприятий и материалов для противопучинной защиты свай и фундаментных конструкций в условиях вечномерзлых грунтов. На сегодняшний день основными мероприятиями для защиты свай от касательных сил морозного пучения являются обмазки поверхности свай в зоне деятельного слоя составами на основе нефтепродуктов или, реже, эпоксидных смол, а также создание «обоймы» из непучинистого грунта. Основная задача при проектировании противопучинной защиты – снижение сил смерзания грунта и материала свай. Однако, указанные материалы зачастую обладают низкой износостойкостью при погружении. В связи с вышесказанным актуальным направлением в данном исследовании является применение композитных материалов, как для самих свай, так и для противопучинной обмазки.

*Ключевые слова:* пучение грунтов, свайные фундаменты, вечномерзлые грунты, композитные материалы, стеклопластик.

In this article author provides an analysis of existing measures and materials for protecting piled foundation and another their kinds from frost heave in permafrost conditions. At present the main measures to protect the piles from the tangential forces of frost heave is the covering of the surface of piles in the zone of the active layer of soil with composition based on petroleum products. Same, but more rarely, epoxy resins and the creation of a "holder" of non frost freeze of ground and pile materials. However, these materials often have low abrasion resistance. Summarizing, author says that the current direction in this study is the use of composite materials from piles and their coating.

*Keywords:* deep seat, pile foundations, permanently frozen soil, composite material, fiber-glass plastic

Как известно, большая часть Российской Федерации (около 60-70 %) сложена вечномерзлыми грунтами, при этом зачастую верхний деятельный слой представлен пучинистым грунтом (рис. 1).

В настоящее время в практике Северного строительства применяется I-ый принцип с сохранением грунтов в мерзлом состоянии по следующим причинам: строительство производится в сжатые сроки (оттаивание грунтов и последующая их консолидация происходит более медленно), методы строительства более экономичные, малые деформации (при правильной эксплуатации зданий и сооружений). Существующие средства термостабилизации [8] позволяют в короткие сроки создать мерзлый массив грунта и поддерживать его в таком состоянии на всём сроке эксплуатации зданий или сооружений.

Однако при строительстве возникают существенные проблемы, касающиеся морозного пучения грунтов деятельного слоя, особенно для лёгких зданий и сооружений (опоры ЛЭП, опоры трубопроводов, лёгкие здания подстанций и др.).

В процессе промерзания вода, содержащаяся в составе грунтов, переходит из жидкого в твёрдое состояние (лёд), что сопровождается увеличением межмолекулярного пространства, и как следствие увеличение грунтового массива в объёме. Согласно главенствующей теории [7], пучение грунтов, помимо замерзания воды, обуславливается миграцией влаги к фронту промерзания. К примеру, при медленном промораживании грунтовой толщи и наличии водоносного горизонта в условиях площадки, возникает дополнительное пучение, за счёт перемещения влаги в промерзающие слои грунта из нижележащих, и последующее её замерзание. При определённых условиях (отсутствие дренажа и наличие грунто-

вых вод), грунты, традиционно являющиеся слабопучинистыми или непучинистыми вовсе, могут представлять опасность для зданий и сооружений.



Рис. 1. Карта распространения ВМГ

Традиционными видами фундаментов в Северных регионах, возводимых по I-му принципу, являются сваи, преимущественно трубчатого сечения из сталей различных марок. Стальные сваи (в том числе и винтовые) имеют основное преимущество в весе и простоте монтажа по сравнению с железобетонными сваями. При возведении трубопроводов, компрессорных станций или других объектов в труднодоступных местах, вес материалов играет большую роль в конечной стоимости строительно-монтажных работ, так как доставка осуществляется либо транспортными судами, либо воздушным транспортом (вертолетами).

В процессе морозного пучения различают два вида сил: нормальные ( $p_{fn}$ ) и касательные ( $\tau_{fn}$ ), которые различаются по механике воздействия на конструкцию. Наибольшее воздействие оказывают нормальные силы пучения, в связи с чем фундаменты принято заглублять ниже глубины промерзания (рис. 2). Однако, как показывает практика эксплуатации зданий и сооружений, воздействие касательных сил морозного пучения в случае легких зданий и сооружений или при развитой боковой поверхности достаточно для создания аварийных ситуаций и подъема (выпучивания) фундаментных конструкций (как правило свай) на значительные величины (до 1–2 м над уровнем дневной поверхности) (рис. 3).

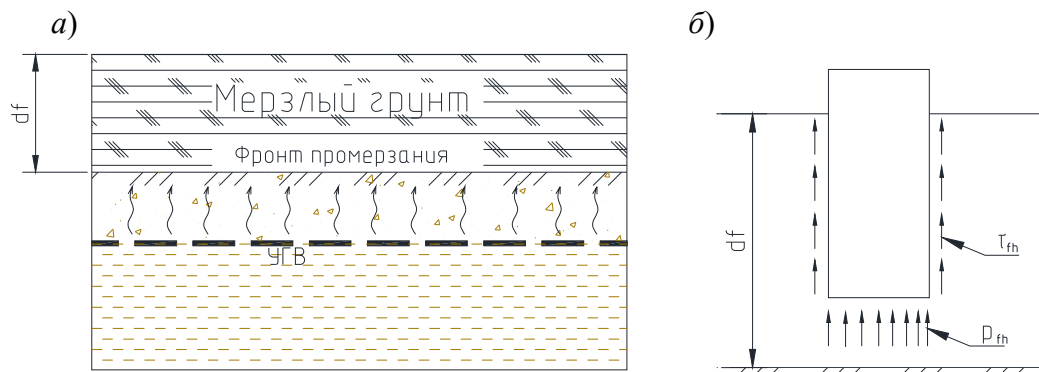


Рис. 2. Схема миграции влаги (а) и силы пучения, воздействующие на конструкцию (б)





Рис. 3. Выпучивание свай опор трубопроводов

Основными из существующих методов по уменьшению воздействия касательных сил морозного пучения являются [9]:

- инженерно-мелиоративные;
- теплотехнические;
- конструктивные.

К инженерно-мелиоративным методам относят засоление грунтов (понижение температуры замерзания грунтов), изменение химического состава (снижение сил пучения за счет катионного состава грунта) и осушение грунтов (уменьшение влажности промерзающего грунта, отвода мигрирующей влаги к фронту промерзания, а также уменьшения пучения за счёт эффекта отжатия влаги из промерзающего грунта).

Теплотехнические мероприятия нацелены на уменьшение глубины сезонного промерзания грунта около фундамента, посредством создания теплотехнических экранов из эффективных утеплителей.

К конструктивным мероприятиям относят:

- 1) уменьшение площади смерзания, в том числе за счёт уменьшения поперечного сечения свай;
- 2) выполнение вокруг фундаментов засыпок из несмерзающихся материалов (песок, гравий);
- 3) устройство фундаментов с наклонными боковыми гранями;
- 4) покрытие боковой поверхности фундаментов антифрикционными составами (битум, солидол и др.);
- 5) анкеровка в слоях не подверженных пучению

В период активного освоения Севера наибольшее развитие четвертый метод. Одним из жизнеспособных вариантов стала смазка БАМ-3, которая показала значительный срок эксплуатации для таких материалов в 15 лет. В настоящий момент данная ветвь развития считается тупиковой, и существующие смазки БАМ-3 и БАМ-4 являются наиболее совершенными.

а)



б)



Рис. 4. Противопучинная защита свай:

а – обмазка битумом; б – обертывание пленкой с обмазкой смазкой типа «Литол»

Анализ прочности смерзания грунтов с различными типами смазок показывает, что указанные выше смазки обладают наиболее низкой прочностью смерзания по сравнению с традиционными материалами (табл. 1).

В литературе применение композитных материалов для устранения касательных сил пучения отмечено лишь в совместной разработке [1, 4] «Фундаментпроекта» и Казанского национального исследовательского технологического университета. Авторами предлагается устройство термоусаживаемого рукава из радиационно-модифицированных полиолефинов. Прочность смерзания для данного метода также приведена в табл. 1.

Нанесение рукава предполагается непосредственно на объекте строительства путём нагрева рубашки, надетой на тело свай, до температуры 120 °С и выше. При этом диаметр рукава уменьшается на 15-50 %, и обеспечивает плотное прилегание к телу свай. Однако следует отметить, что данный метод является менее безопасным и более трудозатратным, так как необходимо применять различные нагревательные устройства, что в условиях Севера накладывает определённые трудности и финансовые затраты.

Из вышесказанного следует, что применение композитных материалов, в том числе и собственно свай является перспективным направлением, а широкий спектр физико-механических свойств композитов и возможность их изменять позволит создать конструкцию свай, изготавливаемых на заводе, которые обеспечат требуемые свойства.

Применение композитных материалов, в частности, стеклопластиков, находит все более широкое применение в строительстве. Как одно из направлений применения композитов является изготовление свай [6]. По прочностным и деформационным характеристикам стеклопластик ненамного уступает стали, однако в пересчёте на удельную несущую способность (кН/кг) во многом выигрывает.

Таблица 1

## Прочность смерзания грунтов с различными типами защитных составов

№	Источник	Материал	Грунты	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Температура	Прочность смерзания МПа	
							Мгнов.	Длит
1.	2, 5	Плѐнка	Песок (Урал)	1,86/1,86	21/22	-3	0,25	0,05
2.				1,85/1,85	22/22	-10	0,42	0,1
3.			Песок (Ямал)	1,94/1,94	23/23	-3	0,3	0,05
4.				1,93/1,94	23/23	-10	0,16	0,04
5.				1,93/1,94	23/23	-10	0,68	0,25
6.			Супесь (Ямбург)	1,94/1,94	23/23	-1	0,21	0,034
7.				1,93	23/23	-3	0,41	0,113
8.				1,9/1,93	23/23	-3	0,35	0,069
9.			Суглинок (ямал)	1,65/1,65	55/55	-10	0,18	0,018
10.	ЦПС	1,91/1,91		-/-	-1	-	0,245	
11.		1,91		-/-	-4	-	0,089	
12.	3	БАМ-3 и БАМ-4	Глинистые при $I_p=0,5$ и пески мелкие, пылеватые		>95	н/д	-	0,02
13.			Глинистые при $I_p=0,25-0,5$ и пески мелкие		80...95	н/д	-	0,02
14.			Глинистые при $I_p<0,25$ , пески мелкие пылеватые, и крупнообломочные с глинистым заполнителем от 10 до 30 %		60...80	н/д	-	0,01

Анализ прочности смерзания различных материалов, приведѐнный в табл. 2, показывает, что наибольшие силы сцепления имеет бетон, как один из основных строительных материалов, используемых для возведения фундаментов. При этом сталь имеет близкие значения прочности смерзания. Таким образом, при разработке новых композитных материалов, следует опираться на эти данные и прогнозировать прочность смерзания не менее этих величин.

Таблица 2

## Прочность смерзания грунтов с различными материалами

№	Источник	Материал	Грунты	Плотность	Влажность	Температура	Прочность смерзания МПа	
							Мгнов.	Длит
1.	2, 5	Сталь	Песок (Урал)	1,86/1,86	21/22	-3	0,38	0,075
2.				1,85/1,85	22/22	-10	0,82	0,23
3.			Песок (Ямал)	1,94/1,94	23/23	-3	0,41	0,075
4.				1,93/1,94	23/23	-10	0,21	0,025
5.				1,93/1,94	23/23	-10	1,1	0,6

№	Источ-ник	Матери-ал	Грунты	Плот-ность	Влаж-ность	Темпе-ратура	Прочность смерзания МПа		
							Мгнов.	Длит	
6.			Супесь (Ямбург)	1,94/1,94	23/23	-1	0,3	0,019	
7.				1,93	23/23	-3	0,57	0,2	
8.				1,9/1,93	23/23		0,42	0,067	
9.			Суглинок (ямал)	1,65/1,65	55/55	-10	0,21	0,053	
10.			Бетон	Песок (Урал)	1,86/1,86	21/22	-3	0,45	0,1
11.					1,85/1,85	22/22	-10	1,05	0,3
12.					1,94/1,94	23/23	-3	0,49	0,1
13.					1,93/1,94	23/23	-10	1,24	0,6
14.					Суглинок (ямал)	1,65/1,65	55/55	-10	0,25
15.		1, 4	Сталь	ЦПС	1,91/1,91	н/д	-1	-	0,819
16.							-4	-	0,21
17.		7	Дерево	Пылева-тые супеси и суглин-ки	-	30-40	-0,2		0,003*
18.							-0,5		0,006*
19.							-0,7		0,008*
20.	-1,0							0,01*	
21.	-2,0							0,015*	
22.	-3,0							0,02*	

В связи с вышесказанным предлагается следующая конструкция сваи с различными зонами, разделенными условно:

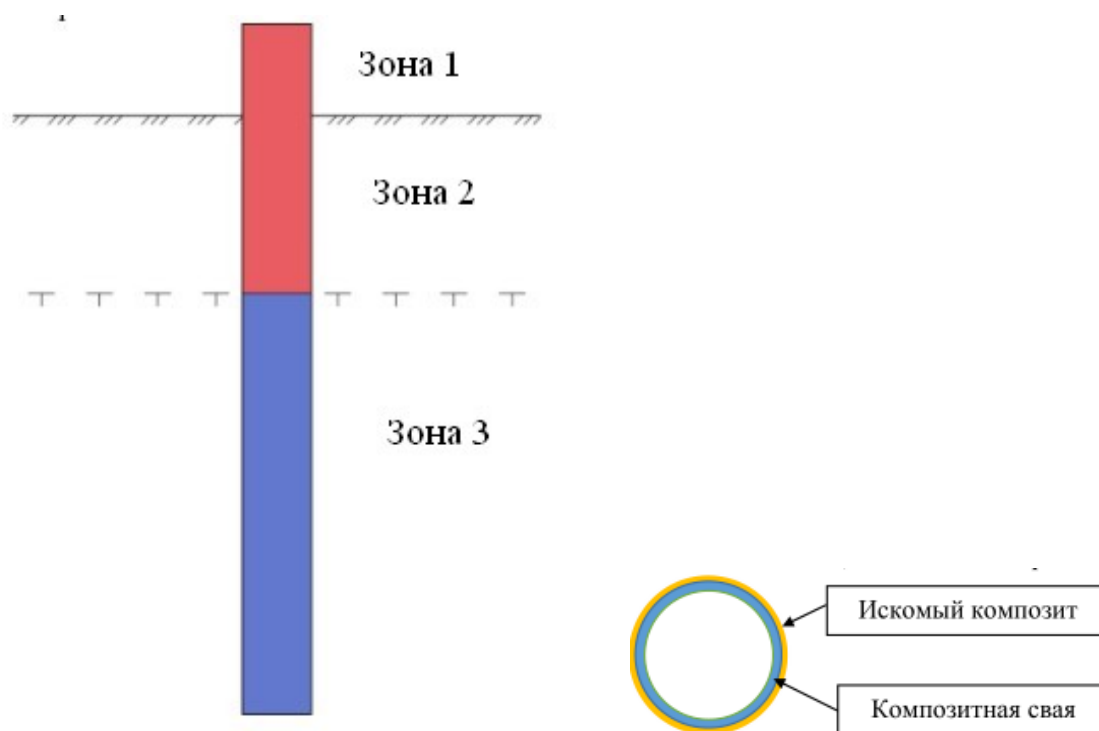


Рис. 4. Предлагаемая конструкция композитной сваи

Для достижения указанных параметров (противопучинной защиты и сил смерзания с грунтом) для различных зон сваи устанавливаются следующие свойства (табл. 3).

Исходя из указанных параметров в дальнейшем авторами планируется проведение серии экспериментов по поиску оптимальных решений поставленной задачи по внедрению композитных свай в практику строительства в северных регионах.

