

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«НОРИЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ»**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

№7 2019

Норильск 2019

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Научно-практический журнал

№7 2019 год

Редакционная коллегия:

Главный редактор **В.Ю. Стеклянный**

Заместитель главного редактора **О.Н. Демченко**

Члены редколлегии:

М.А. Елесин, В.А. Еременко, Н.Н. Мишина, А.И. Монич,

О.В. Носова, С.С. Пилипенко, В.И. Пантелеев, В.Г. Сазыкин,

В.И. Складнов, С.Х. Шигалугов

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Журнал входит в базу данных (реферативный журнал) ВИНИТИ

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Издатель и учредитель: ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»

Компьютерная верстка *Т.В. Телелева*

При оформлении обложки использовано
фото *А. Харитонова*

Перепечатка, все виды копирования
и воспроизведение материалов, публикуемых
в журнале, возможна только с письменного
разрешения редакции.

При перепечатке ссылка на журнал
«Научный вестник Арктики» обязательна.

Адрес редакции:

663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7

ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Редакция журнала.

Тел. (3919) 47-39-44. Факс (3919) 42-17-41.

Адрес в Интернете: www.norvuz.ru

E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Петухова Ж.Г.

Основные направления работы Арктического мерзлотного
исследовательского центра..... 6

Бакшеев Д.С.

Свайное фундаментостроение в криолитозоне.....8

Елесин М.А.

О перспективах создания мерзлотной лаборатории и основных
направлениях ее развития..... 16

Скляр Л.А.

Техническое обследование зданий и сооружений в рамках требований
Федерального закона №384–ФЗ «Технический регламент о безопасности
зданий и сооружений» и ГОСТ 31937–2011 «Правила обследования
и мониторинга технического состояния»..... 22

Еманов А.Ф., Бах А.А., Еманов А.А.

Инженерно-сейсмологический мониторинг зданий и сооружений:
физико-математические основы метода, возможности, результаты.....34

Петухова Ж.Г., Петухов М.В.

Успехи и проблемы г. Норильска, построенного на широтах Крайнего Севера
в условиях распространения вечной мерзлоты..... 44

Машкин Н.А., Бартеньева Е.А., Петров И.И.

Активирование цементных вяжущих в технологии бетона при строительстве
и реконструкции зданий и сооружений в Северных регионах..... 47

Середович В.А.

3D и цифровые технологии в дорожно-строительном
комплексе г. Новосибирска.....54

Елесин М.А.

Получение бетонов с использованием серы для эксплуатации
в регионах Крайнего Севера.....58

Губина Н.А.

Особенности перехода жилого образования на закрытую
систему теплоснабжения..... 65

Хадбаатар А., Машкин Н.А., Молчанов В.С.

Перспективы использования золошлаковых отходов ТЭЦ Монголии
в строительстве дорог.....72

Трофимов В.И.

Спиральная технология возведения водопропускных сооружений
с устройством систем вентиляции в основании дорог на мерзлых грунтах.....77

CONTENTS

Petukhova Zh.G.

The main directions of work of the Arctic permafrost research center 6

Baksheev D.S.

Pile foundation engineering in cryolithozone 8

Elesin M.A.

About the prospects of creating a permafrost laboratory and the main directions of its development 16

Sklyarov L.A.

Technical inspection of buildings and structures as part of the requirements Federal Law No. 384 – ФЗ «Technical Safety Regulation buildings and structures» and GOST 31937–2011 «Inspection rules and monitoring the technical condition» 22

Emanov A.F., Bach A.A., Emanov A.A.

Seismological engineering monitoring of buildings and structures: physical and mathematical foundations of the method, capabilities, results 34

Petukhova Zh.G., Petukhov M.V.

Successes and problems of the city of Norilsk, built on the latitudes of the Far North in the spread of permafrost 44

Mashkin N.A., Barteneva E.A., Petrov I.I.

Activation of cement binders in concrete technology in construction and reconstruction of buildings and structures in the Northern regions 47

Seredovich V.A.

3D and digital technology in road construction complex of Novosibirsk 54

Elesin M.A.

Production of concrete using sulfur for operation in the regions of the Far North 58

Gubina N.A.

Features of the transition of residential education to closed heat supply system 65

Hadbaatar A., Mashkin N.A., Molchanov V.S.

Prospects for the use of ash and slag waste from Mongolian CHP in road construction 72

Trofimov V.I.

Spiral technology for the construction of culverts with the installation of ventilation systems at the base of roads on frozen soils 77



Дубров Д.В.
*ректор ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*

**Уважаемые участники и гости I Научно-технической конференции с
международным участием
«Опыт и перспективы строительства, эксплуатации зданий
и сооружений на вечномёрзлых грунтах»!**

Норильский государственный индустриальный институт собрал российских и зарубежных ученых и специалистов для того, чтобы обсудить широкий спектр вопросов строительства и эксплуатации зданий в Арктике.

В современных условиях возрастает роль образования и науки в долгосрочном социально-экономическом развитии страны и региона, укреплении национальной безопасности. Во все времена Норильский индустриальный институт символизировал высокий уровень культуры, науки, выполняя просветительскую функцию.

Проведение в НГИИ такой конференции – это проявление активной патриотической заинтересованности профессорско-преподавательского состава и руководства вуза в преобразовании нашего института и Норильского промышленного района в целом.

Желаю участникам конференции конструктивного диалога, результативной работы, достижения поставленных целей. Важно, чтобы высказанные идеи обретали практическое воплощение на уровне государственных органов, научных, образовательных и общественных организаций.



Петухова Ж.Г.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ

АРКТИЧЕСКОГО МЕРЗЛОТНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА

Норильский промышленный район расположен на территории со сплошным распространением вечномерзлых грунтов мощностью до 150 м, слой сезонного оттаивания на застроенных территориях достигает в среднем 2–3 м. Здания и сооружения построены большей частью на сваях глубиной заложения от 8 до 40 м в зависимости от инженерно-геологических и мерзлотно-грунтовых условий. Большая часть жилых и административных объектов построены с учетом использования грунтов по I принципу, т.е. использование этих грунтов в процессе строительства и всего периода эксплуатации в мерзлом состоянии. Отопление грунтов приводит к неравномерным осадкам грунтовых оснований и, как следствие, к деформированию строительных конструкций.

В период строительства города Норильска основные инженерные проблемы решались достаточно успешно для своего времени. По истечении многих лет появились новые серьезные проблемы, связанные не только с эксплуатацией отдельных зданий и сооружений, но и с процессами, развивающимися на всей застроенной территории. На новом уровне возродились вопросы обеспечения устойчивости зданий и сооружений.

Поэтому необходимость и целесообразность создания **Арктического мерзлотного исследовательского центра** в городе Норильске очевидна.

До сих пор схожими проблемами занимался Норильский государственный индустриальный институт. Логично, что именно на его основе должен быть учрежден Арктический мерзлотный исследовательский центр. К тому же институт располагает исследовательской базой, которая на первых порах удовлетворит потребности Арктического центра.

Новой научной организации предстоит решать жизненно важные для города проблемы:

- создание геокриологической лаборатории – это мониторинг и изучение грунтовых оснований объектов обследований, изменения их в процессе эксплуатации на селитебных территориях;

- целевой мониторинг толщи вечномерзлых пород на застроенных территориях МО «город Норильск» – это **разработка и реализация проекта** сети опорных скважин глубокого заложения, что позволит осуществлять постоянный мониторинг толщи вечномерзлых грунтов на территории Норильска;

– геофизические исследования грунтовых оснований – получение объективной информации о распространении талых зон в плане и их мощности по глубине с достаточной степенью надежности; полученные данные позволят существенно снизить объемы и стоимость восстановительных работ, в частности по искусственному замораживанию грунтов;

– трансфер строительных технологий как основная задача – найти лучшие современные технологические и технические решения мирового уровня для стройки, капитальных ремонтов, отфильтровать их в соответствии с северными условиями;

– создание интерактивной карты Норильска;

– разработка нормативных актов (инструкции) по обеспечению безаварийной эксплуатации, несущей способности грунтовых оснований, устойчивости и долговечности фундаментов зданий и сооружений применительно к условиям Норильска для всех существующих на данный момент форм собственности.

Создание Арктического мерзлотного исследовательского центра – важный вклад в безопасность жителей Норильска, залог того, что в XXI в. город будет идти в ногу со временем.



Бакшеев Д.С.

*Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»*

УДК 624.154:624.139

СВАЙНОЕ ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЕ В КРИОЛИТОЗОНЕ

В статье приведены сведения о развитии различных способов и технологий устройства свайных фундаментов в криолитозоне. Показаны основные свайные технологии в Норильском промышленном районе. Сделаны выводы о том, что контроль и надзор за вентилируемыми подпольями под зданиями и сооружениями на свайных фундаментах в многолетнемерзлых грунтах должны быть такими же обязательными мероприятиями, как контроль и надзор за конструктивными элементами зданий и сооружений.

Ключевые слова: свайные фундаменты, криолитозона, Норильский промышленный район, многолетнемерзлые грунты.

Эволюция идеологии, конструктивных решений и эксплуатационных мероприятий в фундаментостроении на многолетнемерзлых грунтах длится немногим более века.

Первые сведения об особенностях возведения сооружений на вечной мерзлоте приведены в 1876 г. в статье горного инженера, географа, археолога Лопатина Иннокентия Александровича «Некоторые сведения о ледяных слоях в Восточной Сибири». Затем наиболее полно этот вопрос освещен профессором Николаевской инженерной академии Стаценко Вадимом Платоновичем в 1922 г. в Приложении к курсу «Части зданий», где впервые сформулирована идея о необходимости сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии путем устройства проветриваемого подполья.

К сожалению, первоначально идея осталась невостребованной, и поэтому первые каменные здания в Якутске в

начале XX в. возводились в соответствии с материковским опытом на ленточных фундаментах.

Подобные фундаменты не могли обеспечить устойчивости сооружений из-за негативного воздействия развивающихся криогенных процессов, таких как пучение при промерзании или осадка при оттаивании мерзлых грунтов основания, что приводило к деформации и разрушению сооружения.