## Требования к свойствам композитных материалов для свай в различных зонах

Описание зоны	Свойства искомого композита		
	Обязательные	Желательные	Достижимые в перспективе
<b>Зона 1</b>			
Оголовок сваи. Главная задача материала на данном участке не пропускать влагу к материалу сваи, тем самым защищать остов от коррозии	Стойкость к ультрафиолету; Нейтральность к материалу сваи; Влагостойкость; Морозостойкость (до 70°С)	Ударостойкость	Дешевизна; Технологичность
<b>Зона 2</b>			
Участок знакопеременных температур. В этой зоне грунты, под воздействием отрицательных температур будут увеличиваться в объёме. При этом, за счёт адгезии, напряжения пучения будут передаваться на тело сваи, что может привести к деформациям пучения. Главной задачей искомого материала будет обеспечение проскальзывания пучинистого грунта по телу сваи, тем самым обеспечивать противопучинистую защиту.	Низкая адгезия с мёрзлым грунтом; Высокая адгезия с материалом сваи; Нейтральность к материалу сваи; Влагостойкость; Морозостойкость; Стойкость к химическому составу грунтов;	Ударостойкость	Дешевизна; Технологичность;
<b>Зона 3</b>			
Участок вечномёрзлых грунтов. В данной зоне предполагается увеличение несущей способности сваи по боковой поверхности, за счёт высокой адгезии полимерных композитов с вечномёрзлыми грунтами, и, как следствие, уменьшение длин и поперечных сечений тела сваи.	Высокая адгезия с мёрзлым грунтом; Высокая адгезия с материалом сваи; Нейтральность к материалу сваи; Влагостойкость; Морозостойкость;	Ударостойкость	Дешевизна; Технологичность;

## Литература

1. Алявин, Д. В. Определение эффективности применения радиационно-модифицированных полиолефиновых покрытий фундаментов для снижения смерзаемости и проявления сил морозного пучения грунтов / Д. В. Алявин, А. Р. Клестов, О. А. Потапова, О. В. Стоянов // Вестник технологического университета – 2013. – № 7. – С. 136–139
2. Волохов С. С. Прочность смерзания мерзлых грунтов с материалом трубопроводов / С. С. Волохов, Н. В. Соловьёва // Основания и фундаменты, механика грунтов – 2010. – № 5. – С. 25–28
3. Рекомендации по снижению касательных сил морозного выпучивания фундаментов с применением пластических смазок и кремнийорганических эмалей [Текст]. – М.: НИИОСП, 1980. – 37 с.
4. Свая с противопучинной оболочкой: пат. 170 032 Рос. Федерация: МПК E02D 5/60 E02D 27/35 / Д. В. Алявин, А. В. Кузьмин; заявитель и патентообладатель ЗАО «Уральский завод полимерных технологий «Маяк». – № 2016151230; заявл. 26.12.2016; опубл. 12.04.2017, Бюл. № 11. – 10 с.
5. Соколов, В. М. Исследование силового воздействия промерзающего грунта на вертикальные элементы трубопроводов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.23.02) / Соколов В. М.; ЛИСИ. – Ленинград, 1976. – 23 с.
6. Квитко А. В. Результаты испытаний композитных стеклопластиковых свай // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 6 (53) – С. 88–93
7. Цытович, Н. А. Механика мёрзлых грунтов: учеб. пособие / Н. А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.
8. Долгих, Г.М. Опыт строительства свайных оснований с термостабилизаторами при обустройстве Бованенковского месторождения / Долгих Г.М., Вельчев С.П., Окунев С.Н., Паздерин Д.С. // Системы температурной стабилизации грунтов оснований в криолитозоне: актуальные вопросы исследований, расчетов, проектирования, производства, строительства, авторского надзора и мониторинга: сб. статей / науч. ред. Г.М. Долгих; НПО «Фундаментстройаркос». – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. – с. 181–185.
9. Карлов В. Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2007. 362с.

## УДК 624.1

Ольга Игоревна Белова, студент  
Максим Владимирович Парамонов,  
канд. техн. наук, доцент  
Игорь Игоревич Сахаров, д-р техн. наук,  
профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
E-mail: oly7077@yandex.ru, parm@georec.spb.ru,  
i.sakharov2014@yandex.ru

Olga Igorevna Belova, student  
Maxim Vladimirovich Paramonov, PhD of Tech. Ec.,  
Associate Professor  
Igor Igorovich Sakharov, Dr. of Tech. Ec.,  
Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
E-mail: oly7077@yandex.ru, parm@georec.spb.ru,  
i.sakharov2014@yandex.ru

## ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ БОЛЬШИХ ПЛАНОВЫХ РАЗМЕРОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ

### THERMO-STABILIZATION OF THE FOUNDATIONS OF THE CONSTRUCTIONS OF LARGE PLAN SIZES IN THE CRYOLITHOZONE

В статье рассматривается один из перспективных методов охлаждения грунтового массива в основаниях зданий или сооружений большой ширины, расположенных в криолитозоне. Основные цели и задачи проведенного исследования заключаются в разработке конструктивных параметров систем охлаждения с помощью вентилируемых каналов, а так же численное моделирование температурных полей в основании при разном шаге между трубами и при разных вариантах диаметра труб. Данная работа проводилась в одном из ведущих программных комплексах «FEM-models» с использованием модуля «Termoground» для решения теплофизических задач. На основе анализа полученных данных сделаны выводы и предложены соответствующие рекомендации для эффективной работы охлаждающих каналов в основании зданий.

*Ключевые слова:* криолитозона, вечномёрзлые грунты, принципы использования вечномёрзлых грунтов в качестве основания, термостабилизация, вентилируемые трубы и каналы.

In this paper, one of the most promising methods of cooling ground masses in bases of large-scale buildings or structures located in the cryolithozone is considered. Main objectives and problems of the conducted research consist in development of design data of cooling systems by means of the ventilated channels, and also numerical modeling of temperature fields in the basis at a different step between pipes and at different options of diameter of pipes. This work was carried out in one of the leading program «FEM-models» complexes with use of the «Termoground» module for the solution of heatphysical tasks. On the basis of the analysis of the obtained data conclusions are drawn and the corresponding recommendations for effective operation of the cooling channels in foundation of buildings are offered.

*Keywords:* a cryolithozone, permafrost soil, the principles of use of permafrost soil as the basis, thermostabilization, the ventilated pipes and channels.

### Введение

На севере России масштабы индустриального строительства наиболее велики. Развитие промышленности в районах дальнего севера выдвинуло на первый план проблему поиска и разработки наиболее оптимальных методов строительства в сложных мерзлотно-грунтовых условиях с учётом необходимости освоения неблагоприятных в строительном отношении площадок. К таким территориям можно отнести участки, расположенные в криолитозоне.

Криолитозона – верхний слой земной коры, состоящий из пород с отрицательной температурой, данный слой включает в себя мерзлые, морозные и охлаждённые грунты. Важно обратить внимание, что более 65 % территории России – районы вечной мерзлоты. Основные зоны её распространения Восточная Сибирь и Забайкалье. Самый глубокий предел вечной мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии [1].

Актуальность темы, рассмотренной в данной статье: строительными нормами [2] для промышленных зданий и сооружений с большими нагрузками на полы первого этажа вместо традиционного вентилируемого подполья рекомендуется применять вентилируемые трубы или каналы, так же под зданиями и сооружениями, имеющими большие пролеты или, когда по технологическим условиям недопустимы холодные подполья, для сохранения

грунта в мерзлом состоянии предусматривают данный метод. Ещё одним положительным аспектом применения охлаждающих каналов является их низкая стоимость, что является одной из наиболее главных целей, которые всегда преследовались в промышленном строительстве.

В настоящее время в криолитозоне существует два принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований:

I принцип – вечномерзлое состояние грунта основания сохраняют в течение всего периода строительства и эксплуатации здания или сооружения.

II принцип – вечномерзлые грунты оснований используют в оттаявшем состоянии с оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения или в процессе эксплуатации здания. При отсутствии систем термостабилизации если глубина чаши оттаивания больше или равна ширине здания, осадки сооружения могут составить метры [3].

Принцип I применяется наиболее часто и только в тех случаях, когда расчетные деформации основания при его оттаивании превышают предельно допустимые, а улучшение строительных свойств оттаиваемых грунтов или использование конструктивных мероприятий невозможно или экономически неэффективно.

Значительный интерес представляет метод с использованием охлаждающих труб и каналов в основании. При горизонтально уложенных трубах промораживания основания на глубину не имеет места, однако тепло, выделяемое зданием, отводится, что позволяет сохранять изначально мерзлое состояние грунта. Перспективы развития данного метода велики, особенно при строительстве зданий и сооружений большой ширины, когда устройство СОУ неосуществимо.

В зимнее время холодный наружный воздух подаётся в систему труб или каналов, объединённых коллекторами. В период положительных температур охлаждающую систему закрывают. Летом происходит процесс оттаивания подсыпки от поступающего тепла из помещений, в то время как зимой она промерзает под влиянием холодного воздуха, проходящего по трубам, именно в этом и заключается принцип работы данного метода.

Несмотря на все преимущества данного метода, следует отметить и некоторые недостатки трубчатых систем охлаждения: сложность контроля и ремонта труб, значительная вероятность образования в них инея и ледяных пробок, большие аэродинамические сопротивления, значительная суммарная протяженность системы труб, их стыковка и герметизация.

Эти недостатки отсутствуют, если для охлаждения грунтов применяются вентилируемые каналы большего сечения. Каналы могут иметь прямоугольную, трапециевидную, полукруглую и круглую формы поперечных сечений. Значительные размеры поперечных сечений каналов, увеличивающие поверхность охлаждающего элемента, позволяют увеличить расстояние между каналами, а также в ряде случаев проводить не общее охлаждение по всей площади под зданием или сооружением, а местное – в зонах грунта, где располагаются фундаменты.

Вентиляционные каналы располагаются ниже сезонного оттаивания, в слое, находящемся в мерзлом состоянии, но важно отметить, что так же необходимо размещать данную систему выше подошвы фундамента, предварительно предусмотрев надёжную герметизацию каналов. Герметизация необходима для предотвращения попадания теплого воздуха в период положительных температур, так как это может привести к образованию на стенках каналов конденсата, уменьшающего при замерзании живое сечение канала [4].

### **Численное моделирование в условиях поставленной задачи**

Численное моделирование производилось в программном комплексе «FEM-models», разработанной группой компаний ООО «Геореконструкция». В программном комплексе реализован модуль «Termoground», который позволяет с помощью численного моделирования исследовать процессы промерзания, морозного пучения и оттаивания в годичном цикле методом конечных элементов. Первоначально решалась теплофизическая задача, в результате которой были смоделированы картина оттаивания грунта и температурные поля.

Большим преимуществом данной программы является то, что при определении температурных полей учитывается миграция воды к фронту промерзания в грунте. Миграция влаги к фронту промерзания вносит большой вклад в деформации пучения. Она обусловлена совокупным действием поверхностных и объемных сил.

В программе «Termoground», для решения температурных задач, задаются следующие граничные условия:

1. известна температура грунта на поверхности;
2. внутри рассматриваемой области задан тепловой поток;
3. на поверхности грунта происходит конвективный теплообмен;
4. на границе рассматриваемой области задан тепловой поток [5].

В ходе решения поставленных задач, установление температур грунта, его поверхности и температур внутри здания осуществлялось с использованием граничного условия первого рода. Далее для реализации задачи установки каналов в грунт и задачи их температурного режима было использовано граничное условие третьего рода.

В данном исследовании с помощью численного моделирования рассматривались две задачи: подбор оптимальной расстановки каналов и установление рационального сечения каналов.

Для проведения исследования был выбран город Чита, Забайкальского края с наличием высокотемпературных мерзлых грунтов. На рис. 1 приведена расчётная схема задачи.

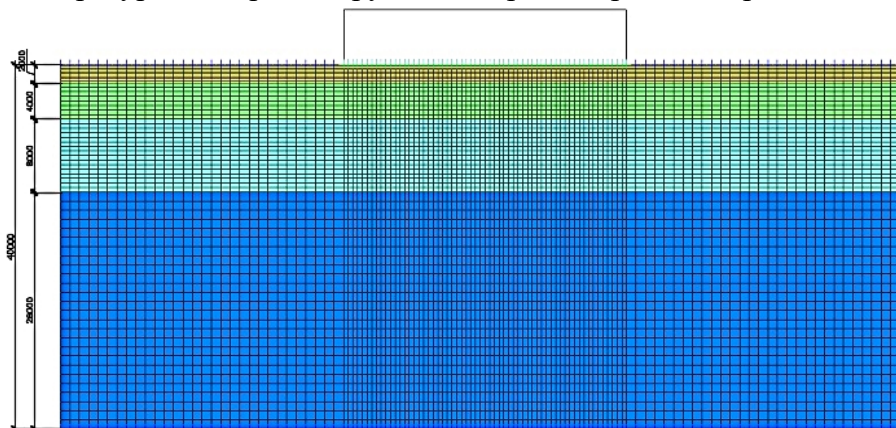


Рис. 1. Расчётная схема

Постановка задачи:

- Рассматривается промышленное здание пролётом 30 м.
- Массив грунта составляют искусственная подсыпка в виде песка, далее идут супглинок, супесь и глина.
- Для построения температурных полей выбран цикл 2 года.
- Заданная температура грунта  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура внутри помещения  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Температура на поверхности грунта принята из таблицы средней месячной температуры воздуха (рис. 2) в соответствии с нормами [6].

Средняя месячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-26.2	-22.2	-11.1	-0.4	8.4	15.7	17.8	15.2	7.7	-1.8	-14.3	-23.5

Рис. 2. Температура на поверхности грунта



Вначале проводился тестовый расчёт при наличии в основании одного охлаждающего канала. Температура внутри канала была принята с учётом рекомендаций [7]. Согласно этому источнику, отвод теплового потока от основания вызывает чрезмерное повышение температуры в трубах. Чтобы избежать этого, необходимо ограничить допустимое повышение температуры в трубах (на 3 °С). Эта разница температур была учтена в рассматриваемой задаче при задании температуры на границе канала. Большое повышение температуры, вероятно, приведёт к прогреванию вблизи выходного отверстия труб.

Температурные поля представлены на рис. 3. Согласно расчёту, в зимний период времени температура в области канала составляет в среднем минус 8 °С. Таким образом численный расчёт показал, что применение одного вентилируемого канала эффективно для охлаждения грунта на локальном участке в основании здания.

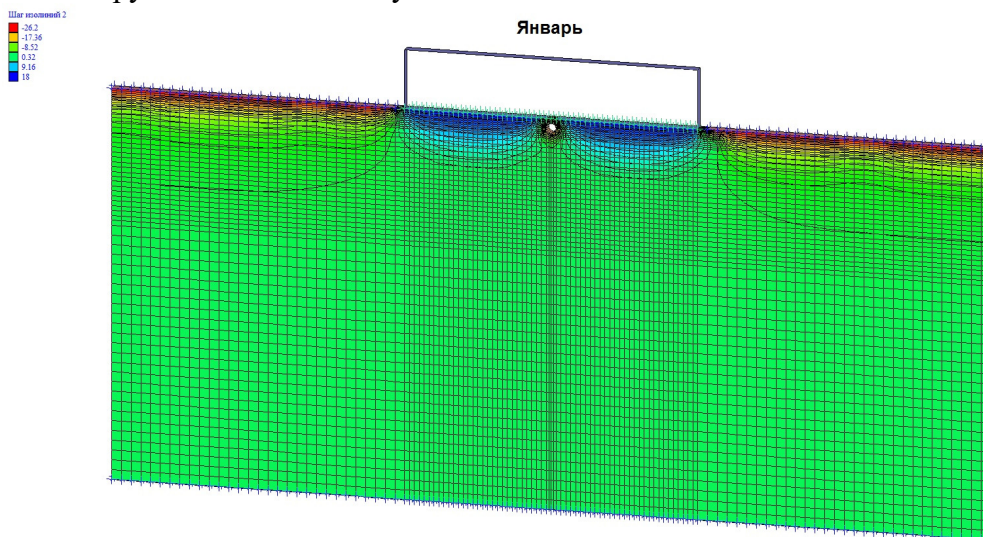


Рис. 3. Моделирование температурных полей для варианта с одним охлаждающим каналом

Следующей задачей стоял подбор оптимальной расстановки каналов. Принимаем шаг каналов длиной  $L_1 = 3$  м и диаметром  $d = 1$  м. Результаты расчёта показаны рис. 4. На рисунке синим цветом показан грунт, имеющий отрицательную температуру, талый грунт представлен естественным цветом.

Согласно расчёту, конкретно для данной задачи, расстановка каналов с шагом 3 м нерациональна, так как наблюдается оттаивание на 2,5 м, включая деятельный слой по краям в основании здания в зимние периоды года.

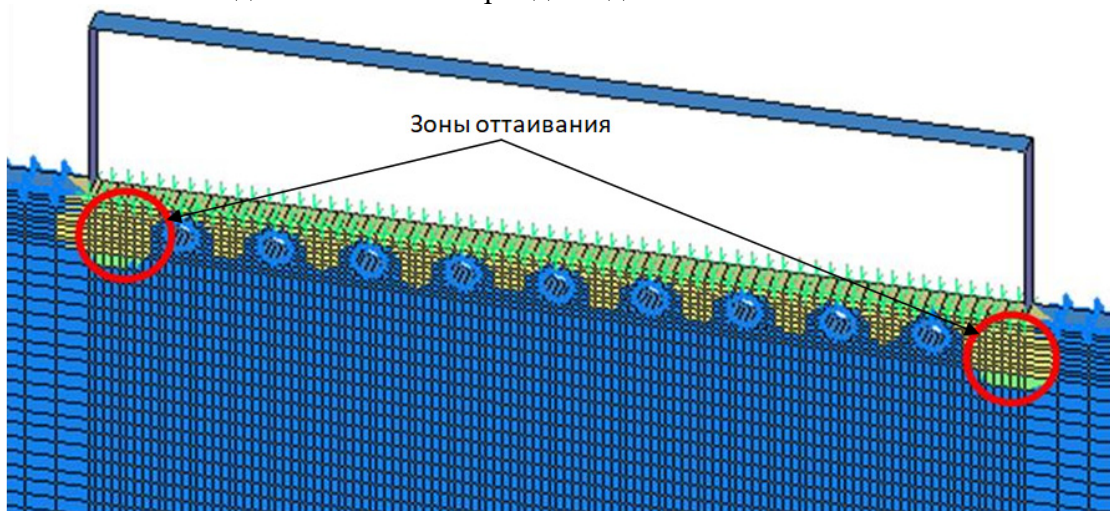


Рис. 4. Результаты расчёта для варианта каналов диаметром  $d=1$  м и шагом  $L_1=3$  м

Далее решаем задачу с шагом каналов  $L_2=2$  м и диаметром  $d=1$  м (рис. 5).

Моделирование температурных полей представлено на рис. 6. Согласно исследованию, температура вокруг каналов в зимние периоды времени составляет до минус  $17^\circ\text{C}$ , это говорит о том, что для поставленной задачи, наиболее оптимальной является расстановка каналов с шагом  $L_2=2$  м.

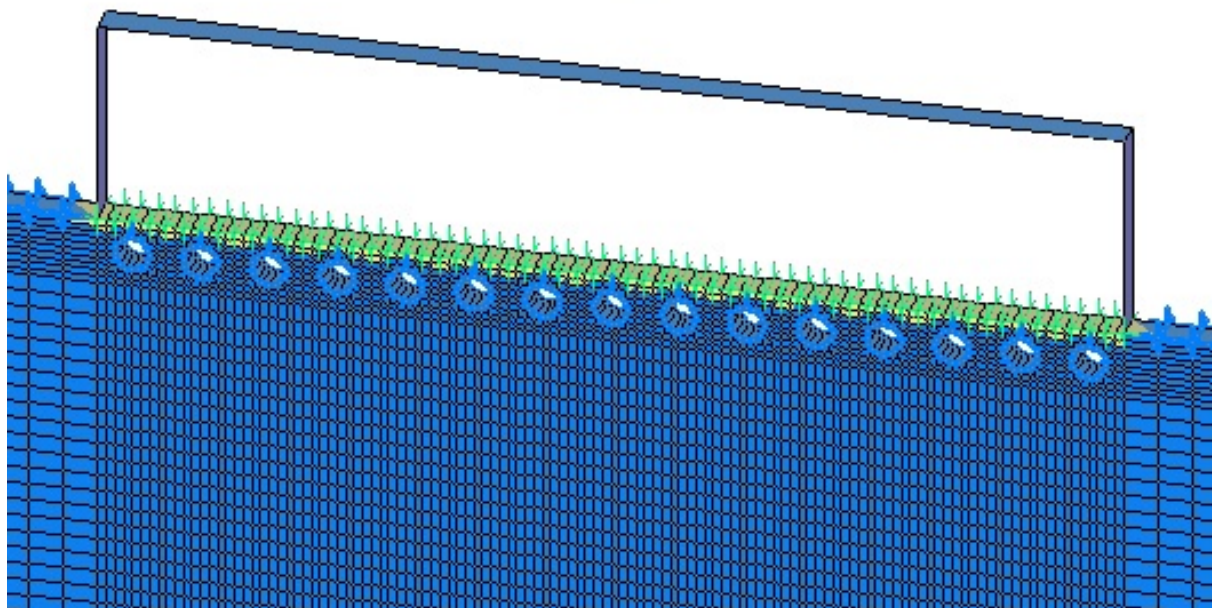


Рис. 5 Результаты расчёта для варианта каналов диаметром  $d=1$  м и шагом  $L_2=2$  м

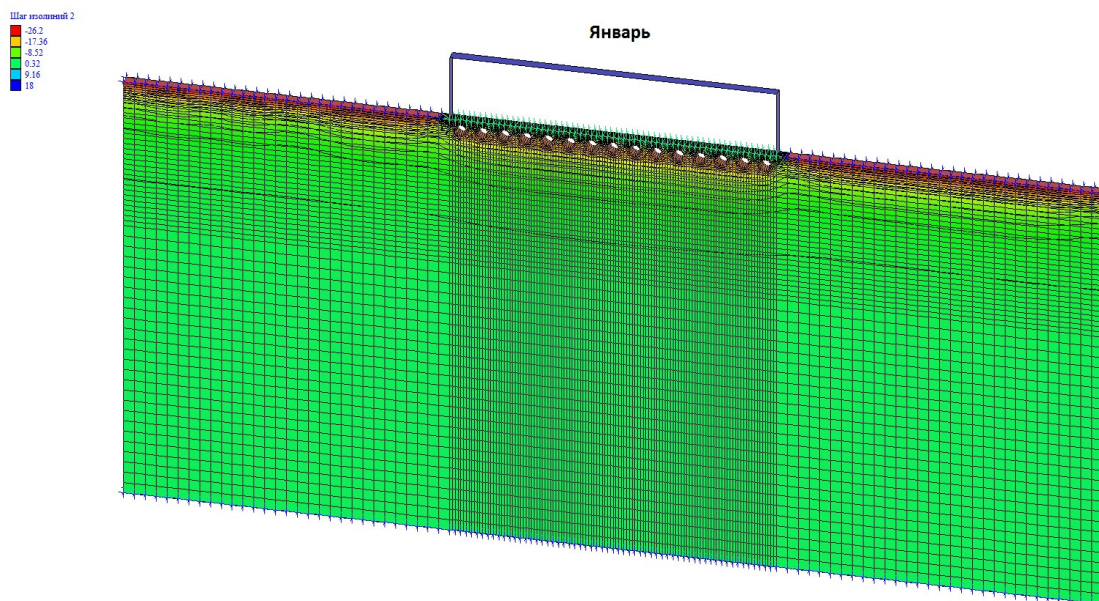


Рис. 6 Моделирование температурных полей для варианта каналов диаметром  $d=1$  м и шагом  $L_2=2$  м

Рассмотрим вторую задачу численного моделирования: подбор рационального сечения каналов. В качестве образцов были выбраны следующие диаметры 0,3 м; 0,5 м; 0,7 м.

Согласно расчётам (рис. 7) вариант диаметра труб равный  $d_1 = 0,3$  м отвергается, так как в зимние периоды наблюдается протаивание грунта через 2 года на глубину 3 м до деятельного слоя, что говорит о неэффективной работе каналов такого маленького диаметра. К тому же отрицательной чертой каналов такого диаметра, является образование в зимний период льда в теле трубы.

Далее проводим расчет каналов диаметром  $d_2 = 0,5$  м, где наблюдаем такую же картину (рис. 8). Чаша оттаивания хоть и уменьшилась, но всё равно является не допустимой.

При каналах диаметром  $d_3 = 0,7$  м наблюдаются положительные результаты (рис. 9). Максимальная глубина оттаивания грунта составляет 1,8 м, что не превышает допустимой. Температура в области работы канала составляет от 0 до минус 16 °С.

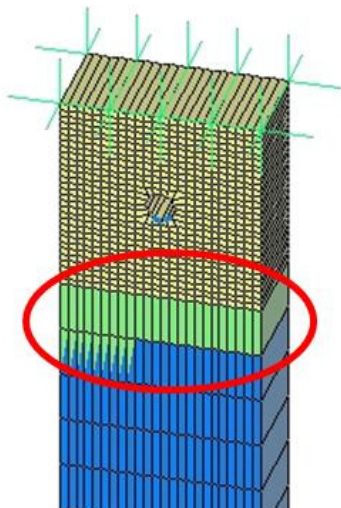


Рис. 7 Результаты расчёта для варианта каналов диаметром  $d_1 = 0,3$  м

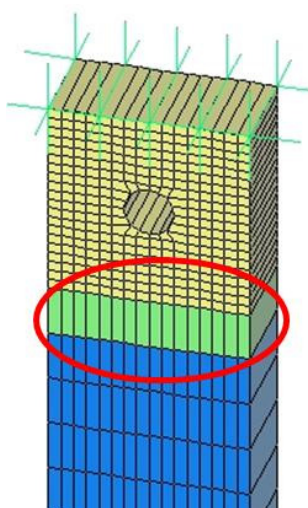


Рис. 8 Результаты расчёта для варианта каналов диаметром  $d_2 = 0,5$  м

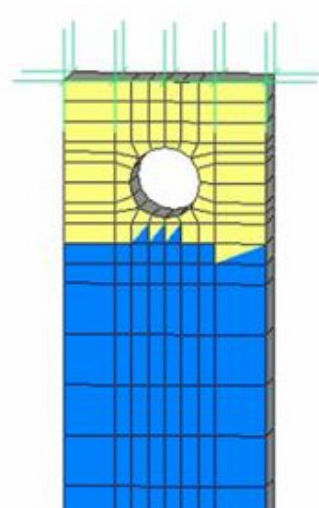


Рис. 9 Результаты расчёта для варианта каналов диаметром  $d_3 = 0,7$  м

Таким образом, согласно расчётам, наиболее оптимальным является сечение 0,7 м.

### Выводы

1. Численное моделирование показывает, что в условиях поставленной задачи минимально допустимый диаметр охлаждающих каналов должен быть  $\geq 0,7$  м.

2. Исходя из зависимости размеров диаметра от размеров охлаждённого массива грунта в горизонтальном направлении, оптимальное расстояние между осями каналов не должно быть более, чем величина двух диаметров труб.

В дальнейшем планируется изучить следующие темы:

– зависимость эффективности охлаждения основания от длины канала и местных сопротивлений;

– методика расчёта параметров, используемых для подбора наиболее эффективного вентиляционного оборудования.

### Литература

1. Кудрявцева В.А. Общее мерзлотоведение (геокриология), изд. 2/ В.А.Кудрявцева. – М.: Издательство МГУ, 1978. – 15 с
2. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – М: Минрегион РФ, 2012. – 8 с.
3. Порхаев Г.В. Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Сборник 14/ К.А. Токарева – Красноярск: Красноярский промстройНИИпроект Красноярск, 1969. – 88 с.
4. Антонов А.Ф., Велли Ю.Я. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах/ Ю.Я. Велли, В.И. Докучаева, Н.Ф. Федорова – Л: Стройиздат, 1977. – 246 с.
5. Кудрявцев С.А. Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – СПб: ПГУПС, 2004 – 116 с.

6. СП 131.1333.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – М: Минрегион РФ, 2012. – 25 с.

7. Андерсленд О.Б., Андерсон Д.М. Геотехнические вопросы освоения Севера/ О.Б. Андерсленд, Д.М. Андерсон. – М.: Недра, 1983. – 551 с.

#### **УДК 624.1**

*Мария Эдуардовна Солонецкая*, студент  
*Игорь Игоревич Сахаров*, д-р техн. наук,  
профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: msolonetskaya@rambler.ru*  
*i.sakharov2014@yandex.ru*,

*Maria Eduardovna Solonetskaya*, student  
*Igor Igorevich Sakharov*, Dr. of Tech. Sci.,  
Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering)  
*E-mail: msolonetskaya@rambler.ru*  
*i.sakharov2014@yandex.ru*,

### **ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

#### **THERMAL EFFICIENCY OF THERMOSTABILIZERS AS DEPENDENT ON AIR FLOW SPEED**

В статье рассматривается проблема возведения зданий и сооружений на высокотемпературных мерзлых грунтах. Решение для наиболее эффективного сохранения грунта в мерзлом состоянии достигается за счет обдува конденсаторных частей термосифонов. Для реализации приведенного в статье решения были выполнены расчеты методом конечных элементов в программном комплексе «FEM-models». По результатам расчетов построены эпюры распределения температур по глубине и графики зависимостей, которые наглядно демонстрируют изменения температуры грунта основания во времени.

*Ключевые слова:* вечномерзлый грунт, термостабилизация, промораживание грунта, принудительный обдув, численное моделирование.

The article deals with the problem of erecting buildings and structures on high-temperature frozen soils. The solution for the most effective soil conservation in the frozen state is achieved by blowing condenser parts of thermosyphons. To implement the solution given in the article, finite element calculations were performed in the «FEM-models» software package. Based on the results of the calculations, we plotted the temperature distribution curves for depth and the graphs of the dependencies, which clearly demonstrate changes in soil temperature in time.

*Keywords:* permafrost soil, thermostabilization, soil freezing, forced blasting, numerical simulation.

#### **Введение**

В криолитозоне для обеспечения мерзлого состояния грунта в основаниях зданий и сооружений широко используются термостабилизаторы (или сезонно-охлаждающие устройства, сокращенно СОУ). Термостабилизатор представляет собой автономное холодильное устройство, работающее за счет перепада температур между грунтом и атмосферным воздухом. В зимний период термостабилизатор извлекает тепло из грунта и передает его в окружающую среду. Данные установки являются естественно-действующими. Термостабилизатор обеспечивает поддержание грунта в мерзлом состоянии, что необходимо для проектирования по принципу I [1].

Наибольшие трудности при промораживании грунтов наблюдаются в высокотемпературных мерзлых грунтах, находящихся в пластичномёрзлом состоянии [2]. Основной проблемой эксплуатации СОУ является то, что они практически не работают при небольших скоростях ветра (меньше 1 м/с), то есть их эффективность невысока [3].

Актуальностью данной проблемы на сегодняшний день является наличие обширных зон на территории России, где скорость ветра составляет меньше 1 м/с (рис. 1).

На рис. 1 приведена карта Российской Федерации, отображающая зоны многолетне-мерзлых пород. Оранжевым цветом показаны зоны, где скорость ветра мала. В этих зонах находятся такие города как Мирный, Тарко-Сале, Уренгой и т. д.



Рис. 1. Карта Российской Федерации с распространением по территории многолетнемерзлых пород и зоны с малой скоростью ветра

Для эффективной работы СОУ в таких районах может оказаться целесообразным применение искусственного обдува конденсаторных частей испарителей. Таким образом, поставленная задача заключается в изучении зависимости температуры испарителя термостабилизаторов от скорости обдува.