По мере хозяйственного освоения районов распространения многолетнемерзлых грунтов разрабатывались и совершенствовались приемы строительства и конструктивные решения фундаментов на основе первого принципа строительства, т.е. с сохранением их естественного теплового состояния. Так, в Якутске в 1932–1936 гг. была построена Центральная электростанция на фундаментах в виде колонн с башмаками и проветриваемым подпольем.

Для того времени решение было революционным и послужило основой для разработки подобных методов фундаментостроения и для гражданских зданий, о чем говорит одна из статей основоположника инженерного мерзлотоведения Цытовича Николая Александровича (1947 г.). Однако устройство фундаментов в виде колонн с башмаками – трудоёмкий и дорогостоящий метод (большой объём земляных работ в мерзлых грунтах и выполнение сопутствующих мероприятий по сохранению их состояния).

Первые сваи при возведении зданий на вечномёрзлых грунтах с предварительным оттаиванием мерзлоты применили строители Воркуты в 1937 г.

В 1948 г. в Якутске идею применить в качестве фундаментов сваи, а для установки их в мерзлые грунты проводить предварительное локальное оттаивание с помощью паровой иглы предложил управляющий трестом «Якутстрой», член-корреспондент Академии архитектуры и строительства СССР Жорницкий Ефим Львович. Однако этот метод применим лишь в определенных грунтовых условиях: в дисперсных грунтах без включений относительно крупных обломков скальных пород или гравия.

В 1950-е гг. в Норильском промышленном районе успешно внедрен инженером-гидротехником Кимом Михаилом Васильевичем буроопускной метод устройства свайных фундаментов на основе бурения скважин станками ударно-канатного действия (в последующем использовалось и вращательное бурение). Затем железобетонные сваи устанавливали в скважины после заливки в них бурового шлама или специально приготовленного раствора для обеспечения полного контакта боковой поверхности сваи с вмещающим вечномёрзлым грунтом. За эту разработку группа норильских строителей и специалистов во главе с Кимом получили Ленинскую премию.

Позднее данная технология в различных вариантах стала применяться во всех районах распространения многолетнемерзлых грунтов в России и за рубежом.

На территории криолитозоны созданы и продолжают функционировать с разной степенью успешности крупные промышленные комплексы: Воркутинский, Магаданский, Норильский и Якутский, где накоплен уникальный опыт фундаментостроения. За почти сто лет освоения Севера использовались различные типы фундаментов зданий и сооружений, принципы и технологии их устройства.

В процессе устройства фундаментов зданий и сооружений многолетнемерзлый грунт выступает как:

- материал, разрабатываемый для устройства фундамента;
- материал, на который опирается фундамент сооружения;
- материал, с которым взаимодействует фундамент сооружения в процессе его эксплуатации.

Методология строительства фундаментов в грунтах криолитозоны заключается в использовании многолетнемерзлых грунтов как материала, основания и среды, вмещающей фундамент с сохранением естественного, предшествующего строительству, состояния грунтов: в грунтах с сезонным промерзанием необходимо не допускать промерзания грунтов оснований, находящихся в талом состоянии, а в многолетнемерзлых грунтах необходимо исключить их оттаивание.

Строительство фундаментов на территории распространения многолетнемерзлых грунтов сегодня регламентировано СН 25.13330.2012. «Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88», которые выделяют I и II принципы использования многолетнемерзлых грунтов оснований для фундаментов зданий и сооружений:

I принцип — многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения.

II принцип — многолетнемерзлые грунты основания используются в отепленном состоянии (предварительное оттаивание грунтов осуществляется до начала строительства фундаментов сооружения на расчетную глубину) или с допущением оттаивания в период эксплуатации объекта.

В районах сплошного и преимущественно сплошного распространения многолетней мерзлоты рекомендовано сохранять состояние грунта, т.е. строительство фундаментов осуществлять по I принципу СНиП.

В районах спорадической, редкоостровной и островной мерзлоты необходимости в сохранении многолетнемерзлого состояния грунтов нет, и здесь строительство фундаментов рекомендовано осуществлять по II принципу СН.

Сложившаяся практика фундаментостроения в отдельных регионах Севера свидетельствует о предпочтении свайных методов фундаментостроения как наиболее экономичных и универсальных.

Строители Норильского района в основном используют буроопускной способ устройства свайных оснований из свай-стоек, опираемых на скальный грунт и висячих свай, вмороженных в вечную мерзлоту (глубина до 15–20 м); буронабивной способ устройства висячих свай с увеличенной статической нагрузкой и буронабивной способ устройства свай-стоек при наличии подстилающего слоя талого грунта и опирании на скальный грунт глубиной до 20–40 м. Строительство выполняют по I принципу СН (рис. 1).

Воркутинские и магаданские строители применяют преимущественно висячие сваи, устраиваемые по бурозабивной технологии с допущением оттаивания многолетнемерзлых грунтов в процессе

строительства и эксплуатации сооружения (II принцип СН).

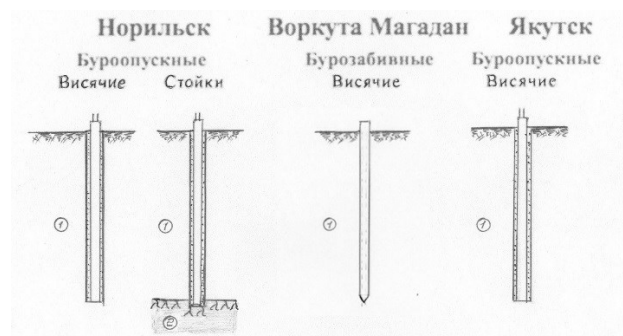


Рис. 1. Типы свай северных территорий

Якутские строители используют главным образом буроопускной способ устройства висячих свай при строительстве по I принципу СН и практически отказались от применения опускного способа фундаментостроения (с предварительным оттаиванием грунта паром).

Эти традиционные предпочтения технологий фундаментостроения и принципов использования грунтов криолитозоны в качестве оснований фундаментов необходимо учитывать при освоении территорий Севера.

Независимо от принятого принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания предусматриваются мероприятия по инженерной подготовке территории строительства, основная цель которых — сохранение сложившейся геокриологической ситуации. Главное здесь — свести к минимуму работы по выемке, производя вертикальную планировку преимущественно подсыпками. Основным мероприятием, обеспечивающим сохранность температурного режима грунтов оснований, является устройство холодного (проветриваемого) и проходного подполья сооружения, высота которого должна быть не менее 1,4 м. Кроме главной цели недопущения оттаивания многолетнемерзлого грунта, это обеспечивает возможность прокладки и эксплуатации инженерных сетей под сооружением и устройство водонепроницаемого покрытия (в основном асфальта) под

всем сооружением. Уклон покрытия должен быть выполнен наружу от центра объекта с таким расчетом, чтобы он переходил в уклон отмостки вокруг сооружения.

Для того чтобы передать нагрузку от сооружения на грунты оснований одних свай недостаточно. Необходимо устройство так называемого нулевого цикла – это часть сооружения, расположенная ниже нулевой отметки, т.е. до уровня чернового пола первого этажа. Нулевой цикл включает свайный фундамент, состоящий из свай, объединяющего их ростверка, и железобетонные плиты цокольного перекрытия.

Сваи в плане характеризуются одиночным, рядовым (рис. 2), кустовым (рис. 3) расположением и имеют напрягаемую продольную рабочую арматуру с поперечным расположением фиксирующих хомутов. Ростверки изготавливаются, как правило, из монолитного железобетона. В северных и арктических районах криолитозоны в настоящее время применяют только свайные фундаменты, а в южной части криолитозоны, помимо свайных, – столбчатые и ленточные.



Рис. 2. Рядовые сваи в г. Норильске

Основной материал свай – железобетон и металл (трубы, прокат). Для сооружений вспомогательного назначения могут быть использованы деревянные сваи.

По конструкции все железобетонные сваи можно подразделить на следующие виды: предварительно изготовленные в

заводских условиях и затем погружаемые в грунт (буроопускные сваи квадратного и круглого сечения, пустотелые сваи-оболочки) и сваи, которые изготавливаются в многолетнемерзлом грунте (буронабивные); комбинированные (сборно-монолитные) сваи, нижняя часть которых – монолитный бетон или железобетон, а верхняя – изготовленная в заводских условиях железобетонная свая.



Рис. 3. Кустовые сваи

Наиболее распространены сваи квадратного сечения со стороной от 250 до 500 мм. Наружный диаметр полых круглых свай-оболочек – от 500 до 1000 мм (в отдельных случаях диаметр может быть и больше). Поверхность железобетонных свай ровная. Нижний торец буроопускных и буродобивных свай плоский, а нижняя часть опускных, бурозабивных и забивных свай имеет острый конец. Длина свай заводского изготовления по условиям их транспортировки не может превышать 10–12 м. Поэтому при больших глубинах погружения применяют их стыкованные конструкции. Количество стыков на каждой свае ограничено двумя, следовательно, глубина погружения свай не может быть более 30–36 м. Основным способом проходки скважин в многолетнемерзлых грунтах является ударно-канатное бурение (более 80%), поскольку оно дает возможность проводить буровые работы практически в любых геокриологических условиях и проходить даже завалуненные и скальные

грунты. Затем следует ударно-вращательное бурение и лидерная проходка скважин для устройства бурозабивных свай.

Буроопускной способ заключается в следующем. На полную глубину установки сваи пробуривается скважина диаметром, большим максимального поперечного размера сваи не менее чем на 5 см. После этого проводят чистку забоя скважины, заливку в скважину специального раствора на цементно-песчаной, реже известково-песчаной или глинисто-песчаной основах; погружение сваи под действием собственного веса в скважину (при этом раствор выдавливается вверх, плотно и без пустот замоноличивая сваю); стыковку секций сваи по мере необходимости. Затем происходит смерзание замоноличивающей сваю раствора с многолетнемерзлым грунтом (рис. 4).



Рис. 4. Буроопускной способ

Для бурозабивного способа характерны: проходка скважины диаметром, меньшим минимального поперечного размера сваи (для квадратной сваи диаметр скважины должен быть меньше боковой стороны сваи не менее чем на 1–2 см); принудительная забивка нижней секции сваи с острым концом; стыковка сваи по мере необходимости и дальнейшая забивка на проектную глубину; вмерзание сваи в многолетнемерзлый грунт.