Для реализации поставленной задачи был использован программный комплекс «FEM-models» и математический модуль «Termoground», с помощью которого можно произвести численное моделирование процесса промерзания, морозного пучения и оттаивания методом конечных элементов [4].

Задача решается в два этапа. Сначала решается теплофизическая задача, в результате которой определяются температурные и влажностные поля на каждый период времени, затем определяется напряженно-деформированное состояние грунтов основания в процессе промерзания и оттаивания.

Процессы промерзания-оттаивания в программном модуле «Termoground» описываются уравнением теплопроводности для нестационарного теплового режима в трехмерном грунтовом пространстве следующим уравнением:

$$C_{th(f)} \rho_d \frac{\partial T}{\partial t} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{th(f)} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + q_v,$$

где  $C_{th(f)}$  – удельная теплоемкость грунта (талого или мерзлого);  $\rho_d$  – плотность сухого грунта;  $T$  – температура;  $t$  – время;  $\lambda_{th(f)}$  – теплопроводность грунта (талого или мерзлого);  $x$  – координата;  $q_v$  – мощность внутренних источников тепла.

Граничные условия в программе можно задавать четырех видов. Первый, если известна температура грунта на поверхности  $S$ :

$$T = T_0(S, t).$$

Второй, если внутри области  $S_q$  задан тепловой поток:

$$\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right) + q_n = 0,$$

где  $n$  – вектор направления внешней нормали к поверхности;  $q_n$  – плотность теплового потока.

Третий, если на поверхности грунта  $S_a$  происходит конвективный теплообмен:

$$\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right) + \alpha(T - T_a) = 0,$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $T_a$  – температура окружающей атмосферы.

И четвертый, если на границах рассматриваемой области задан тепловой поток:

$$\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right) = 0.$$

Расчеты были произведены при первом граничном условии [4]. Инженерно-геологические условия и температуры были взяты по городу Тарко-Сале [5], в котором скорость ветра составляет меньше 1 м/с. Все расчеты ведутся с октября месяца, когда в северных районах температуры становятся отрицательными и СОУ включаются в работу.

**Первый расчет произведен с применением наклонных СОУ, работающих в течение 2-х лет.** Расчетная схема представлена на рис. 2. Температура грунта по глубине задана минус 1 °С, температура внутри здания +18 °С, а температура поверхности грунта соответствует среднемесячной температуре атмосферного воздуха. Первый слой грунта – супесь с органикой, сезонно-талый слой. Второй слой – супесь пластичномёрзлая слоистосетчатой криотекстуры незасоленная. Третий слой – суглинок пластичномёрзлый слоистосетчатой криотекстуры незасоленный. Под полом здания устраивается слой теплоизоляции из пенополистирола толщиной 0,2 м.

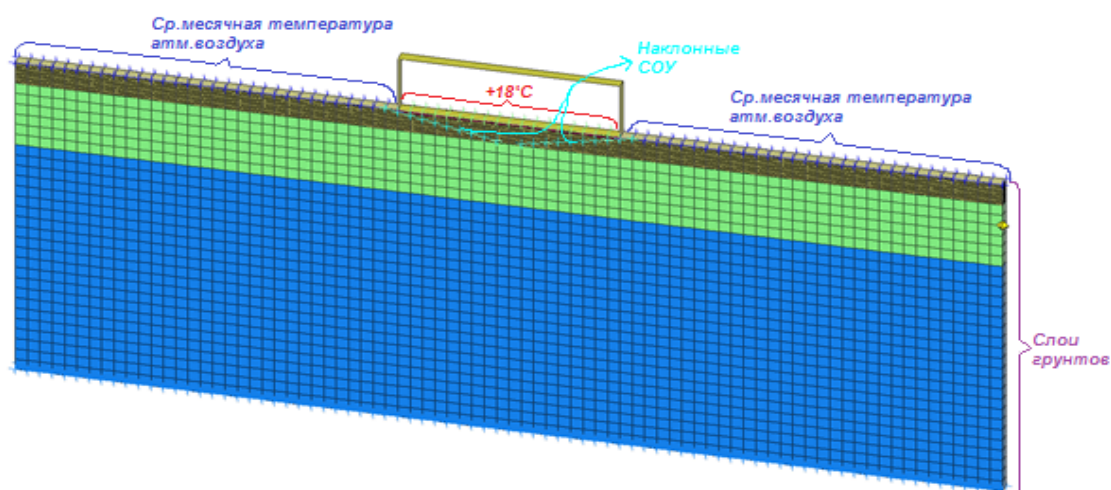


Рис. 2. Расчетная схема задачи с применением наклонных СОУ

По полученным данным был построен график зависимости температуры грунта от времени. Выбранные точки для построения графика, показанные на рис. 3, определяют ме-

ста, где происходит наибольшее оттаивание. На рис. 3, *а* представлена схема с теплоизоляцией по контуру здания, на рис. 3, *б* – с дополнительной теплоизоляцией под отмосткой на ширину 1 м от здания.

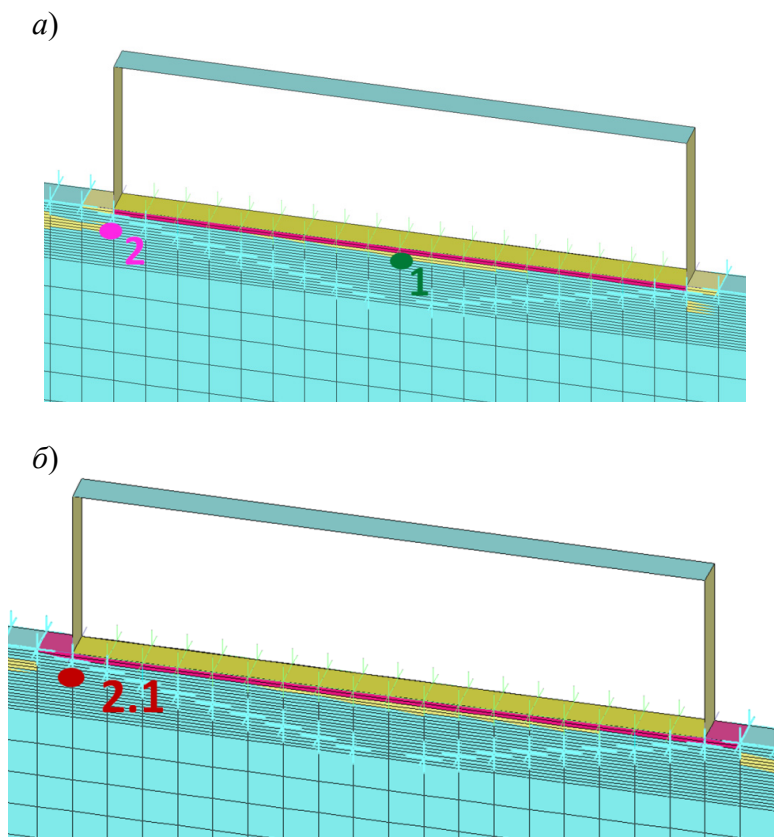


Рис. 3. Схема расположения точек, взятых для построения графика

Из графика (рис. 4) видно, что температура грунта под центром здания и под краями при теплоизоляции по контуру составит через 2 года  $0^{\circ}\text{C}$ . Также на конец периода положительных температур воздуха наблюдается повышение температуры грунта под краями здания до  $+3^{\circ}\text{C}$ . При теплоизоляции под отмосткой температура под краями, то есть под подошвами фундаментов, достигнет максимум минус  $1^{\circ}\text{C}$ . По эяграм (рис. 5) можем определить, что температура грунта в среднем колеблется от минус  $0,5$  до минус  $1^{\circ}\text{C}$  в основании здания.

Данные температуры показывают, что грунт находится в пластичномёрзлом состоянии и, что впоследствии будет приводить к длительным осадкам здания. Чтобы этого избежать, необходимо перевести грунт в твердомёрзлое состояние. Достичь этого можно при помощи принудительного обдува конденсаторной части термостабилизатора.

В настоящее время ведущие строительные компании используют системы с принудительным обдувом. В таких системах СОУ с помощью коллектора соединены с аппаратом воздушного охлаждения, в котором обдув оребренных труб производится при помощи вентиляторов.

По расчетным и опытным данным, проведенным Макаровым В.И. [3], доказано, что принудительный обдув является эффективным средством повышения интенсивности теплообмена, осуществляемого жидкостным термосифоном. Макаров В.И. приводит график зависимости изменения коэффициента тепловой эффективности  $\Phi$  жидкостных термосифонов от скорости  $v$  воздушного потока (рис. 6), которым обдувается надземный теплообменник. Коэффициент тепловой эффективности  $\Phi$  определяет эффективность рассеивания тепла в атмосферу за счет интенсификации процессов теплоотдачи.

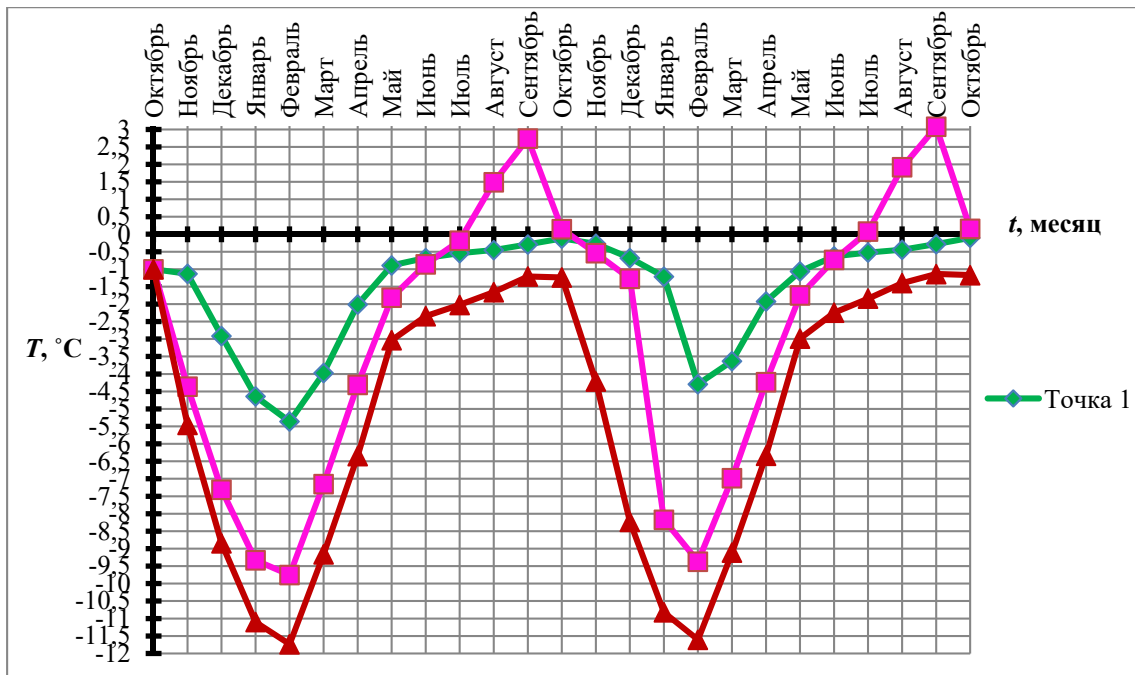


Рис. 4. График зависимости температуры грунта от времени в основании

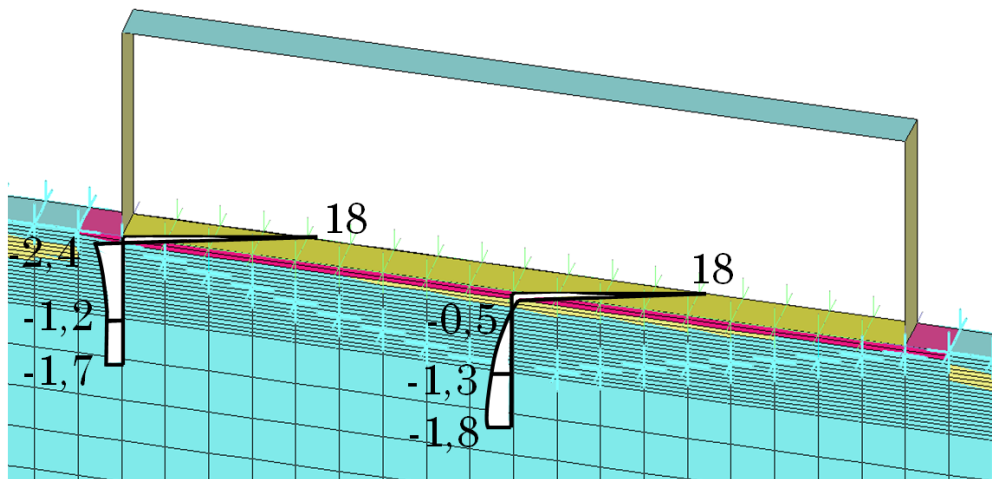


Рис. 5. Эпюры распределения температур по глубине

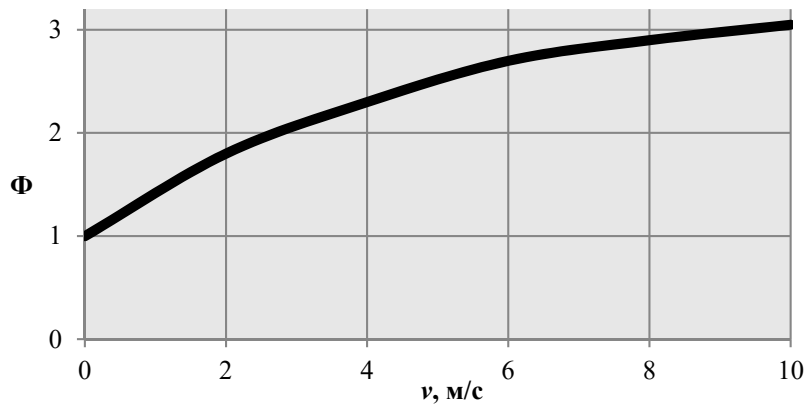


Рис. 6. График зависимости коэффициента тепловой эффективности  $\Phi$  от скорости  $v$  воздушного потока [3]



Также Макаров В.И. вывел формулу для определения температуры теплоносителя, которая представлена ниже:

$$T = \Phi * G * T_a + t_r,$$

где  $T$  – температура теплоносителя;  $\Phi$  – коэффициент тепловой эффективности термосифона;  $G = F_a / (F_a + F_r)$  – геометрический параметр термосифона, где  $F_r$  – функциональная поверхность подземной части (площадь внешней поверхности кольцевого канала коаксиальной колонки ниже поверхности земли),  $F_a$  – площадь внутренней поверхности наземного теплообменника, на которых интенсивно протекает теплообмен;  $T_a$  – температура атмосферного воздуха;  $t_r$  – температура грунта средняя по глубине подземной части термосифона, перед началом его работы.

Таким образом, из приведённого выше графика зависимости  $\Phi$  от  $v$  и по формуле температуры теплоносителя можно вычислить температуру испарительной части термостабилизатора при различных скоростях ветра. Например, при скорости ветра  $v = 0,5$  м/с температура теплоносителя равна минус  $2,7^\circ\text{C}$ :

$$T_1 = \Phi_1 * G * T_a + t_r = 1,2 * 0,3 * (-4,7) - 1 = -2,7^\circ\text{C}.$$

Если скорость ветра  $v = 9$  м/с, то температура теплоносителя равна минус  $5,2^\circ\text{C}$ :

$$T_2 = \Phi_2 * G * T_a + t_r = 3 * 0,3 * (-4,7) - 1 = -5,2^\circ\text{C}.$$

Из этого следует, что температура теплоносителя при увеличении скорости ветра понижается практически в 2 раза.

**Второй расчет произведен с применением наклонных СОУ, работающих в течение 2-х лет при обдуве.** Расчетная схема аналогична предыдущему расчету, за исключением температуры внешней стенки термосифона, которая принимается равной температуре атмосферного воздуха.

По результатам расчета был построен график зависимости температуры грунта от времени (рис. 7). Расположение точек представлено на рис. 3. По эпюрам (рис. 8) можем определить, что температура грунта в среднем колеблется от минус 2 до минус  $3^\circ\text{C}$  в основании здания. Это означает, что грунт находится в твердомёрзлом состоянии.

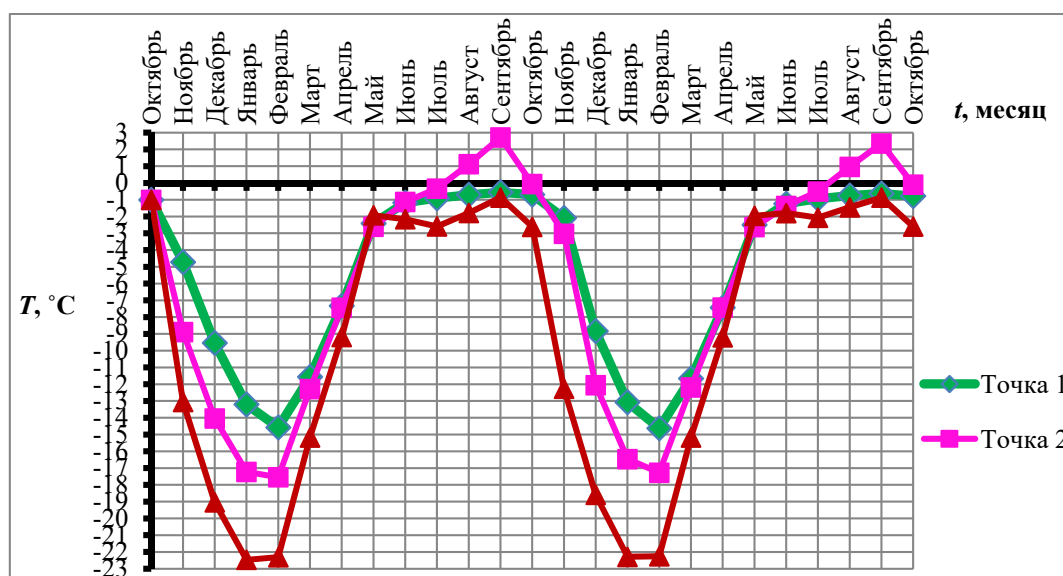


Рис. 7. График зависимости температуры грунта от времени в основании

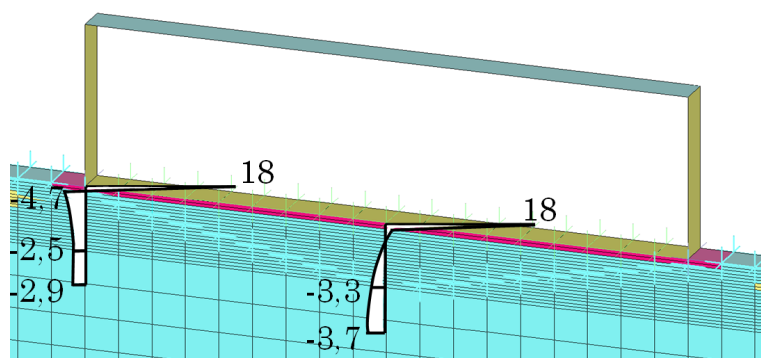


Рис. 8. Эпюры распределения температур по глубине

### Выводы

В районах с малой скоростью ветра устройство сезонно-охлаждающих устройств не всегда гарантирует промораживание грунта до твердомерзлого состояния. Промораживание грунта лишь до пластичномёрзлого состояния является небезопасным решением. Впоследствии это может привести к длительным осадкам здания. Чтобы достичь твердомерзлого состояния грунта в ряде случаев может быть целесообразен принудительный обдув конденсаторных частей термостабилизаторов.

### Литература

1. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – М.: Минрегион России, 2012. 109 с.
2. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1973. 448 с.
3. Макаров В.И. Термосифоны в северном строительстве. – Новосибирск: Наука, 1985. 169 с.
4. Кудрявцев С.А., Сахаров И.И., Парамонов В.Н. Промерзание и оттаивание грунтов. Практические примеры и конечноэлементные расчеты. – СПб, 2014. 261 с.
5. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. – М.: Минстрой России, 2012. 113 с.

### УДК 624.07

*Андрей Анатольевич Белый*, канд. техн. наук,  
доцент

*Эдуард Степанович Карпетов*, канд. техн. наук,  
профессор

*Екатерина Сергеевна Цыганкова*,  
аспирант

*Валентин Собор*, аспирант  
(ФГБОУ ВО ПГУПС Императора  
Александра I)

*E-mail: andbeliy@mail.ru, eskar@yandex.ru,  
rino4ka5@mail.ru, valentin.sobor@gmail.com*

*Andrei Anatolievich Belyi*, PhD, Associate  
Professor

*Eduard Stepanovich Karapetov*, PhD,  
Professor

*Ekaterina Sergeevna Tsygankova*, post-graduate  
student

*Valentin Sobor*, post-graduate student  
(Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport  
University)

*E-mail: andbeliy@mail.ru, eskar@yandex.ru,  
rino4ka5@mail.ru, valentin.sobor@gmail.com*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО РЕМОНТУ И УСИЛЕНИЮ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

### PERSPECTIVES OF COMPOSITE MATERIALS USAGE FOR REPAIR AND STRENGTHENING OF BRIDGE CONSTRUCTIONS ON RAILWAYS AND HIGHWAYS

В связи с ростом количества эксплуатируемых объектов транспортной инфраструктуры, увеличением количества и веса обращающейся нагрузки, как на мостах железных, так и автомобильных дорог России стремительно возросла необходимость применения современных надежных материалов с целью увеличения экс-

платационной надежности. Такими свойствами в настоящий момент обладают композитные (композиционные) материалы, условно разделенные на две группы. Первая группа – полимерные изделия (арматура, холсты, ламели, ленты), вторая группа – фибробетон и его разновидности. Отдельно стоит выделить сооружения, полностью выполненные из композитов. В статье приведены примеры использования из всех обозначенных групп. Обозначены перспективы в отрасли мостостроения.

*Ключевые слова:* композитные материалы, мостовые сооружения, железобетон, сталефибробетон, долговечность, надежность.

Due to the growth of quantity of the operated transport infrastructure objects, increase in moving loading quantity and weights as on railways bridges, and highways of Russia need of use of modern reliable materials for the purpose of increase in operational reliability promptly increased. Nowadays such properties the composite (composition) materials obtain which are conditionally separated into two groups. The first group – polymeric products (an armature, canvases, lamels, tapes), the second group – fibrous concrete and its versions. Separately it is worth allocating the constructions which are completely executed from composites. In article examples of use from all designated groups are given. Perspectives in the bridge building industry are designated.

*Keywords:* composite materials, bridge constructions, reinforced concrete, steel fibre concrete, durability, reliability.

В настоящее время развитие инфраструктуры дорожной сети России предполагает необходимость возведения, реконструкции и ремонта огромного числа мостовых сооружений [1, 2]. Традиционно для сохранения требуемых эксплуатационных характеристик мостов применяются давно известные материалы – металл, железобетон, бетон. В сложившихся условиях увеличения количества объектов, требующих улучшения их технического состояния при одновременном росте количества обрабатываемой нагрузки [3, 4, 5], на первый план выходят проблемы обеспечения качества работ, сокращения сроков строительства, увеличения продолжительности межремонтных периодов. Вариантом решения этих проблем является разработка и использование новых технологий и изделий. При этом, данные материалы должны обладать совокупностью свойств, таких как: повышенная прочность, трещиностойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и другие характеристик, на получение которых требуется затратить значительные средства. Одним из таких решений является применение в данной сфере композиционных материалов<sup>1</sup>.

Видом улучшения несущей способности пролетных строений мостов и путепроводов с использованием композитных материалов является применение систем внешнего армирования – холстов, ламелей [6].

На рис. 1 приведен пример усиления железобетонных балок путем наклейки на внешнюю поверхность цельных полосок (горизонтальных – в зоне действия максимальных изгибающих моментов и U-образных – в зоне действия поперечных сил), изготовленных из композитного материала FibArm Tape.

В системе АО РЖД в 2013г. принят нормативный документ, регламентирующий применение композиционных материалов [7].

Для автомобильных дорог с 2013 года существует дорожный методический документ ОДМ 218.3.027-2013 [8].

На сегодняшний день композитные материалы также нашли применение при строительстве пешеходных мостов. И подобные примеры имеются уже и в России!

В частности, в настоящее время они нашли применение в Новосибирске и Москве.

Первый пешеходный мост из композитных материалов был возведен в микрорайоне города Москвы в 2004 году (рис. 2). Этот мост зарекомендовал себя с положительной стороны в сфере эксплуатации (затраты в 10 раз меньше по сравнению со стальными мостами) [9].

В общем плане в настоящее время уже насчитывается около 40 пешеходных композитных мостов [9].

---

<sup>1</sup> Далее по тексту названия «композиционные» и «композитные» материалы считать синонимами.



Рис. 1. Усиление железобетонных балок путем наклейки на внешнюю поверхность цельных полосок (горизонтальных и U-образных), изготовленных из композитного материала FibArm Tape

Первый в нашей стране автомобильный мост из полимерного композита открылся в селе Сосновка Новосибирской области. В настоящее время это единственный автомобильный мост из данного материала.

Композитные материалы обладают целым рядом достоинств, таких как:

- высокая прочность;
- легкость;
- долговечность;
- отсутствие коррозии.



Рис. 2. Композитный мост в микрорайоне Чертаново на юго-востоке г. Москвы

Наряду с положительными качествами существуют и недостатки:

- высокая стоимость – в несколько раз превышающая традиционные материалы/технологии, применяемые при строительстве и ремонте железнодорожных мостов и недостаточное количество подготовленных специалистов, сдерживают рост применения композиционных материалов в железнодорожных мостах;
- порезы, проколы конструктивных элементов значительно снижают уровень безопасности эксплуатируемого сооружения;
- при механической обработке, ввиду большой твердости материала, различных наполнителей по составу и качеству материала при механической обработке возможно выкрашивание связующего;
- при механической обработке/резке композиционных материалов разрезаются армирующие волокна, вследствие чего возможно снижение прочностных характеристик.

Все это в зависимости от процесса монтажных работ и материалов необходимо учитывать при проектировании, монтаже и последующей эксплуатации объектов.

Примеры использования полимерной композитной арматуры с целью усиления железобетонных мостов настолько распространены, что в настоящей статье не приводятся.

Однако отметим, что ведутся соответствующие экспериментальные исследования как на усиленных сооружениях, так и объектах нового строительства [10, 11, 12].

К другому виду применения композитных материалов для повышения несущей способности мостовых сооружений относится фибробетон. Это материал с т.н. «управляемыми свойствами», позволяющий управлять техническим состоянием сооружения на любой стадии его жизненного цикла.

Волокнистыми наполнителями фибробетонов могут использоваться волокна органического и минерального происхождения, полимерные волокна, сталь и стекло. В настоящей статье подробно рассмотрен сталефибробетон. Сталефибробетон, это бетон – матрица, в качестве волокнистых наполнителей которого используются стальные волокна – фибра. Введение фибры дает возможность получить новый композитный материал, имеющий заметные отличия по своим физико-механическим характеристикам от бетона [13].

Первые исследования сталефибробетона в России были выполнены российским инженером В.П. Некрасовым в начале XX в. В качестве фибровой арматуры он использовал отрезки проволоки малых диаметров. Результаты своих исследований Некрасов представил в соответствующих работах [14, 15]. Дальнейшее развитие сталефибробетона в СССР и России привело его к совершенствованию от основных понятий свойств к действительным работкам. Однако в российской документации до сих пор отсутствуют нормы и правила как по проектированию и строительству, так и по выбору материалов для конструкций из сталефибробетона, но существует ряд рекомендательных документов применения данного материала. Возможно, это стало одной из причин отсутствия широкого использования конструкций из сталефибробетона.

Также важным фактором, влияющим на неиспользование фибробетона в отечественном строительстве, является его относительно более высокая стоимость по сравнению с обычным бетоном или железобетоном [16].

Если говорить о положительных качествах сталефибробетона как строительного материала, то можно сказать, что он обладает «отложенным» экономическим эффектом. Это происходит за счет более высокой прочности и износостойкости, долговечности во время эксплуатации, увеличения запаса между ремонтами и повышения безопасности сооружений.

Армирование подобными волокнами как в сталефибробетоне способствует снижению материалоемкости конструкций, затрат и трудоемкости возведения данного материала по сравнению с классическими арматурными решениями. Стальными волокнами армируют сталефибробетон как на заводе, так и на строительной площадке.

В мостостроении сталефиброжелезобетон (СФЖБ) нашел отражение в реконструкции пролетных строений мостов и в новом строительстве. Что касается реконструкции, то метод реконструкции посредством устройства сборной СФЖБ накладной плиты (рис. 3) позволяет увеличить несущую способность моста. Кроме этого, он повышает жесткость

пролетного строения, его сопротивляемость динамическим нагрузкам [17]. Применение монолитной СФЖБ плиты позволит сократить транспортные расходы и исключить монтажные работы.

К сожалению, в новом строительстве мостов фибробетон показал себя только за рубежом. Однако примеры и перспективы его использования находят все более широкое отражение [18, 19].

В качестве выводов к статье отметим следующее.

Использование композитных материалов в железобетонных конструкциях мостов с целью усиления конструкций нашло широкое применение в автодорожных мостах. При этом их использование на объектах транспортной инфраструктуры железнодорожного транспорта остается открытым.

Что касается металлических мостов, то первые исследования применения полимерных композиционных материалов с целью усиления элементов только начинаются. По всей видимости, в скором времени в этом направлении ожидается определенный «прорыв» [20, 21].

Также в ближайшем будущем вырастет количество пешеходных мостов, полностью выполненных из композитных материалов.

Сталефибробетон как вид композитного материала по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном обладает суммой физико-механическими свойствами, которые позволяют изменять их в необходимых пределах для достижения практических целей. Диапазон свойств сталефибробетона позволяет применять его в различных областях строительства. Широкое применение он нашел в реконструкции автодорожных мостов. Однако также, по всей видимости, в скором времени будут смонтированы мосты, полностью выполненные из сталефибробетона [16, 18, 19].

## Литература

1. Мелкоян А.Н. Использование сталефибробетона в мостовых конструкциях: автореф. дисс. / А.Н. Мелкоян, 2003 г. – Москва.
2. Карапетов Э.С. Проблема долговечности железобетонных мостов / Э.С. Карапетов, Д.А. Шестовицкий // Новые технологии в мостостроении (от прошлого к будущему). Сб. трудов Международной научно-технической конференции 2015 г. – СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 111–116.
3. Москвич В.К. Анализ актуальности и проблем оценки состояния мостовых сооружений / В.К. Москвич, М.В. Нененко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. № 3 (43), 2016. – с. 68-75.
4. Белый А.А. Анализ технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга / А.А. Белый // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 3, 2017 – Белгород: РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017 – С. 37-44. DOI: 10.12737/24624
5. Васильев А.И. Оценка технического состояния мостовых сооружений : учеб. пособие / А.И. Васильев – М.: КНОРУС, 2017. – 256 с.
6. Бокарев С.А. Усиление железобетонных опор железнодорожных мостов полимерными композиционными материалами / С.А. Бокарев, К.В. Кобелев// Интернет-журнал «Транспортные сооружения» № 2 Том 3 – 2016.
7. Руководство по усилению железобетонных пролетных строений системой внешнего армирования на основе углеродных волокон/ АО РЖД, Москва: 2013 – 53 с.