При буронабивном способе выполняются следующие операции: проходка скважины необходимого диаметра (чаще всего 600–800 мм) на расчетную

глубину; чистка забоя скважины, заполнение скважины специальным бетоном (как правило, с химическими противоморозными добавками), обеспечивающим его твердение в контакте с многолетнемерзлым грунтом методом термоса; остывание бетона и его вмерзание в многолетнемерзлый грунт, окружающей сваю. Свая армируется перед заполнением бетоном, как правило, установкой готовых арматурных каркасов с продольной рабочей арматурой (рис. 5).

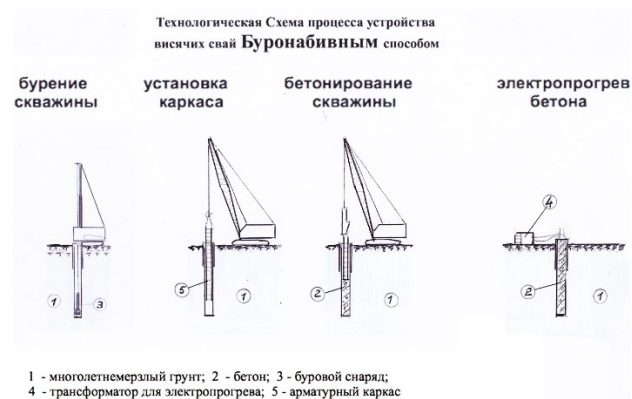


Рис. 5. Буронабивной способ

Верхняя часть сваи на высоту сезонного промерзания, но не менее чем 3 м, во время набора прочности прогревается с помощью электропрогрева. Также используется комбинированный метод, когда верхняя часть сваи выполняется из железобетонной сваи заводского изготовления, заземляемой в свежееуложенный бетон (рис. 6).



Рис. 6. Подача бетона в скважину буронабивным способом

Буродобивной способ применяется в сложных инженерно-геокриологических условиях, характеризующихся наличием верхнего мерзлого слоя грунта, подстилаемого грунтом талого состояния и далее скальным и практически несжимаемым грунтовым основанием. Способ основан на проходке скважины в мерзлом слое грунта диаметром, большим максимального поперечного размера сваи не менее чем на 5 см (как и при буроопускном способе); принудительном погружении стыкованных секций сваи в нижележащий талый слой грунта (нижняя секция сваи имеет плоский торец) до упора в практически несжимаемое основание; заливке пазух между свайей и стенками скважины буровым обогащенным шламом или специальным раствором; смерзании околосвайной среды с мерзлым грунтом (рис. 7).



Рис. 7. Буродобивной способ

Для опускного способа необходимо выполнить: предварительное оттаивание (пропаривание) многолетнемерзлого грунта на полную глубину погружения сваи (поперечник зоны оттаивания – более двух поперечников сваи); сбрасывание (принудительное погружение) сваи с острым торцом в оттаянную зону на глубину пропаривания грунта; обеспечение вертикального положения сваи с помощью лебедок в процессе длительного (до нескольких месяцев) ее вмерзания.

Забивной способ применяется только в грунтах без валунных включений,

имеющих близкую к нулю температуру (в южной части криолитозоны), и заключается в принудительном погружении сваи забивкой или вибрированием до получения расчетного отказа или достижения заданной глубины погружения. По сути, это способ погружения свай в талые грунты.

Бурообсадной способ погружения полых свай и свай-оболочек с ножевым кольцом, применяемый в гидротехническом строительстве, включает следующие операции: разбуривание забоя через полость сваи с периодическим обсаживанием секций свай-оболочек и погружение их до расчетной глубины. Затем полость сваи заполняется бетоном (при необходимости верхняя часть армируется).

Для защиты буровых скважин от обводнения и обваливания верхнего насыпного слоя грунта, выполненного в целях инженерной подготовки строительной площадки, широко используются металлические обсадные трубы, которые подлежат извлечению после установки сваи (рис. 8, 9).



Рис. 8. Обсадные трубы

К материалу железобетонных фундаментов в грунтах криолитозоны, помимо прочностных свойств, предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости, особенно важные в слое сезонного оттаивания грунтов, где процесс морозной деструкции (разрушения) бетона протекает более интенсивно.

Конструктивная схема работы

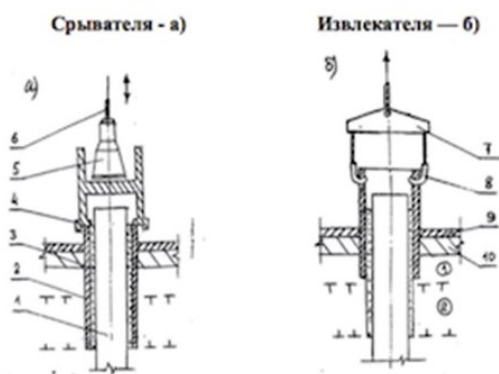


Рис. 9. Извлечение обсадных труб: 1 – свая; 2 – обсадная труба; 3 – раствор; 4 – срыватель; 5 – снаряд бурового станка; 6 – канат бурового станка; 7 – трос; 8 – крюки тросов; 9 – водонепроницаемый слой; 10 – подстилающий слой

Основополагающие исследования в инженерном мерзлотоведении, позволившие разработать свайные способы устройства фундаментов в многолетнемерзлых грунтах, в разные годы были выполнены Сумгиным М.И., Цытовичем Н.А., Мельниковым П.И., Швецовым П.Ф., Докучаевым В.В., Вяловым С.С., Кудрявцевым В.А., Достоваловым Б.Н., Порхаевым Г.В., Поповым А.И., Ершовым Э.Д., Войтковским К.Ф., Гречищевым С.Е., Салтыковым Н.И. и др. Вопросами дальнейшего теоретического и практического развития свайного фундаментостроения в криолитозоне занимались следующие ученые и инженеры: Бакакин В.П., Березовский Б.И., Велли Ю.Я., Власов В.П., Гончаров Ю.М., Ганичев И.А., Каменский Р.М., Ким М.В., Коновалов П.А., Бахолдин Б.В., Конаш В.Е., Хрусталев Л. Н., Перльштейн Г.З., Полуэктов В.Е., Растегаев И.К., Садовский А.В., Сиванбаев А.В., Смородинов М.И., Бакшеев Д.С., Неклюдов В.С., Бандос А.П., Хлопук Л.Ю., Прохорчук Е.Ф., Евстафьев Д.В., Мамалыга Н.И. и др.

В Норильске в 1980-е–90-е гг. в результате исследований, выполненных под руководством Растегаева Игоря Константиновича, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, заслуженного ин-

женера России, специалистами Норильского отдела Института Красноярскпромстройинипроект, Норильской геокриологической лаборатории Игарской мерзлотной станции Якутского института СО (АН СССР) РАН, Управления строительства НГМК, Норильского специализированного управления треста «Гидроспецфундаментстрой», были разработаны региональные нормативные документы по всем используемым свайным технологиям и методам, которые действуют до сих пор.

Сегодня можно уверенно утверждать, что в любых геокриологических условиях есть возможность подобрать самый эффективный и экономичный способ устройства свайного фундамента, будь то сплошная, островная мерзлота или слоистый пирог из мерзлых и талых грунтов с залеганием практически несжимаемого грунта на любой глубине. Так называемых «белых пятен», на которых, как считалось 30–40 лет назад, возвести фундаменты невозможно и эти районы обходили стороной, больше не существует.

Весь вопрос в экономической целесообразности и необходимости. Существует реальная техническая возможность и комплект нормативно-технической документации для возведения фундаментов в любых условиях.

В современном мире повсюду витает словосочетание «устойчивое развитие». Отдавая дань этому модному понятию, автор сформулировал мысль, что отечественный опыт устройства самого оптимального, универсального и рационального свайного способа фундаментостроения в криолитозоне является одним из факторов устойчивого развития, по крайней мере, Российского государства, обеспечивая уверенное строительное освоение северных территорий, которое необходимо России и всему миру для получения полезных ископаемых, в свою очередь, необходимых для поддержания

человеческой цивилизации на достигнутом технологическом уровне и его дальнейшего развития.

Все достижения науки и инженерной практики предыдущих поколений в этой области могут быть перечеркнуты угрозой глобального потепления (а лучше, просто говорить, реального потепления), которое может привести к оттаиванию многолетнемерзлых грунтов и потери ими своей несущей способности. Кроме того, есть известный фактор растепления многолетнемерзлых грунтов вследствие утраты элементарной эксплуатационной технологической дисциплины в масштабах региона или промышленного района. Сегодня владельцы крупных промышленных комплексов, расположенных в криолитозоне, к сожалению, не представляют угрозы катастрофы, которая может произойти в результате растепления мерзлоты, независимо от причин. Примерно 60% предприятий и жилого фонда Норильска, 100% Якутска, 30% Воркуты и Магадана стоят на висячих сваях, вмороженных в многолетнемерзлый грунт. Сваи-стойки большой глубины, опирающиеся на скальный грунт и в то же время вмороженные в многолетнемерзлый грунт, в результате растепления вмещающих их мерзлых грунтов, могут просто потерять продольную устойчивость. Никаких серьезных научно-исследовательских работ в связи с этой угрозой не выполняется. За последние 15 лет демонтированы жилые дома на ул. Лауреатов в г. Норильске из-за растепления и потери несущей способности многолетней, пусть «вялой», но мерзлоты. Есть реальная угроза потерять Российский промышленный Север. На взгляд автора, здесь нужна серьезная государственная законодательная

политика как принуждения, так и поддержки.

Прежде всего, необходимо навести эксплуатационный порядок и дисциплину, не допускать проливов воды и теплоносителя в подполья, отремонтировать водонепроницаемые покрытия и забирки с учетом отверстий и проемов для вентиляции в зимнее время и укрытия в летнее. Этим вопросам надо уделять такое же внимание, как, скажем, к вопросам контроля за состоянием несущих конструкций зданий и сооружений.