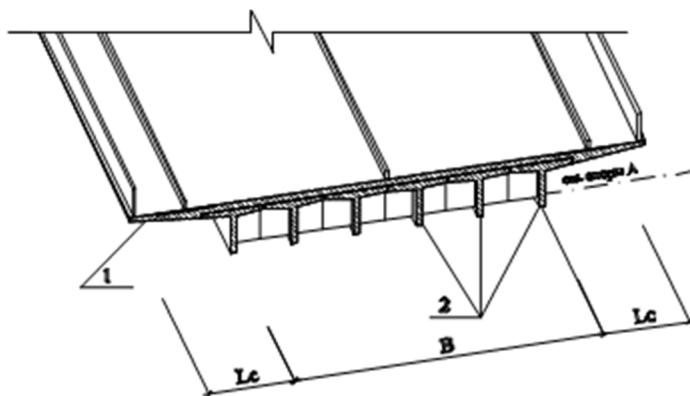


Рис. 3. Эскизное решение по устройству накладной плиты из сталефибробетона в качестве тротуарной консоли: В – габарит существующего пролетного строения моста; Lc – вылет консоли, увеличивающей габарит моста; 1 – сталефибробетонная накладная плита; 2 – железобетонные балки пролетного строения

8. Рекомендации по применению тканевых композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений ОДМ 218.3.027-2013/ Федеральное Дорожное Агентство (Росавтодор). Москва: 2013– 54 с.
9. Кузнецов И. За композитными мостами будущее? //И. Кузнецов// Всероссийский отраслевой интернет-журнал Строительство.ru. Сентябрь 2013 – с. 11
10. Иванов А.Н. Экспериментальные исследования пролетного строения из полимерного композиционного материала / А.Н. Иванов, А.Н. Яшнов // Вестник Тихоокеанского государственного университета, № 4(35), 2014 – Хабаровск: ТОГУ, 2014 – с. 61-70.
11. Бокарев С.А. Полимерные композиционные материалы в транспортном строительстве / С.А. Бокарев, Д.Н. Смердов // Транспорт Урала, № 1(48), 2016 – Екатеринбург: УрГУПС, 2016 – с. 24-30. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-1-24-30.
12. Неволин Д.Г. Усиление железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения полимерными композиционными материалами: монография / Д.Г. Неволин, Д.Н. Смердов, М.Н. Смердов – Екатеринбург: УрГУПС, 2017 – 152 с.
13. Рекомендации по применению сталефибробетона при строительстве и ремонте искусственных сооружений на автодорогах– Москва: ОАО ЦНИИС, 2006– 78 с
14. Некрасов В.П. Новые приемы и задачи железобетонной техники/ В.П. Некрасов, 1908– СПб;
15. Некрасов В.П. Метод косвенного вооружения бетона/ В.П. Некрасов : Транспечать, 1925– М;
16. Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса. Нормативная база ,проблемы и решения/ И.А. Войлоков// Алит информ № 2(9)/2009 – с 44-53
17. Талантова К.В. Сталефибробетон и конструкции на его основе: монография / К.В. Талантова – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2014. – 276 с.
18. Талантова К.В. Практика создания конструкций на основе сталефибробетона с заданными эксплуатационными характеристиками / К.В. Талантова, Н.М. Михеев, А.Н. Трошкин // Известия высших учебных заведений. Строительство, № 10(648), 2011 – Новосибирск: Сибстрин, 2011. – с. 112–118.
19. Чижов С.В. Дисперсно-армированный бетон в конструкциях мостов. Область применения и методы расчёта: монография / С.В. Чижов, С.А. Кузнецов –СПб.: ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – 55 с.
20. Овчинников И.И. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками. Ч. 1. Состояние проблемы / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Г.В.Чесноков, Д.А.Татиев, К.В.Покулаев // Интернет-журнал «Науковедение». Выпуск 3, май-июнь 2014. – с. 117-118.
21. Карапетов Э.С. Усиление и ремонт мостовых сооружений, водопропускных труб на железных и автомобильных дорогах: учеб. пособие / Э. С. Карапетов, А.А. Белый, В.Н. Мячин. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – 128с.

#### УДК 624.075.23

*Анатолий Леонидович Кришан*, д-р техн. наук,  
профессор  
*Эльвира Петровна Чернышова*, канд. филос. наук,  
доцент  
(ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»)  
*Владислав Евгеньевич Чернышов*, студент  
(ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный  
университет»)  
E-mail: kris\_al@mail.ru, ch-elvira@bk.ru,  
ch\_vlad99@mail.ru

*Anatoly Leonidovich Krishan*, Dr. of Tech.  
Sci., Professor  
*Elvira Petrovna Chernyshova*, PhD of  
Philos. Sci., Associate Professor  
(Nosov Magnitogorsk State  
Technical University)  
*Vladislav Evgenievich Chernyshov*, student,  
(Saint-Petersburg Mining  
University)  
E-mail: kris\_al@mail.ru, ch-elvira@bk.ru,  
ch\_vlad99@mail.ru

## **ПРОЧНОСТЬ КОНТАКТА СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ С БЕТОННЫМ ЯДРОМ ТРУБОБЕТОННЫХ УЧАСТКОВ СВАЙ КЕРЧЕНСКОГО ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА**

### **CONTACT STRENGTH OF THE STEEL SHELL WITH THE CONCRETE CORE OF CONCRETE FILLED STEEL TUBE SECTIONS OF THE KERCH TRANSPORT PASSAGE**

В статье описаны и проанализированы результаты экспериментально-теоретического исследования прочности контакта между бетонным ядром и стальной оболочкой трубобетонного элемента, используемого в качестве переходного участка свай. Данные исследования были выполнены с целью последующей разработки надежной конструкции стыка стальных свай-оболочек с железобетонным участком свайного фундамента Керченского транспортного перехода. Предложена методика расчета требуемой длины зон

передачи усилий от стального и железобетонного участков свай на трубобетонный. Результаты расчетов подтверждаются экспериментальными данными, что свидетельствует о верности предлагаемой методики.

Для обеспечения необходимой прочности контакта между бетоном и стальной оболочкой элемента, а следовательно и для надежной передачи расчетного усилия с железобетонного и стального участков свай на трубобетонный, рекомендуется использовать напрягающий бетон  $S_{p2,5}$ . Преимущество использования напрягающего бетона в данных условиях очевидно.

*Ключевые слова:* стальная оболочка, бетонное ядро, свая, прочность, контакт, Керченский транспортный переход.

The results of an experimental and theoretical investigation of the contact strength between a concrete core and the steel shell of concrete filled steel tube element used as a transitional section of piles are described and analyzed in the article. These research was carried out with the purpose of further develop a reliable design for the joint of steel piles with a reinforced concrete section of the pile foundation of Kerch transport passage. A technique for calculating the required length of transmission zones for forces from steel and reinforced concrete sections of piles to concrete filled steel tube sections is proposed. The results of calculations are confirmed by experimental data, which indicates the correctness of the proposed methodology.

It is recommended to use self-stressing concrete  $S_{p2.5}$  to ensure the necessary strength of contact between the concrete and the steel shell of element and therefore also to reliably transfer the design force from the reinforced concrete and steel sections of pile to the concrete filled steel tube sections. The advantage of using the self-stressing concrete under these conditions is obvious.

*Keywords:* steel shell, concrete core, pile, strength, contact, the Kerch transport passage.

Трубобетонные элементы (ТБЭ) всё чаще находят применение в современном строительстве в качестве строительных конструкций, работающих на сжатие: колонн зданий и сооружений, свай, опор мостов, различных стоек и т. д. Комбинация в одном элементе двух материалов с различными характеристиками и свойствами, металла и бетона, позволяет эффективно компенсировать недостатки каждой из составляющих и увеличивать несущую способность конструкции.

При проектировании Керченского транспортного перехода ТБЭ использовали в качестве переходных участков свай – от стальных (расположенных ниже морского дна) к железобетонным. Необходимость такого решения была вызвана сильно агрессивной к стали морской водой.

Согласно проекту, разработанному ЗАО «Институт Гипростроймост-Санкт-Петербург», основная часть свай выполнялась из прокатной стальной трубы (сталь марки 09Г2С) диаметром  $d = 1420$  мм и толщиной стенки  $t = 20$  мм. В связи со сложными инженерно-геологическими условиями общая длина свай достигает 70 м и более. Выше отметки морского дна свая предусмотрена железобетонной. Зона передача усилий со стальной части свай на железобетонную, выполняемая в виде трубобетонного участка, располагалась на 2,5 м ниже отметки грунта, а проектная длина этой зоны составляла 3 м.

Основная сложность проектирования была связана с отсутствием методики расчета необходимой длины трубобетонного участка. Данная работа посвящена разработке такой методики.

В первоначальном варианте проекта обеспечение необходимой прочности контакта между бетоном и стальной оболочкой элемента было решено осуществлять за счет устройства на внутренней поверхности трубы-оболочки специальных стержневых анкеров.

В результате дальнейшего анализа данный метод был отвергнут ввиду сложности практического осуществления. Природная неоднородность грунтов основания сказалась на невозможности расчета места передачи усилий, что приводит к необходимости устройства анкеров на месте, внутри забитой стальной трубы. Это очень трудозатратно и технологически сложно выполнимо. К тому же приварка анкеров вызывает температурные воздействия, способствующие разрушению внешней защитной оболочки трубы, выполняемой на основе эпоксидных смол. В этой связи был осуществлен поиск альтернативного варианта конструктивного решения трубобетонного участка свай.

Анализ современных сведений об особенностях расчета ТБЭ [1÷9], действующих российских [10], европейских [11] и американских норм [12], позволил сделать вывод о сла-



бой изученности величин сцепления и трения между стальной оболочкой и бетонным ядром трубобетонной конструкции, несмотря на то, что проблема является достаточно сложной и актуальной.

В перечисленных нормативных документах присутствует ряд рекомендаций по расчету прочности контакта между стальной оболочкой и бетонным ядром, которую следует проверять в местах передачи действующих усилий от одной составляющей элемента к другой. Приведены упрощенные формулы для определения предельных усилий среза, предельных напряжений среза и значений коэффициентов, обеспечивающих требуемую надежность расчетов по первой группе предельных состояний. В нормах США отражены рекомендации по применению в расчетах условия, при котором усилия в зоне передачи срезающего напряжения воспринимаются  $1/2$  периметра трубобетонного элемента круглого сечения.

В случаях недостаточной прочности контакта между стальной оболочкой и бетоном в ряде источников предлагается использование дополнительных объединительных деталей – анкеров на внутренней поверхности оболочки элемента. К примеру, система SWMB [13], разработанная в США, предусматривает для обеспечения достаточной прочности контакта бетона и стальной оболочки устройство специальных анкеров. Для этого труба-оболочка разрезается вдоль на две части, к внутренней поверхности трубы привариваются стальные стержни. После этого части трубы свариваются. Данный метод очень трудо- и энергозатратен, к тому же при использовании труб большого диаметра возникает потребность в специальном оборудовании.

Анализ научных источников показал, что при выполнении большинства экспериментов с трубобетонными элементами, исследования проводились над образцами небольшого масштаба (размер сечения в основном не более 325 мм). Влияние масштабного фактора на прочность контакта между бетоном и сталью при срезе для ТБЭ исследователями не изучалось. Европейские нормы [11] рекомендуют использовать в расчете прочность на срез 0,55 МПа, американские нормы [12] – 0,4 МПа. Однако из сказанного выше можно сделать вывод, что данными величинами следует пользоваться осторожно.

В последнее время многими специалистами рекомендуется использование конечно-элементного анализа с помощью современных программных комплексов для расчета трубобетонных элементов. Это затруднительно. Существует две причины, препятствующие расчету ТБЭ при помощи программных комплексов:

- 1) для достоверной оценки прочности среза на ЭВМ необходимо задать действительные значения характеристик сцепления и трения между стальной оболочкой и бетоном;
- 2) на величину сил трения оказывает влияние не только коэффициент трения, но и боковое давление бетона на внутреннюю поверхность оболочки элемента. В свою очередь боковое давление изменяется с ростом уровня нагружения ТБЭ, а также зависит от его геометрических и конструктивных параметров. Решающее влияние на величину и знак (сжатие или растяжение) бокового давления оказывает соотношение переменных коэффициентов поперечных деформаций стали оболочки  $\nu_p$  и бетона  $\nu_b$  при действующих в них напряжениях (рис. 1).

Ни один из современных программных комплексов («ABAQUS», «ANSYS», «Лира», «Midas Civil», «SCAD», «STARK ES» и др.) не позволяют учитывать изменение коэффициентов поперечных деформаций материалов с ростом в них уровня напряжений. Следовательно, использование программных комплексов для расчета трубобетонных элементов и оценки сил трения между бетоном и стальной оболочкой элемента возможно только после разработки специальных подпрограмм.

Согласно результатам экспериментальных исследований трубобетонных элементов с размерами поперечного сечения  $d \leq 325$  мм [8] коэффициент трения между бетонным ядром и стальной оболочкой рекомендуется принимать равным  $\mu = 0,5$ .

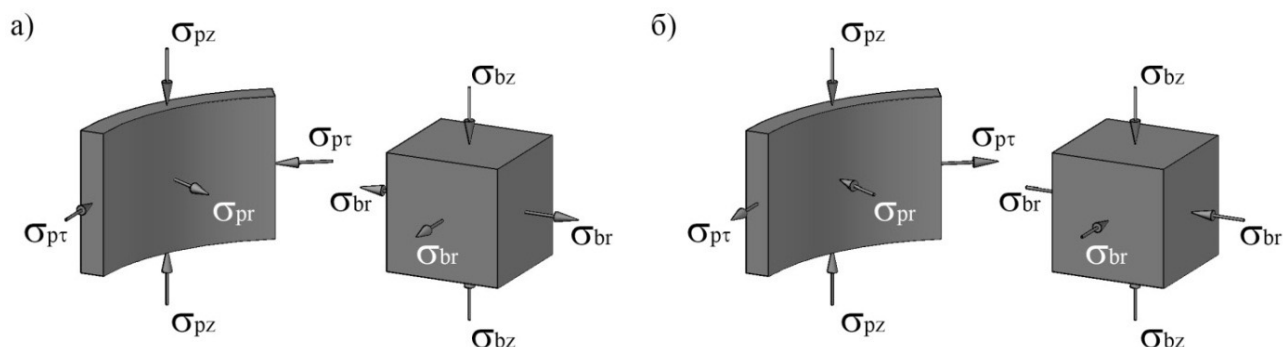


Рис. 1. Напряженное состояние стальной трубы и бетонного ядра трубобетонного элемента круглого поперечного сечения в различных стадиях загрузки: а – при  $v_p > v_b$ ; б – при  $v_p < v_b$

Анализ показывает, что надежный контакт между бетоном и стальной оболочкой может обеспечиваться, в основном, силами трения между ними. Адгезионное сцепление в расчетах учесть сложно, так как его величина зависит от состояния поверхности стального профиля. Кроме того, при действии циклических нагрузок сцепление может полностью исчезнуть [9]. Поэтому обычный бетон не может обеспечить требуемые условия для безопасной эксплуатации свай в течение длительного периода времени.

В процессе загрузки сжатого трубобетонного элемента стальная и бетонная составляющие не достигают своих предельных напряжений одновременно. Значит, к моменту достижения конструкцией предельной нагрузки прочность каждой из составляющих достигается независимо от сопротивления другой составляющей. Следовательно, для математического описания механизма передачи срезающей силы принцип суперпозиции не применим.

Согласно источникам [14÷16] деформации ползучести сжатых ТБЭ существенно меньше аналогичных деформаций железобетонных конструкций. Уровень осевых напряжений в бетоне (относительно его прочности при сжатии) при нагрузке на сваю 9 МН составляет порядка 0,1. Из всего этого можно сделать вывод, что ползучесть практически не скажется на работе свай и может не учитываться в расчете.

В результате выполненного анализа разработан альтернативный вариант конструктивного решения трубобетонного участка сваи. В частности, в переходной зоне было предложено использование напрягающего бетона. Такой бетон способствует созданию необходимого предварительного обжатия бетонного ядра, которое будет сохраняться в течение всего срока эксплуатации элемента и может (при величине самонапряжения  $\geq 1,0$  МПа) обеспечить достаточное трение между бетоном и стальной оболочкой при их загрузке.

Современная технология изготовления напрягающих бетонов с помощью добавки «Эмбэлит» (разработка НИИЖБ, г. Москва) достаточно проста, надежна и позволяет создавать такие бетоны со стабильными свойствами [17]. Уплотнение структуры бетона в процессе самонапряжения существенно повышает его водонепроницаемость и морозостойкость, что немаловажно для условий строительства транспортного перехода. При этом требуемая величина самонапряжения должна определяться соответствующим расчетом.

Предлагаемая методика расчета определяет требуемую длину переходной зоны  $l_{an}$  как сумму двух длин – зоны передачи нагрузки от железобетонного участка к стальной оболочке  $l_{anb}$  в верхней части и зоны передачи нагрузки от стальной оболочки на бетонное ядро  $l_{ans}$  в нижней части, т. е.

$$l_{an} = l_{ans} + l_{anb}. \quad (1)$$

$$l_{ans} = \frac{N}{\pi(d - 2t)(\mu S_p + \tau_{Rd})}; \quad (2)$$

$$l_{anb} = \frac{N}{\pi(d - 2t)(\mu S_p + \mu \sigma_{br} + \tau_{Rd})}, \quad (3)$$

где  $N$  – величина расчетного сжимающего усилия;  $d$  и  $t$  – диаметр и толщина стенки стальной трубы-оболочки;  $\mu$  – коэффициент трения между стенкой трубы и бетоном ( $\mu = 0,5$ );  $S_p$  – марка бетона по самоупрочению;  $\tau_{Rd}$  – прочность среза по контакту бетон-стальная труба (принято  $\tau_{Rd} = 0,4$  МПа);  $\sigma_{br}$  – боковое давление со стороны бетона на стальную оболочку.

В расчетах возможное набухание бетона не учитывается.

Для расчета по I группе предельных состояний в формулы (2) и (3) вместо марки по самоупрочению следует подставлять расчетное давление самоупрочения с обеспеченностью 0,999

$$\sigma_o = S_p \cdot (1 \pm \chi \cdot v), \quad (4)$$

где  $\chi = 3,05$  – коэффициент, определяющий требуемую обеспеченность;  $v = 0,06$  – коэффициент вариации для величины самоупрочения бетона, принятый согласно проведенным исследованиям.

Знак «плюс» принимается для проверки прочности стенки трубы.

Для оценки напряженно-деформированного состояния проектируемого трубобетонного элемента использовалась программа для расчета трубобетонных колонн со стержневым армированием – «CFST», зарегистрированная в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. В результате применения программы определялись: боковое давление со стороны бетона на стальную оболочку  $\sigma_{br}$ , величины относительных деформаций укорочения трубобетонной части сваи при действии на нее сжимающих нагрузок от 1,5 МН до 9 МН (при условии совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки), а так же деформации сваи при тех же нагрузках для ее стальной части, расположенной ниже трубобетонной. Сопоставление расчетных деформаций укорочения стальной оболочки с экспериментальными данными позволило точнее определить фактическую длину зоны передачи нагрузки.

Для оценки достоверности предложенной методики расчета были выполнены натурные испытания проектируемого участка сваи в зоне передачи усилий. Для проведения испытаний была выбрана стальная свая ИС-2, ранее используемая для эксперимента по определению максимально возможной нагрузки по несущей способности (по грунту).

Всего было изготовлено и испытано три образца сваи, содержащих переходную трубобетонную зону. Первый образец изготавливался из обычного тяжелого бетона, а два других – из напрягающего бетона с величиной самоупрочения 2,5 МПа. В связи с условиями испытательной площадки длина образцов № 1 и 2 составляла 1,59 м, а образца № 3 – 3 м. Расчетное сжимающее усилие в свае составляет 9 МН, предельная нагрузка при испытании назначена равной 15 МН.

Для проведения данных испытаний специалистами ЗАО «Институт Гипростроймост-Санкт-Петербург» был изготовлен испытательный стенд (проект 30/03-РД-СВСиУ-СТ).

Испытания опытных образцов проводились при статическом нагружении четырьмя 500-тонными гидравлическими домкратами. Внешний вид образца перед испытаниями представлен на рис. 2.

Нагрузка от домкратов прикладывалась ступенчато на бетонное сечение. Временная выдержка на каждой ступени составляла 15 мин.

Приборно-измерительная база была представлена следующим оборудованием:

– струнные датчики с базой 149 мм: были закреплены на внешней поверхности трубы в вертикальном и горизонтальном направлениях и распределены по всей высоте образца. Они служили для замеров деформаций и температуры окружающего воздуха в постоянном режиме;

– электронные индикаторы с цифровым отсчетным устройством: дублировали показания деформаций, фиксируемых струнными датчиками. Диапазон измерений индикаторов  $0 \div 12,7$  мм, дискретность отсчета – 0,001 мм. Принятая база измерения – 150 мм. Все индикаторы устанавливались по вертикали по четырем сторонам через каждые  $90^0$  по геометрическим осям образца.



Рис. 2. Общий вид образца перед испытанием

Основные результаты, полученные в ходе испытания: разрушающая нагрузка, показания датчиков, зафиксированное распределение относительных деформаций укорочения по высоте стальной трубы при различных уровнях нагружения.

Следует отметить, что при обработке опытных данных относительных деформаций учитывалось сложное напряженное состояние стальной трубы [18, 19], в том числе влияние температурных колебаний окружающей среды. Для упрощения расчетов принято допущение, что осевые, тангенциальные и радиальные напряжения и деформации в стенках стальной трубы возникают по главным площадкам, т. е. касательные напряжения и сдвиговые деформации здесь равны нулю.

Тогда связь между деформациями и напряжениями для любой точки внешней стальной оболочки в упругой и упруго-пластической стадиях может быть описана в виде системы уравнений

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{pz} \\ \varepsilon_{p\tau} \\ \varepsilon_{pr} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\nu_p E_{s,p}} \times \begin{bmatrix} 1 & -\nu_p & -\nu_p \\ -\nu_p & 1 & -\nu_p \\ -\nu_p & -\nu_p & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_{pz} \\ \sigma_{p\tau} \\ \sigma_{pr} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \varepsilon_{tz} \\ \varepsilon_{t\tau} \\ \varepsilon_{tr} \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

В системе (5)  $\sigma_{pz}$ ,  $\sigma_{p\tau}$ ,  $\sigma_{pr}$  – нормальные (главные) напряжения в трубе в осевом, тангенциальном и радиальном направлениях;  $\varepsilon_{pz}$ ,  $\varepsilon_{p\tau}$ ,  $\varepsilon_{pr}$  – относительные деформации стальной оболочки по соответствующим направлениям;  $E_{s,p}$  – начальный модуль упругости стали ( $E_{s,p}=206$  ГПа);  $\nu_p$  – коэффициент упругости стали;  $\nu_p$  – коэффициент поперечной деформации стали трубы,  $\varepsilon_{ij} = \alpha_i \cdot \Delta T$  – относительная деформация трубы, вызванная температурным перепадом ( $j=z, \tau, r$ );  $\alpha_i$  – температурный коэффициент линейного расширения для стали, примерно равный  $13 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Значения коэффициентов упругости  $\nu_p$  и поперечной деформации  $\nu_p$  рассчитывались по формулам, предложенным в работе [20].

Эксперименты показали, что совместное деформирование бетонного ядра и стальной оболочки наблюдалось в средней части по высоте образцов, за исключением зон длиной примерно 500 мм у верхнего и нижнего их торцов. Результаты выполненных экспериментов показали, что длина заложенной в первоначальном варианте проекта зоны передачи усилия ( $l_{an}=3$  м) в случае использования обычного бетона недостаточна. При такой длине прочность контакта бетона и стальной оболочки не обеспечивается. Использование напрягающего бетона с  $S_p = 2,5$  МПа делает зону длиной 3 м вполне достаточной.

С другой стороны, полученные величины нагрузок, при которых произошел срез бетонного ядра, практически совпали с расчетными значениями, определенными по предложенной выше методике. Следовательно, данную методику можно использовать в практической деятельности.

### Заключение

Результаты выполненных расчетов и экспериментов показали, что длина заложенной в первоначальном варианте проекта зоны передачи усилия в случае использования обычного бетона недостаточна, прочность контакта бетона и стальной оболочки не обеспечивается. При этом важно, что обычный бетон не может обеспечить требуемые условия для безопасной эксплуатации свай в течение длительного периода времени.

Для обеспечения необходимой прочности контакта между бетоном и стальной оболочкой элемента, а следовательно и для надежной передачи расчетного усилия с железобетонного и стального участков сваи на трубобетонный рекомендуется использовать напрягающий бетон  $S_p 2,5$ . Преимущество использования напрягающего бетона в данных условиях очевидно.

Результаты расчетов подтверждаются экспериментальными данными, что свидетельствует о верности предлагаемой методики.

### Благодарности

Данная статья была подготовлена по результатам выполнения научного проекта в рамках государственного задания Минобрнауки России № 7.3379.2017/ПЧ.

### Литература

1. Alacali S.N., Akbas B., Dorana B. Prediction of lateral confinement coefficient in reinforced columns using neural network simulation // Journal Applied Soft Computing. – 2010. – № 11. – P. 2645-2655.
2. Choi E., Park S.-H., Cho B.-S., Hui D. Lateral reinforcement of welded SMA rings for reinforced concrete columns // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – 577S. – P. 756-759.

3. Krishan A.L. Power resistance of compressed concrete elements with confinement reinforcement by means of meshes // *Advances of Environmental Biology*. – Vol. 8, № 6, May 2014. – P. 1987-1990.
4. Krishan A.L. Steel pipe-concrete columns with preliminary pressed core // *Applications. Opportunities: Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK on 5-7 July 2005*. – P. 725-733.
5. Krishan A.L., Troshkina E.A. Estimation of carrying capacity of eccentrically compressed concrete-filled steel tube columns // *Advances of Environmental Biology*. Vol. 8, № 6, May 2014. – P. 1974-1977.
6. Leon R.T., Kim D.K., Hajjar J.F. Limit State Response of Composite Columns and Beam-Columns. Part 1: Formulation of Design Provisions for the 2005 AISC Specification // *Engineering Journal / Fourth Quarter*. – 2007. – P. 341-358.
7. Masoudnia R., Amiri S., WanBadaruzzaman W.H. An Analytical model of short steel box columns with concrete in-fill (part I) // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. – 2011. – № 5. – P. 1715-1721.
8. Mathias Johansson, Magnus Åkesson. Finite Element Study of Concrete-Filled Steel Tubes Using a New Confinement-Sensitive Concrete Compression Model // *Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Div. of Concrete Structure, Göteborg, Sweden, 2000*.
9. Naeef M., Bali M., Naeef M.R. and Amir J.V. Prediction of Lateral Confinement Coefficient in Reinforced Concrete Columns using M5' Machine Learning Method // *Journal of Civil Engineering*. – 2013. – № 17(7). – P. 1714-1719.
10. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М.: ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, 2017. – 124 с.
11. Eurocode 4: EN 1994-1-1:2004 Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. – Brussels. – 2004. – 117 p.
12. AISC (2005c), ANSI/AISC 360-05. Specification for structural steel buildings. – American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL.
13. Трубобетонные колонны высотных зданий из высокопрочного бетона в США // *Бетон и железобетон*. – 1992. – № 1. – С. 29-30.
14. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 144 с.
15. Кришан А.Л., Заикин А.И., Сагадатов А.И. Трубобетонные колонны высотных зданий: Монография. – Магнитогорск: ООО «МиниТип», 2010. – 195 с.
16. Стороженко Л.И. Железобетонные конструкции с косвенным армированием. – Киев, 1989. – 99 с.
17. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. – М.: «Типография «Парадиз», 2010. – 258 с.
18. Krishan A.L., Troshkina E.A. New approach to the estimation of durability of compressed pipe-concrete columns // *Applications. Opportunities: Proceedings of the 7th International Congress held at the University of Dundee, Scotland, UK on 8-10 July 2008*. – P. 143-151.
19. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*, 2009. – № 4. – С.75-80.
20. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: Монография. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.

#### УДК 691.618.92

*Арина Александровна Авдеева*, студент  
*Инга Дмитриевна Шлыкова*, студент  
*Светлана Александровна Субботина*, студент  
*Светлана Вячеславовна Беляева*, ст. преподаватель  
 (Санкт-Петербургский Политехнический  
 университет Петра Великого)  
*Евгений Сергеевич Васюткин*, исполнительный  
 Директор (ООО «Композит Групп»)  
*E-mail: arina.avdeeva@rambler.ru, ingash-*  
*lykova@mail.ru, svetlana.subbotina94@mail.ru,*  
*sbelaeva@gmail.com, evasyutkin@yandex.ru*

*Arina Aleksandrovna Avdeeva*, student  
*Inga Dmitrievna Shlukova*, student  
*Svetlana Aleksandrovna Subbotina*, student  
*Svetlana Vyacheslavovna Belyaeva*, Senior Lecturer  
 (St. Petersburg Polytechnic University of Peter  
 the Great)  
*Evgenij Sergeevich Vasjutkin*, Chief Executive Officer  
 (ООО "Composite Group")  
*E-mail: arina.avdeeva@rambler.ru, ingash-*  
*lykova@mail.ru, svetlana.subbotina94@mail.ru,*  
*sbelaeva@gmail.com, evasyutkin@yandex.ru*

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

### FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF THE BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF THE EXTREME NORTH

В работе показана сложность выполнения строительных работ в условиях Крайнего Севера. Целью работы является подбор наиболее подходящих строительных материалов и технологий, которые будут эффективны в сложных климатических условиях Крайнего Севера. Для этого подробно рассмотрены модульное

строительство зданий и сооружений для увеличения скорости строительства, современный утеплитель экструдированный пенополистирол для сохранения тепла в здании и уменьшения расхода энергии, теплоизоляционно-конструкционный стеклокомпозит для возможности строительства на слабых и заболоченных грунтах, свайный фундамент на вечномёрзлых грунтах. Также сделан вывод, что проектировать здания в условиях Крайнего Севера необходимо компактно и с использованием определенной цветовой гаммы.

*Ключевые слова:* стеклокомпозит, модульное строительство, фундаменты, Крайний Север, вечная мерзлота.

The work shows the complexity of performing construction work in the conditions of the Extreme North. The aim of the work is to select the most suitable building materials and technologies that will be effective in the difficult climatic conditions of the Extreme North. We consider in detail the modular construction of buildings for increased speed of construction, modern extruded polystyrene insulation to retain heat in the building and reduce energy consumption, insulating structural fiberglass for the possibility of building on the strengths and waterlogged soils, pile foundation at permafrost. Also it was concluded that in the conditions of the Extreme North it is necessary to design buildings in a compact and using a certain color range.

*Keywords:* fiberglass, modular construction, foundations, permafrost, Extreme North.

Экономическое и социально-политическое положение в настоящее время требуют от нашей страны освоения Арктики и районов Крайнего Севера. Это требует поиска новых проектных решений, применения современных эффективных материалов и энергосберегающих технологий, продуманных конструктивных схем зданий, гарантирующие их долговечность, безопасность и комфорт проживания [1,2]. Для строительства в условиях крайнего Севера особое внимание следует уделять теплозащитным свойствам наружным ограждений, воздухопроницаемости стен, окон и дверей, эффективной изоляции трубопроводов, и особенностям строительства фундаментов [3].

Строительство осложняется тяжелыми характеристиками климата: 7–8 месяцев в году температура ниже нуля, продолжительный период температура достигает отметки 30–40 °С, сильные ветра, вечная мерзлота, длительные полярный день и ночь [4].