Кроме того, необходимо обеспечить финансирование научно-исследовательских работ по разработке стратегии и тактики нейтрализации угрозы глобального потепления и, как следствие, растепления многолетнемерзлых грунтов, на которых расположены основные производственные фонды северной промышленности России. Возможен вариант совместного финансирования государства и компаний. Также не исключается возможность междисциплинарного подхода. Допустим, ученые и инженеры в строительном материаловедении и инженерном мерзлотоведении могут объединить свои потенциал и опыт и, представляя многолетнемерзлый грунт как материал, подобрать необходимые добавки, которые с помощью инъекций смогут изменить структуру околосвайного грунта и не дать ему потерять устойчивость в момент оттаивания. В то же время необходимы исследования, которые могут внести коррективы в технологию свайных работ в криолитозоне, например, в плане подбора специального раствора для заполнения пазух между свай и стенками скважины с учетом возможного будущего оттаивания многолетнемерзлого грунта.



Елесин М.А.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*

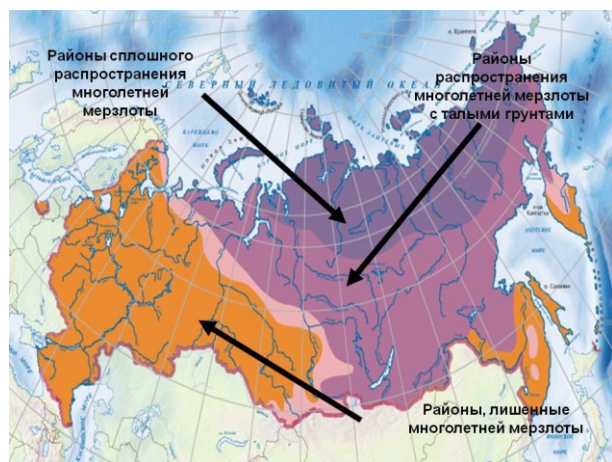
УДК 001.89:551.345:378(571.511)

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ МЕРЗЛОТНОЙ ЛАБОРАТОРИИ И ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ЕЕ РАЗВИТИЯ

В России 65% территории составляют районы многолетней мерзлоты. В г. Норильске первая мерзлотная лаборатория была создана при геологическом управлении «ГМК «Норильский никель» в 1936 г. Основной задачей деятельности созданной при АМиЦ мерзлотной лаборатории является проведение научных исследований по проблеме обеспечения надежности зданий и сооружений, расположенных в зоне распространения мерзлоты.

Ключевые слова: мерзлотная лаборатория, испытание грунтов, оборудование для испытания грунтов, многолетняя мерзлота.

Мерзлота занимает не менее 25% площади всей суши земного шара. В России 65% территории составляют районы многолетней мерзлоты (рис. 1).



**Рис. 1. Районы распространения
многолетней мерзлоты**

Наиболее широко распространена вечная мерзлота в Восточной Сибири и Забайкалье. Самый глубокий предел многолетней мерзлоты отмечается в верховьях реки Вилюй в Якутии. Рекордная глубина залегания многолетней мерзлоты составила 1 370 м. Город Норильск

входит в районы многолетней мерзлоты с тальми грунтами.

История развития мерзлотных лабораторий в г. Норильске. В 1931 г. в Игарке была открыта научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения Сибирского отделения АН СССР. В 1965 г. в одном из подземных помещений станции был открыт единственный в мире уникальный музей вечной мерзлоты.

Своя мерзлотная лаборатория появилась и в Норильске. Она была создана при геологическом управлении комбината в 1936 г. Лаборатория занималась, в частности, разработкой новых методов строительства в условиях вечной мерзлоты.

Первым зданием, построенным в г. Норильске по методу свайного фундаментирования, стал возведенный в 1937 г. кирпичный завод.

В 1966 г. одиннадцать норильчан были удостоены Ленинской премии за «внедрение прогрессивных индустри-

альных методов при строительстве заполярного Норильского комбината и города Норильска в условиях вечномёрзлых грунтов и сурового климата».

В семидесятых годах прошлого века годах полигон мерзлотной лаборатории размещался в районе будущей ул. Лауреатов. Там моделировалось поведение свай в различных условиях, в разных грунтах под разными нагрузками. На базе мерзлотной лаборатории комбината в 1997 г. было решено объединить технадзоры Норильскбыта и Дудинкабыта, геокриологическую лабораторию ГМОИЦ и гидротехническую службу комбината. В результате было создано управление по надзору за состоянием оснований и фундаментов.

Обоснование возникновения новой оснащенной мерзлотной лаборатории на базе ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт». По данным исследований научно-исследовательской лаборатории Глобальных проблем энергетики Московского Энергетического Института, изменение среднегодовых температур за последние 100 лет на Таймыре составило от 1,5 до 2 °C (рис. 2).

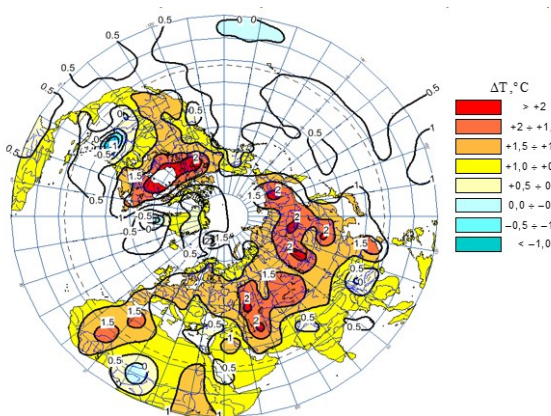


Рис. 2. Изменение среднегодовых температур Северного полушария 1994–2009 гг. по сравнению с 1911–1930 гг.

Изменение средних летних и осенних температур в Норильском промышленном районе составило приблизительно 0,5–1,0 °C (рис. 3, 4).

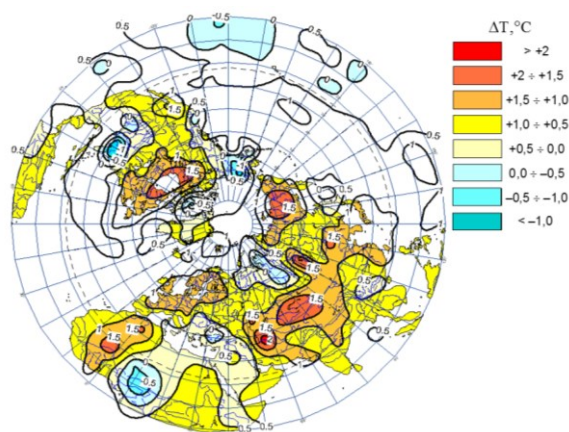


Рис. 3. Изменение средних осенних температур Северного полушария 1994–2009 гг. по сравнению с 1911–1930 гг.

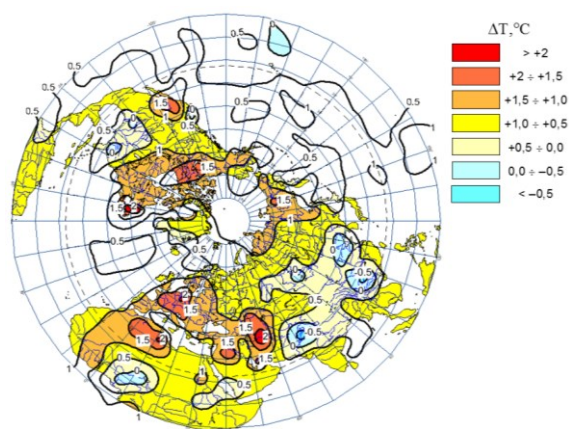


Рис. 4. Изменение средних летних температур Северного полушария 1994–2009 гг. по сравнению с 1911–1930 гг.

Изменение весенних средних температур до 2 °C (рис. 5) и особенно средних зимних температур были более существенными для Норильска и достигают до +2,5 °C (рис. 6). Изменение климата вызывает деградацию мерзлоты (рис. 7). По прогнозам исследователей Норильск входит в полосу с поверхностной деградацией сплошной мерзлоты к 2150 г.

Выводы исследователей [1]: потепление приведет к значительной деградации или исчезновению вечной мерзлоты на территории более 3,6 млн. км² (Республика Коми, Ханты-Мансийский АО, Красноярский край, Читинская область и др.) к 2050 г. и 5,6 млн. км² к 2150 г. На этой территории должна быть полностью заменена инфраструктура, возведенная по традиционным принципам.

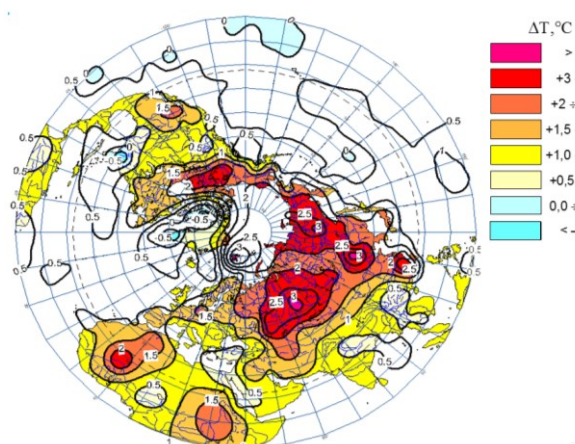


Рис. 5. Изменение средних весенних температур Северного полушария 1994–2010 гг. по сравнению с 1911–1930 гг.

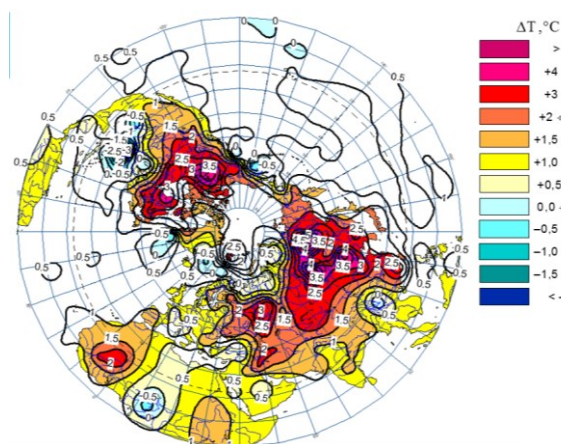


Рис. 6. Изменение средних зимних температур Северного полушария 1994–2010 гг. по сравнению с 1911–1930 гг.