Природная экстремальность усиливается негативным действием социально-экономических факторов – транспортной недоступностью, высокими производственными издержками и стоимостью жизни, неразвитостью экономики и тенденциями к ее монополизации, изолированностью и дисперсностью расселения.

Из-за огромной удаленности арктических территорий от производственных цехов, заводов и фабрик осложняется доставка сырья и материалов к месту строительства, которая к тому же в большинстве случаев возможна лишь в период летней навигации – 4–5 месяцев в году. Если на «материке» для строительства жилых домов применяются, в основном, монолитные и кирпичные технологии, то на Крайнем Севере здания легче возводить по технологии модульного строительства.

Главное преимущество данной технологии заключается в том, что дома из модулей, заранее изготовленных частей, строятся в кратчайшие сроки. Также к достоинствам модульного строительства можно отнести:

- максимально ускоренные сроки строительства;
- минимальный вес строительных материалов для перевозки;
- повышенная конструктивная безопасность, устойчивость зданий и сооружений с фундаментами на многолетних мерзлых грунтах;
- минимальные материало-, трудо- и энергоемкость;
- обеспечение экологической и пожаробезопасности, долговечности зданий и сооружений;
- повышенная комфортность и применение современных архитектурных решений;
- энергосбережение при эксплуатации зданий и сооружений;
- минимизация стоимости строительства.

Блочно-модульное строительство стало практически незаменимой технологией в условиях Севера, где важна скорость строительных работ. Модульные здания, в основе

которых лежит блок контейнер, быстро собираются и разбираются для дальнейшей эксплуатации на другом объекте. Надёжность конструкции обеспечивает прочный каркас сооружения, состоящий из металлических швеллеров. Использование современных материалов при изготовлении этих изделий обеспечивает им быстрый прогрев помещения и долгое сохранение тепла внутри. Среди теплоизоляционных материалов для применения в условиях крайнего севера есть материалы волокнистой (минеральная вата) и ячеистой структуры (пеностекло, пенопласты, пеностекло и ячеистые бетоны).

Наилучшими теплоизолирующими свойствами обладает экструдированный пенополистирол. В отличие от минеральной ваты у него почти полностью закрытая пористость, соответственно, он не теряет теплоизолирующих свойств при контакте с водой или увлажнении. Он также не деформируется при действии механических нагрузок, что не характерно для минеральной ваты. Технология производства не такая сложная и энергозатратная, как у пеностекла. Вес изделий из экструдированного пенополистирола более чем в 10 раз меньше, чем изделий из ячеистых бетонов. Однако, класс горючести у данного материала Г4 (горит, плавится), поэтому необходимо выбирать изделия с повышенной огнестойкостью (например, с антипиренами) и самозатухающие, не поддерживающие горение. Соответственно, не рекомендуется сочетать изделия из экструзионного пенополистирола с изделиями и конструкциями из древесины и других материалов, горение которых достаточно продолжительно. Таким образом, целесообразно использовать в качестве теплоизоляционного материала экструзионный пенополистирол, а в качестве конструкционного – сталь [5].

Из-за сурового климата Крайнего Севера к выбору строительных материалов приходится подходить более тщательно – они должны выдерживать низкие температуры и обеспечивать сохранность тепла в помещениях. Последнее время все чаще в строительстве применяется стеклопластиковая легкая арматура – на разрыв она более чем в 3 раза прочнее стали при соблюдении одинакового диаметра, если же сравнивать изделия по массе, то стеклопластик получается надежнее в 9 раз. В районах Крайнего Севера прочность материала имеет большое значение.

Композитную арматуру используют для изготовления наливных полов, она служит каркасом зданий в малоэтажном строительстве. Плотность стеклопластикового материала приблизительно в 1,5 раз ниже, чем у стального прута, и ЖБК конструкции с применением его получаются значительно легче. Соответственно, возводимые стены также получаются более легкими, и строительство с ними становится проще.

Композитный материал выдерживает температуру от -70 до +200 °С, и для дорожного бетонного полотна он подходит идеально [6]. Готовые арматурные решетки легко перемещаются, так как не обладают большим весом, и при этом получаются еще и гибкими. Собираются решетки с помощью обыкновенной вязальной проволоки. Пруты композитной арматуры можно хранить не только в помещениях и под навесом, но также и под открытым небом. Стеклопластику не страшен дождь и снег, и он не заржавеет от сырости [7-9].

Также одной из новейших разработок в сохранении тепла является теплоизоляционно-конструкционный стеклокомпозит (ТКС). Использование ТКС в строительстве позволит создавать энергосберегающие строения значительно легче обычных и, таким образом, застраивать площади, расположенные на слабых и заболоченных грунтах в регионах с холодным и жарким климатом, проводить реконструкцию зданий. При этом все конструкции, здания и сооружения, построенные с использованием ТКС, будут обеспечивать значительное снижение катастрофических последствий при техногенных и природных воздействиях. В стеклокомпозите сохранены основные уникальные свойства пеностекла. В сравнении с традиционными строительными теплоизоляционными материалами стеклокомпозит обладает низкой теплопроводностью при высокой прочности и удобстве обработки, а также в простоте монтажа при экологической безопасности и долговечности. Подобного сочетания свойств нет ни у одного из известных теплоизоляционных и конструкционных материалов.



Совокупность свойств стеклокомпозита: низкая теплопроводность, высокая прочность, стойкость и технологичность применения – делают этот теплоизоляционный материал практически незаменимым как в строительстве, так и во многих других областях [3].

Газобетонные блоки по своим характеристикам проигрывают блокам из ТКС. Блоки из ТКС отвечают требованиям по теплоизоляционным характеристикам [10].

Фундаменты являются одним из самых основополагающих и важных частей здания, к которым требования по надежности, долговечности и уровню затрат постоянно повышаются.

Возведение фундаментов в обязательном порядке должно сопровождаться проведением инженерно-геокриологических изысканий с целью адекватного прогнозирования поведения грунта при строительстве и последующей эксплуатации постройки.

Уже после того, как будут проведены инженерные исследования, выполняются расчеты теплового режима грунтов и определяются с типом фундаментов [11].

Существуют два принципа, на которых базируется использование вечномерзлых грунтов

Первый принцип – сохраняется мерзлое состояние грунта.

В соответствии с этим принципом вечномерзлое основание стремятся сохранить в первоначальном состоянии не только в процессе возведения постройки, но и при его дальнейшей эксплуатации.

Следуя первому принципу преимущественно устраивают свайный или столбчатый фундамент. Но могут быть и другие решения, например, ленточный фундамент [12]. Единственное условие – не дать верхнему слою грунта изменить свои свойства под воздействием тепла от эксплуатируемого сооружения. Для этого подполье делают холодным, вентилируемым через продухи в забирке или цокольной части дома. Можно также выполнить сплошной слой теплоизоляции с высокими изоляционными свойствами под всем зданием, что позволит сохранять грунт в естественном состоянии.

Второй принцип проектирования фундаментов – допускается последующее оттаивание грунта.

Этот способ используют реже и, как правило, при условии, что грунт на строительной площадке не является пучинистым или просадочным, при изменении температурных условий которого деформации не превышают предельно допустимых значений. В этом случае его либо оттаивают перед возведением фундамента, либо проводят все необходимые расчеты и допускают, что основание будет оттаивать во время эксплуатации постройки.

Строительство основы зданий по второму принципу подразумевает расчет глубины заложения подошвы фундамента при комплексной оценке толщины сезонно промерзающего грунта, уровня грунтовых вод – все с привязкой к зоне оттаивания, которая будет образовываться при последующей эксплуатации сооружения.

Но чаще в сложных инженерно-геологических условиях используют свайный фундамент, который при постройке и дальнейшей эксплуатации здания сохраняет вечномерзлый грунт в естественном состоянии. [13]. По способу погружения в грунты сваи разделяют на:

- Буроопускные. Их погружают в скважины, заранее пробуренные, Скважины имеют диаметр, превышающий диаметр сваи. Зазор между сваей и стенкой скважины заполняют бетонным раствором.
- Бурунабивные. Их погружают путем забивки в предварительно пробуренные скважины. Имеют диаметр на см меньший диаметра сваи.
- Опускные. Погружаются путем забивки в заранее оттаиваемый паровыми иглами грунт [14].

Климатической особенностью Крайнего Севера, усложняющей проживание на данной территории, являются сильные холодные ветра. Поэтому для снижения скорости ветра, жилые кварталы проектируют компактно, с минимальным наличием площадей и широких длинных улиц. Для упрощения очистки крыш от снега фасады и крыши проектируют в виде простых профилей [15–21].

Свет и цвет, став элементами архитектурных пространств города, активно участвуют в формировании панорам застройки, в особенности это касается городов Крайнего Севера, так как северный ландшафт большую часть времени года характеризуется преобладанием белого фона. В связи с этим закон яркостного контраста диктует изменения в сторону снижения насыщенности цвета зданий, так как на светлом фоне в хорошую погоду он и без того будет отвечать своим задачам. С другой стороны, краткость светлого периода времени года, преобладание полярной ночи создает свои требования: в сумерках здания с яркой окраской более заметны и более активно формируют хроматическую картину жилой среды. С учетом полихромной полярности для блеклого серо-голубого окружения отделка зданий предпочтительна в теплой гамме.

Отсутствие надлежащего колористического решения в архитектурном пространстве поселений Севера является важной проблемой, решение которой связано с развитием принципов планировки и застройки, отвечающих природной специфике отдельных районов, и с разработками проектов зданий специально для условий Севера.

### Литература

1. Фролова М. А., Лесовик В. С. Архитектурная геоника для Северо-Арктического региона. // Сборник: Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2015. С. 711-717.
2. Лесовик В. С. Новая парадигма создания композитов для стройиндустрии // Сборник: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГНТУ им. Акад. М. Д. Миллионщикова». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова» (ФГБОУ ВПО «ГНТУ»). 2015. С. 17–24.
3. Пучка О. В., Лесовик В. С., Вайсера С. С., Использование стеклокомпозитов для строительства в условиях Арктики // Сборник докладов Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. 2016. С. 29-36.
4. Скрипник И. Л., Каверзнева Т. Т., Идрисова Д. И. Совершенствование системы мониторинга климатических характеристик в условиях Крайнего Севера // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-2(5). С. 95–97.
5. Сарвут Т. О., Дмитриев Н. С. Особенности проектирования объектов различного назначения в условиях Арктической зоны Российской Федерации // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4-2 (58). С. 100-102.
6. ГОСТ Р 55068-2012 Трубы и детали трубопроводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и базальтоволокнами.
7. Varabanshchikov Y., Belyaeva S., Avdeeva A. and Perez M. Fiberglass Reinforcement for Concrete (2015) Applied Mechanchanics and Materials, Pp. 475-481.
8. Avdeeva A., Shlykova I., Perez M., Antonova M., Belyaeva S. Chemical properties of reinforcing fiberglass in aggressive media. MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 53. 01004.
9. Avdeeva A., Shlykova I., Antonova M., Barabanshchikov Yu., Belyaeva S. Reinforcement of concrete structures by fiberglass rods. MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 53, 01006.
10. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»
11. Долгих Г. М., Окунев С. Н., Стрижков С. Н., Матюхова В. А., Анфилофьева О. С. Алгоритм принятия технических решений при проектировании систем температурной стабилизации грунтов оснований // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. № 3 (31). С. 22–29.
12. Самофеев Н. С., Гареева З. А., Гареев Т. Р. Оценка возможности реализации комбинированных свайных фундаментов в проекте строительства производственного объекта в условиях города Ноябрьска Ямало-Ненецкого автономного округа // Интернет-журнал Науковедение. 2016. № 6 (37). С. 124.
13. Грузин А. В., Русанова А. Д. Определение геометрических параметров висячей забивной свай с повышенной несущей способностью для фундамента РВСПК-50000 // Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции Инновации в строительстве глазами молодых специалистов. 2014. С.104–107.
14. СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. 1990.
15. Варфоломеев Ю. А. Особенности проектирования и строительства малоэтажных домов в Арктике // Журнал Арктика и Север. 2014. № 17. С. 28-43.

16. Конухин В. П., Смирнов Ю. Г., Орлов А. О. Заполнители бетона из техногенного сырья горно-промышленного комплекса Мурманской области // Журнал Экология и промышленность России. 2011. № 3. С. 14-16.
17. Nekrasova M. A. Green project management of green building in the Arctic // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 3. С. 10-16.
18. Соколова Н. В., Авдеева А. А., Шлыкова И. Д., Горбовская А. Д. "Зеленое" строительство в условиях многолетней мерзлоты// Сборник "Политехническая неделя в Санкт-Петербурге". 2016. С. 257-260.
19. Соколова Н. В., Авдеева А. А., Шлыкова И. Д., Волкова Ю. В. Система обогрева спортивного газона в условиях многолетней мерзлоты// Сборник "Политехническая неделя в Санкт-Петербурге". 2016. С. 282-284.
20. Соколова Н. В., Авдеева А. А., Дудырина Е. Н., Шлыкова И. Д., Волкова Ю. В. Инженерно-геологические изыскания: жилой дом в поселке Водный// Сборник "Политехническая неделя в Санкт-Петербурге". 2016. С. 284-286.
21. Соколова Н. В., Авдеева А. А., Дудырина Е. Н., Шлыкова И. Д., Волкова Ю. В. Индивидуальный жилой дом в поселке Водный: физико-географические условия// Сборник "Политехническая неделя в Санкт-Петербурге". 2016. С. 388–389.

## СОДЕРЖАНИЕ

Квитко А. В., Шендрик В. А. Методика и результаты испытания композитных конструкций для объектов транспортного строительства .....	3
Симонова А. С. К разработке классификации методов горячей регенерации.....	7
Коваленко Е. А., Симонова А. С. Современный подход к технологии производства работ методом горячей регенерации.....	11
Глухих В. Н., Петров В. М., Худаев Е. В. Усиление строительных балок стальным прокатом и композиционные материалами.....	16
Глухих В. Н., Ли Д. В., Малявка Ю. И. К вопросу об использовании композитных материалов в строительстве.....	22
Петров В. М., Нижегородцев Д. В., Яковлев С. П. Исследование образцов в виде плит из бетона, армированных прямоугольной решеткой из плоских композитных вставок.....	25
Ланько С. В., Колпащикова А. А., Полунин В. М. Мониторинг за деформациями зданий промышленного холодильника при его перевозе в теплый склад.....	30
Ланько С. В., Колпащикова А. А., Сирота В. В. Усиление паркинга многоэтажного жилого дома композитными материалами.....	40
Кохан И. О., Крюков К. В. Способы глубинного уплотнения грунтовых оснований.....	46
Кирьянова Е. С., Конюшков В. В. К вопросу влияния прочностных характеристик грунта на устойчивость неармированной и армированной насыпи.....	53
Ланько С. В., Бояринцев А. В. Анализ применения современных композитных материалов для защиты свай от морозного пучения.....	62
Белова О. И., Парамонов М. В., Сахаров И. И. Термостабилизация оснований сооружений больших плановых размеров в криолитозоне.....	69
Солонецкая М. Э., Сахаров И. И. Тепловая эффективность термостабилизаторов в зависимости от скорости воздушного потока .....	75
Белый А. А., Карапетов Э. С., Цыганкова Е. С., Собор В. Перспективы использования композитных материалов при выполнении работ по ремонту и усилению мостовых сооружений железных и автомобильных дорог.....	81
Кришан А. Л., Чернышова Э. П., Чернышов В. Е. Прочность контакта стальной оболочки с бетонным ядром трубобетонных участков свай Керченского транспортного перехода.....	86
Авдеева А. А., Шлыкова И. Д., Субботина С. А., Беляева С. В., Васюткин Е. С. Особенности возведения зданий в условиях Крайнего Севера.....	93

Научное издание

**КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ  
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Материалы  
научно-практической конференции

15 ноября 2017 года

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 09.06.2018. Формат 60×84 1/8. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 5,8. Тираж 300 экз. Заказ 76. «С» 45.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 5/8, лит. А.