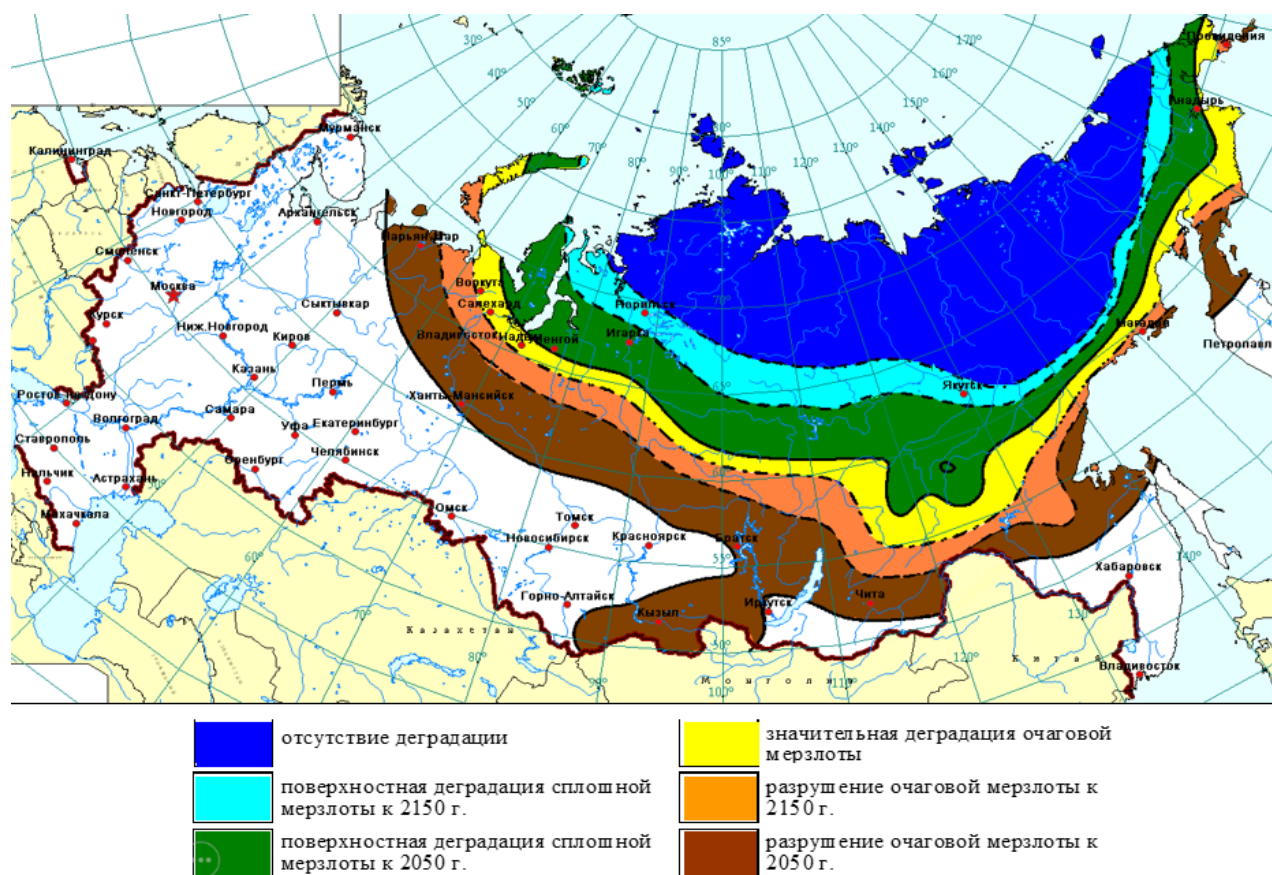


Рис. 7. Деградация мерзлоты на территории России в 1950–2150 гг.

Основной задачей деятельности лаборатории является проведение научных исследований по проблеме обеспечения надежности зданий и сооружений, расположенных в зоне распространения мерзлоты.

Основные направления научных исследований следующие:

— проведение экспериментально-теоретических исследований теплового и механического взаимодействия зданий и сооружений с мерзлыми и талыми грунтами;

– оценка и управление надежностью геотехнических систем в районах распространения многолетнемерзлых грунтов;

– прогноз геокриологических последствий глобального потепления климата и их учет при проектировании зданий и сооружений;

– экспериментальная оценка инновационных технологий и конструкций инженерных сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов;

– участие в разработке нормативной базы проектирования и строительства строительных объектов на многолетнемерзлых грунтах;

– экспертиза проектов зданий и сооружений;

– обеспечение процесса подготовки научно-педагогических кадров современной научно-технической базой в области проектирования и строительства объектов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов;

– повышение научного уровня обучения студентов, аспирантов и повышения квалификации специалистов.

Для решения поставленных задач научно-исследовательская Мерзлотная лаборатория должна быть оснащена современным автоматизированным лабораторным оборудованием для проведения испытаний мерзлых и оттаивающих грунтов, а также материалов, использующихся на Крайнем Севере (рис. 8).



Рис. 8. Приобретаемое современное оборудование

Были сделаны заявки по приобретению универсальных испытательных комплексов АСИС: компрессионно-фильтрационные испытания (рис. 9).

Такие комплексы позволяют проводить испытания в соответствии международными требованиями с различными методами:

- компрессионное сжатие по ГОСТ 12248–2010;

- с измерением боковых напряжений;
- методом релаксации напряжений;
- с контролем порового давления;
- испытания на просадочность;
- испытания на набухание;
- фильтрационные испытания.

Благодаря модульности комплексов можно изменять нагрузки и давление:

- вертикальная нагрузка – 10,30 кН;
- боковое, обратное и поровое давление – до 2 Мпа;

- вертикальные деформации – до 10 мм;
- диаметр образцов – 71,4 или 67 мм.

В состав установки входят: силовая рама, устройство компрессионного сжатия, нагнетатель, электронно-измерительная система (рис. 9).



Рис. 9. Состав установки компрессионно-фильтрационных испытаний

Благодаря модульности АСИС, на установке также можно проводить испытания: на трехосное (объемное) сжатие, сдвиговые испытания грунтов и испытания на морозное пучение (рис. 10).



Рис. 10. Другие возможности испытания на установке

Кроме того, был заказан прибор одноплоскостного среза для испытания мерзлых грунтов (рис. 11):

- на срез по поверхности смерзания;
- на определение касательных сил морозного пучения;
- на сдвиг по поверхности смерзания;
- для реализации статического и кинематического режимов силового воздействия с контролем напряжений и деформаций;
- для измерения деформаций среза.



Рис. 11. Прибор одноплоскостного среза для испытания мерзлых грунтов

Также заказан прибор одноосного сжатия (рис. 12) и прибор для испытания мерзлых грунтов природного и нарушенного сложения шариковым штампом (рис. 13).



Рис. 12. Прибор одноосного сжатия автоматизированный для испытания мерзлых грунтов



Рис. 13. Прибор автоматизированный для испытания мерзлых грунтов шариковым штампом

Все приборы могут быть подключены одновременно к единому блоку электроники и обрабатываться автоматически специальным программным обеспечением Geotek Studio (рис. 14).

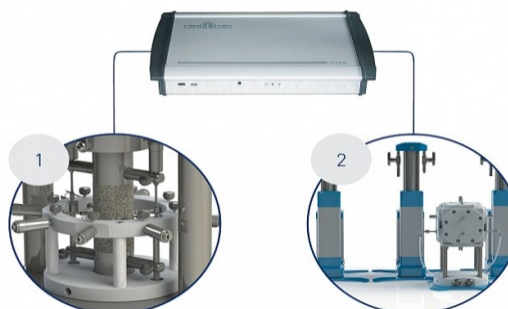


Рис. 14. Подключение к блоку электроники

Были закуплены камеры морозильные низкотемпературные марки «Полар» для размещения криотермостатов, испытательных и измерительных приборов, хранения и подготовки образцов к испытаниям; переносные холодильники и криотермостаты для хранения образцов; аппарат для регистрации температуры замерзания и оттаивания проб и построения термограмм.

В дальнейших планах лаборатории – введение в эксплуатацию нового оборудования, участие в аккредитации лаборатории, участие в грантах и выполнение новых научно-исследовательских работ, повышение научного уровня обучения студентов, магистров, аспирантов.

АМиЦ планирует сотрудничать со всеми заинтересованными сторонами:

1) структурными подразделениями ПАО «ГМК «Норильский никель»;

2) Администрацией г. Норильска.

3) учебными вузами (НГТУ, НГАСУ, МГУ, ТПИ, ТГУ и т.д.);

4) научно-производственными предприятиями ННП и России;

6) НИИОСП им. М.Н. Герсевича;

7) институтом мерзловедения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения и другими подразделениями Российской академии наук.

АМиЦ уже сотрудничает с Uarctic (Университет Арктики (тематическая сеть Вечная мерзлота)).

Мерзлотная лаборатория планирует наладить тесную связь с Международной ассоциацией по мерзловедению (IPA), Копенгагенским университетом (Дания), Оттавским университетом (Канада).



Скляров Л.А.
*ООО «Сибирский центр экспертиз
и оценки соответствия»*

УДК 69.03.004.58

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РАМКАХ ТРЕБОВАНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКОНА №384–ФЗ «ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ» И ГОСТ 31937–2011 «ПРАВИЛА ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ»

Одним из главенствующих условий поддержания зданий и сооружений в эксплуатационно-пригодном состоянии является своевременное выявление и локализация дефектов и повреждений, а также проведение комплекса мероприятий по предупреждению возникновения дефектов. Своевременная диагностика совместно с микросейсмодиагностикой и приборным мониторингом зданий и сооружений позволит не только выявлять появляющиеся дефекты, но и своевременно принимать меры по их локализации.

Ключевые слова: техническое обследование, мониторинг зданий, стоячие волны, многолетняя мерзлота, федеральный закон, современные технологии.

Область вечной мерзлоты занимает две трети площади нашей страны. Здесь работают комбинаты, шахты и карьеры, проложены дороги, построены порты и аэродромы. На вечных льдах стоят целые города, в которых строительство каждого дома можно считать подвигом. Создание и поддержание комфортных условий для людей, проживающих в данных природно-климатических условиях, является одним из обязательных и первостепенных условий дальнейшего развития этого региона. В связи с этим стоит обратить пристальное внимание на то, что многие здания и сооружения, построенные в г. Норильске, имеют значительный срок эксплуатации и требуют

принятия определенных мер для поддержания их в работоспособном состоянии.

Одним из главенствующих условий поддержания зданий и сооружений в эксплуатационно-пригодном состоянии является своевременное выявление и локализация дефектов и повреждений, а также проведение комплекса мероприятий по предупреждению возникновения дефектов. В связи с этим решение задачи сохранности эксплуатируемых в условиях вечной мерзлоты зданий и сооружений весьма актуальна.

При решении этой задачи необходимо принимать во внимание тот факт, что все процессы, которые способны привести как отдельные строительные конструкции здания, так и всё здание в

целом из эксплуатационно-пригодного состояния в аварийное, в условиях климатической зоны, расположенной в области вечной мерзлоты, протекают значительно быстрее, чем при других нормальных условиях эксплуатации. В связи с этим работы по проведению технического обследования зданий и сооружений (диагностирование) являются крайне неотложными и должны проводиться более тщательно и подробно.

С целью узаконивания мероприятий по контролю состояния зданий и сооружений на протяжении всего жизненного цикла – от проектной разработки до вывода из эксплуатации – был разработан и введен Федеральный закон №384–ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30 декабря 2009 г., который принят в целях:

- 1) защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- 2) охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений;
- 3) предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей;
- 4) обеспечения энергетической эффективности зданий и сооружений.

В развитие ФЗ №384 был разработан и введен ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который является нормативной основой для контроля степени механической безопасности и осуществления проектных работ по повышению степени механической безопасности зданий и сооружений, а также регламентирует требования к работам и их составу по получению информации, необходимой для контроля и повышения степени механической безопасности зданий и сооружений.

Согласно п. 4.3 ГОСТ 31937–2011, «первое обследование технического состояния зданий и сооружений проводится **не позднее чем через два года после их ввода в эксплуатацию**. В дальней-

шем обследование технического состояния зданий и сооружений проводится **не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в пять лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов**, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.)», т.е., все здания и сооружения, расположенные в области вечной мерзлоты, подлежат обязательному комплексному техническому обследованию не реже чем **один раз в пять лет**, а для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга.

Согласно ГОСТ 31937–2011, «цель комплексного обследования технического состояния здания (сооружения) заключается в определении **действительного** технического состояния здания (сооружения) и его элементов, получении количественной оценки фактических показателей качества конструкций (прочности, сопротивления теплопередаче и др.) с учетом изменений, происходящих во времени, для установления состава и объема работ по капитальному ремонту или реконструкции».

Если рассматривать вопрос необходимости проведения технического обследования зданий и сооружений исходя из вопросов конструктивной безопасности зданий и сооружений, то можно констатировать следующее.

Конструктивная безопасность во время эксплуатации – это способность силового сопротивления конструкций зданий и сооружений, значение которого в процессе эксплуатации изменяется (как правило, снижается). Это чаще всего обусловлено влиянием предыстории существования здания или сооружения – величиной, характером и продолжительностью предшествующих нагрузок; износом и повреждением материалов, связей, узлов; эволюционной (или внезапной) трансформацией граничных условий; режимом текущих

нагружений (т.е. условиями эксплуатации).

При проведении технического обследования зданий и сооружений специалистами, прежде всего, учитываются условия эксплуатации объекта, т.е. по факту изучаются и анализируются все факторы, влияющие на конструктивную безопасность здания сооружения с целью подтверждения степени надёжности обследуемого объекта. Под надёжностью понимают свойство конструкций зданий сохранять свои эксплуатационные показатели (обеспеченная безопасность и комфортабельность проживающих или работающих в них людей, отсутствие отрицательного влияния на технологический процесс, на работу машин и оборудования) в течение запроектированного (теоретического) срока службы. Практика эксплуатации зданий показывает, что проблема сохранности надёжности (проектных параметров) строительных конструкций в процессе эксплуатации является весьма актуальной, а любые изменения параметров надёжности конструкций должны быть своевременно выявлены и устранены, что и является основной целью и задачей технического обследования.

Как показывает практика, только при **комплексном обследовании технического состояния** здания и сооружения полученной информации достаточно для определения что необходимо выполнять дальше: или достаточно реконструкции здания и его отдельных частей, или необходим капитальный ремонт всего объекта.

К сожалению, требования ФЗ и ГОСТ по выполнению комплексного технического обследования в полном объеме редко исполняются либо исполняются в крайне ограниченной форме, ссылаясь на отсутствие финансирования. Вследствие этого в подавляющем большинстве случаев своевременно не представляется возможным выявить появившиеся дефекты, и повреждение строительных конструкций активно развивается. В

итоге остается констатировать частичную утрату, а в ряде случаев и полную потерю эксплуатационных характеристик конструкции. Когда это касается основных несущих и ограждающих конструкций здания или сооружения – объект уже переходит в аварийное состояние, которое тянет за собой выполнение дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ, а порой вывод из эксплуатации и снос объекта.

Если посмотреть на диаграмму (рис. 1), то можно видеть, что основная доля аварий приходится на нарушения правил технической эксплуатации зданий и сооружений, а также на нарушения требований нормативных документов и отступление от проектных решений при выполнении строительно-монтажных работ. Если рассмотреть данный вопрос в плоскости своевременного технического диагностирования, то можно говорить о том, что причиной аварии является несвоевременное выявление и локализации дефектов.

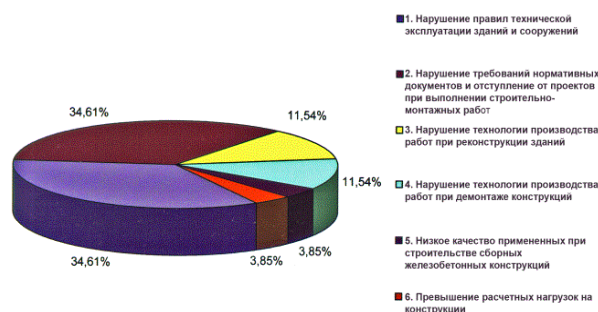


Рис. 1. Диаграмма причин возникновения дефектов

Особо важен вопрос технического обследования зданий и сооружений для зданий и сооружений жилого сектора и объектов социальной сферы, где видна преобладающая доля аварий.

Необходимо заметить, что при проведении обследования подавляющее большинство организаций выполняют работы по техническому обследованию, основываясь на классические методы, которые сводятся к выявлению явно выраженных дефектов. Касаясь приборной базы, всё сводится к скудному перечню

оборудования, а порой и того меньше: фотоаппарат и какой-нибудь измерительный инструмент. Естественно, что по результатам такой работы нормальное прогнозирование развития дефектов невозможно. Как видно из представленных ниже графических данных (рис. 2), проблематика грамотного и своевременного диагностирования весьма актуальна, а современными методами и приборами тем более.

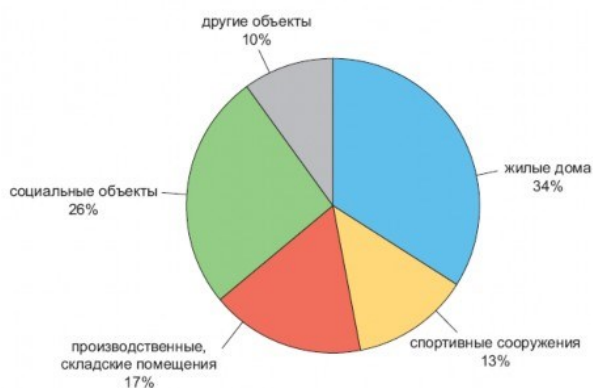


Рис. 2. Диаграмма функциональной принадлежности зданий

Примеры современных технологий при проведении технического обследования зданий и сооружений. Нормативные требования и практика применения

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в зоне вечной мерзлоты связаны с весьма значительными трудностями. И это обусловлено не только проблемами работы фундаментов в вечномерзлых грунтах, но и непосредственно суровыми климатическими условиями, которым вынуждены противостоять все составляющие строительных конструкций зданий и сооружений. При наличии таких негативных факторов воздействия на строительные конструкции для поддержания зданий и сооружений в работоспособном состоянии их своевременная диагностика (техническое обследование) является не просто обязательной процедурой, но и жизненной необходимостью. Рассмотрим наиболее современные приборы и технологии,

способные помочь при проведении технического обследования объектов.

Как уже говорилось выше, комплекс работ по техническому обследованию зданий и сооружений регламентирован требованиями ГОСТ 31937–2011 и СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

Согласно п. 3.20 ГОСТ 31937–2011, предписывается диагностировать динамические параметры зданий (сооружений).

Динамические параметры зданий (сооружений) – «параметры зданий и сооружений, характеризующие их динамические свойства, проявляющиеся при динамических нагрузках, и включающие в себя периоды и декременты собственных колебаний основного тона и обертонов, передаточные функции объектов, их частей и элементов и др.

Текущие динамические параметры зданий (сооружений) – динамические параметры зданий и сооружений на момент их обследования или проводимого этапа мониторинга».

Для исследования текущих динамических параметров зданий (сооружений) наиболее приемлем и актуален метод **микросейсмодиагностики** (рис. 3).

Пример 1. КХЗ, Корпус 202 (рис. 4). В процессе динамического испытания строительной конструкции производится:

- определение жесткости (прочности) конструкции;
- определение упругих свойств материала конструкций;
- определение предельного динамического силового воздействия:
 - сейсмическое воздействие;
 - ветровое воздействие;
- определение условий закрепления (для конструкций башенного типа) с грунтом;
- определение износа несущих конструкций;

- определение прогибов и деформаций при заданном динамическом воздействии;

- определение потенциальных деформатных зон в конструкции.

Исходные измеряемые величины:

- собственные частоты свободных колебаний конструкции;

- эпюры собственных форм конструкции;

- логарифмический декремент затухания;

- поляризационные, статистические и корреляционные характеристики колебаний конструкций.



Рис. 3. Прибор для проведения микросейсμοдиагностики

В качестве примера можно привести результаты нескольких обследований, выполненных с применением методики микросейсμοдиагностики.

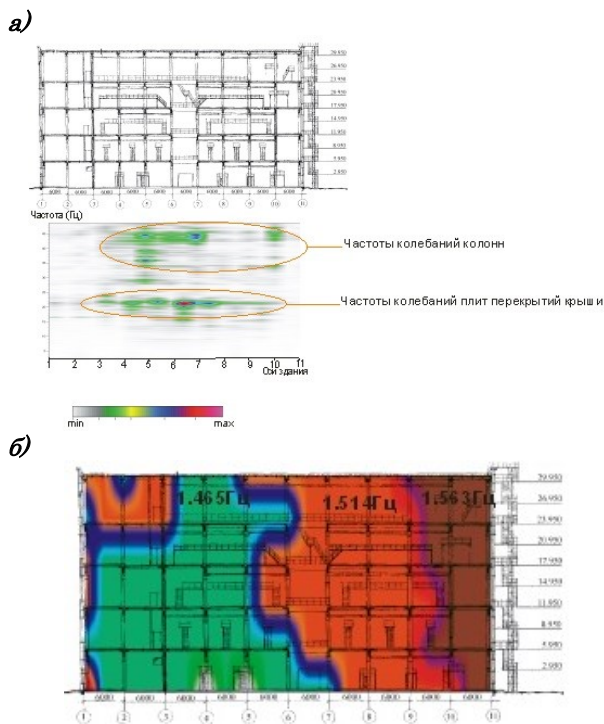


Рис. 4. КХЗ, корпус 202: а – собственные частоты колебаний плит перекрытия крыши здания и колонн по южной стороне; б – изменение частоты первой формы поперечных колебаний по продольному сечению здания

Пример 2. Здание «Фёдоровских бань» в г. Новосибирске. Техническое обследование выполнялось с целью определения технической возможности реконструкции данного здания (рис. 5, 6).

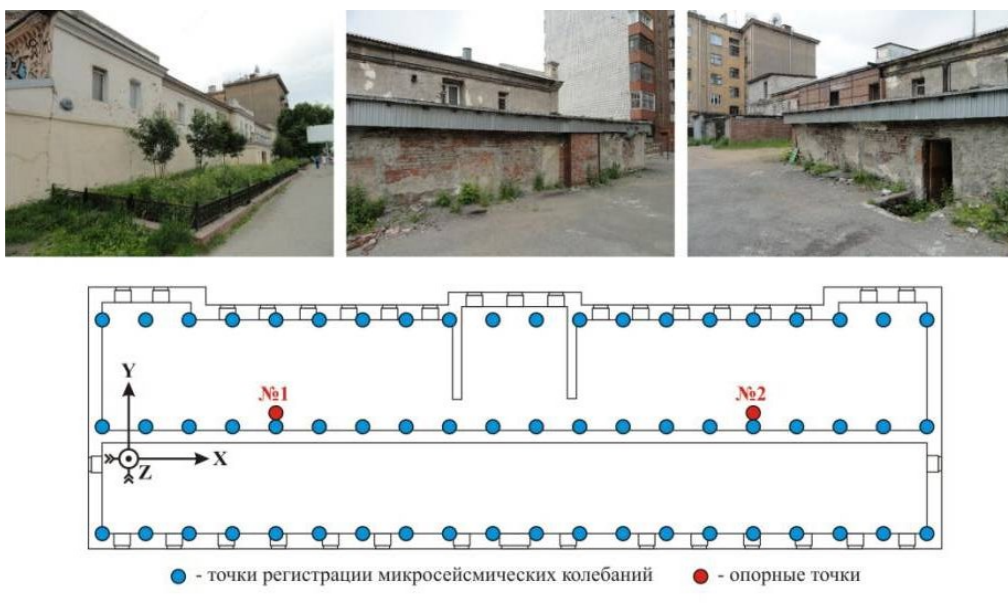


Рис. 5. Схема наблюдений для регистрации микросейсмических колебаний здания «Федоровских бань», г. Новосибирск

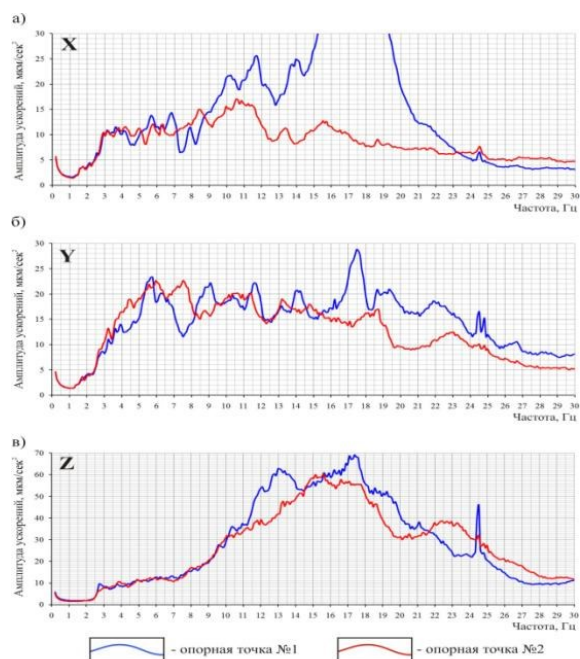


Рис. 6. Сравнение спектров колебаний опорных точек, расположенных в здании «Федоровских бань»

При повышенных амплитудах наблюдается выделение отдельных блоков здания, что говорит о нарушении целостности конструктива здания, даже принимая во внимание конструкцию здания, а именно достаточно массивные стены, замкнутый контур, арочные своды, которые достаточно жёстко связывают конструкцию здания. Также наблюдается разнонаправленная раскачка конструкций, что само по себе уже является аномальным процессом, могущим привести объект к аварийному состоянию (рис. 7–11).

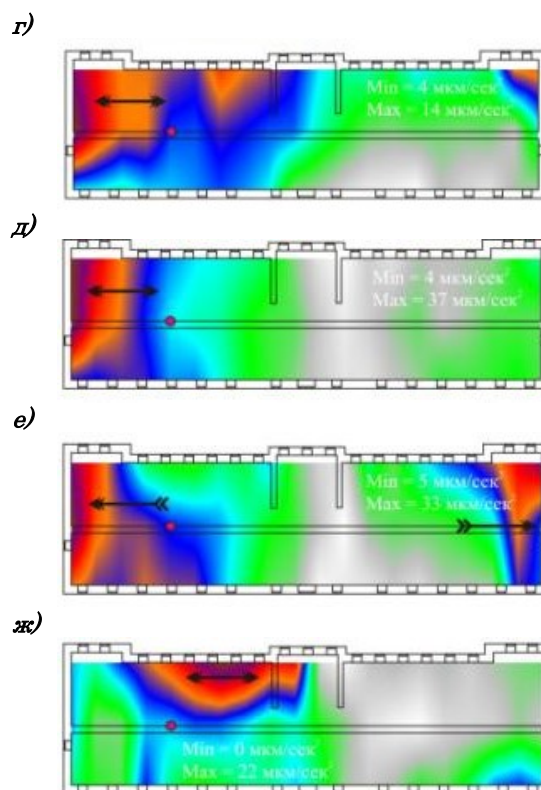
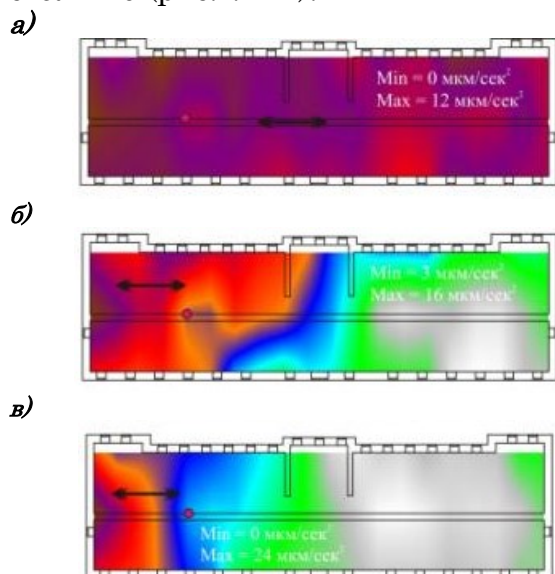
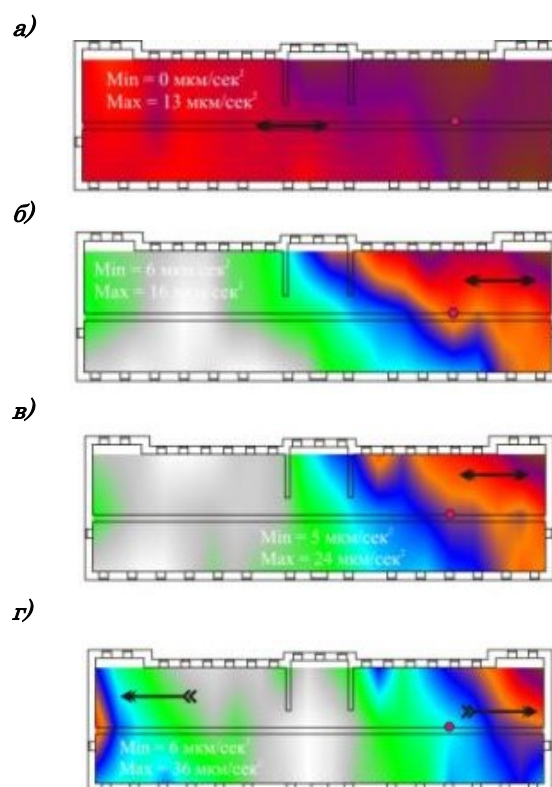


Рис. 7. Карты амплитуд продольных колебаний здания «Федоровских бань» на собственных частотах: а – 2,83–4,30 Гц; б – 5,66 Гц; в – 6,54–7,23 Гц; г – 7,81–8,20 Гц; д – 9,77–10,65 Гц; е – 10,74–12,01 Гц; ж – 13,18 Гц (стрелками указаны направления колебаний)



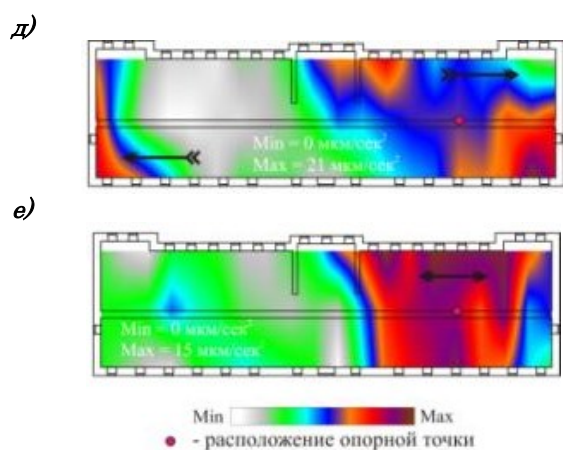


Рис. 8. Карты амплитуд продольных колебаний здания «Федоровских бань» на собственных частотах: а – 2,83–4,30 Гц; б – 4,79–6,45 Гц; в – 8,01–9,18 Гц; г – 10,74–12,01 Гц; д – 13,48 Гц; е – 15,72 Гц (стрелками указаны направления колебаний)

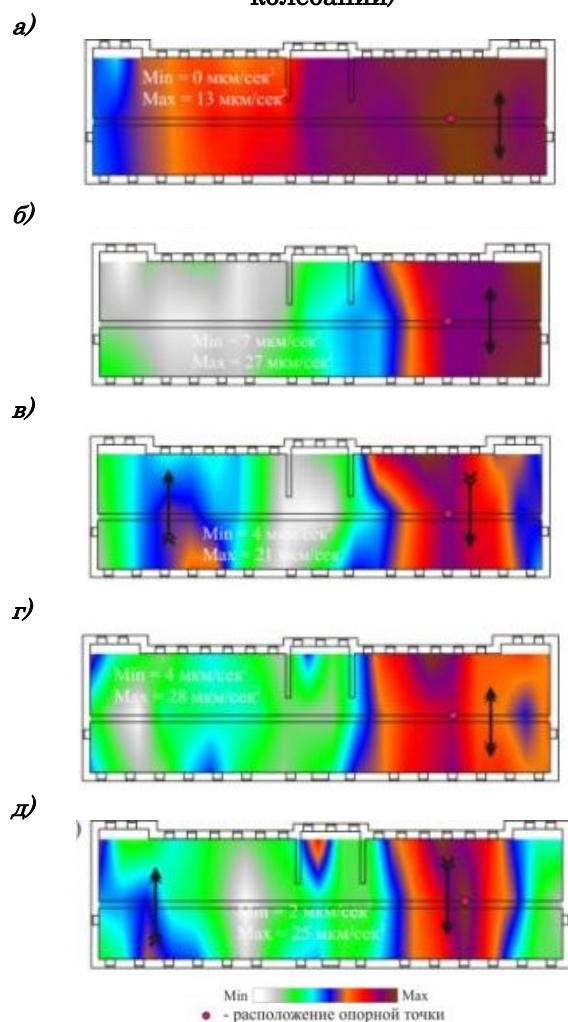


Рис. 9. Карты амплитуд поперечных колебаний здания «Федоровских бань» на собственных частотах: а – 2,83–3,42 Гц; б – 3,91–8,01 Гц; в – 8,59–8,89 Гц; г – 9,38–11,72 Гц; д – 12,89–13,28 Гц (стрелками указаны направления колебаний)

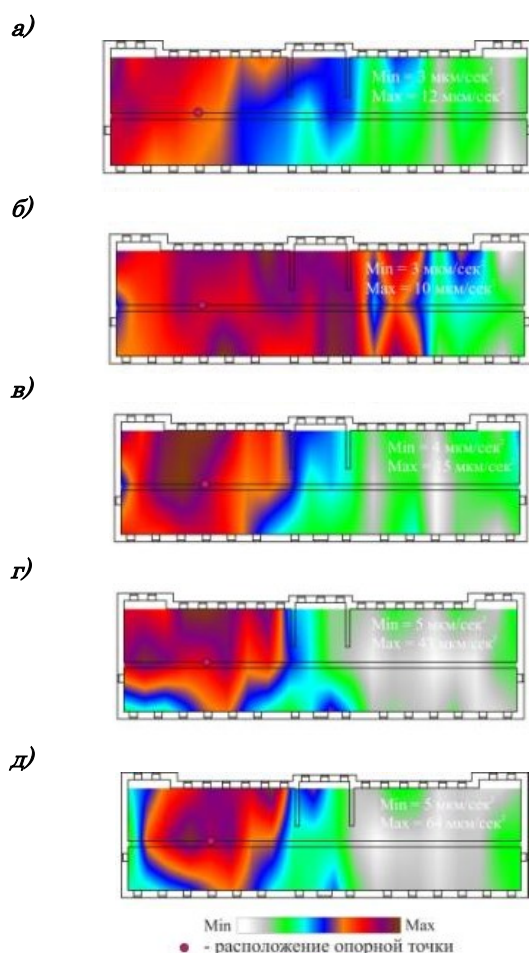
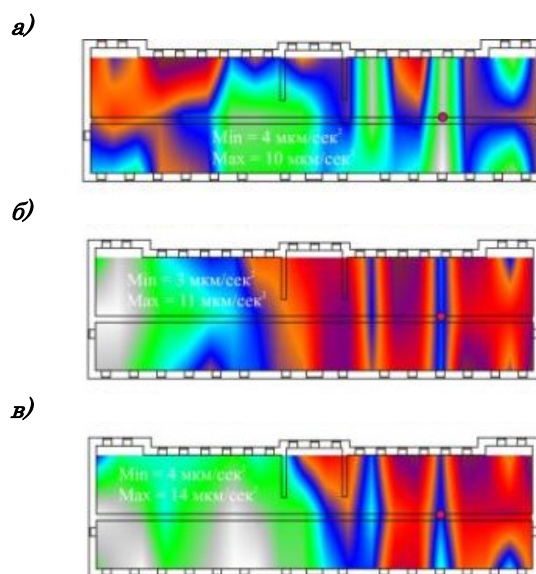


Рис. 10. Карты амплитуд вертикальных колебаний здания «Федоровских бань» на собственных частотах: а – 2,64–3,13 Гц; б – 3,52–4,10 Гц; в – 4,59–7,23 Гц; г – 10,16–11,13 Гц; д – 12,01–13,18 Гц



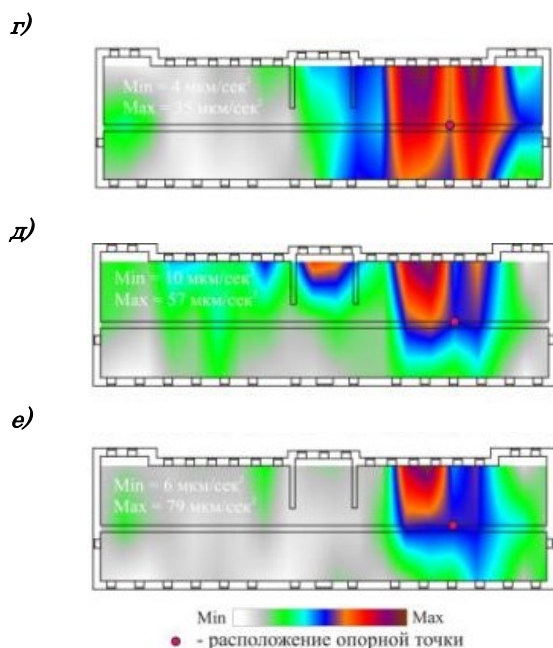


Рис. 11. Карты амплитуд вертикальных колебаний здания «Федоровских бань» на собственных частотах: а – 2,64–2,93 Гц; б – 3,52–4,30 Гц; в – 4,69–6,84 Гц; г – 9,67–10,45 Гц; д – 11,52–13,48 Гц; е – 15,04–16,11 Гц

На представленных картах амплитуд вертикальных колебаний видны ярко выраженные фрагменты конструкций здания, в которых зафиксированы вертикальные перемещения, что возможно при условии утраты прочностных характеристик и устойчивости здания в целом.

Анализ продольных колебаний позволил сделать вывод о наличии широкого спектра колебаний конструкций здания, что не характерно для подобного типа конструкций. Карта амплитуд здания фактически разбивается на несколько самостоятельно работающих блоков, выделение которых характерно для всех форм (направлений) колебаний. Наличие аномальных вертикальных колебаний конструкций с активным выделением отдельных узлов и блоков здания говорит о наличии в конструкциях здания достаточно серьёзных дефектов, что и было подтверждено при инструментально-приборном обследовании. Визуализация расположения трещин приведена на рис. 12, 13.

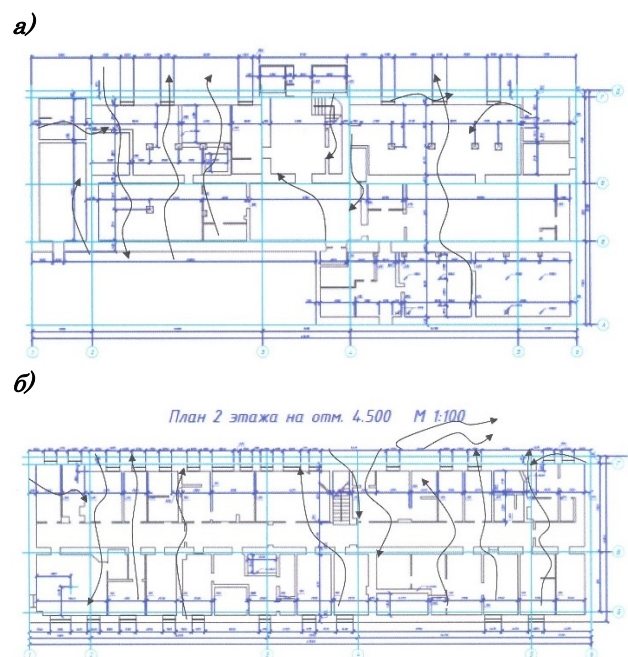


Рис. 12. Трещины на стенах и перекрытиях: а – 1-го этажа; стрелка, выходящая за границы стены, указывает на наличие трещин на стеновых конструкциях 1-го этажа; б – 2-го этажа; стрелка, выходящая за границы стены, указывает на наличие сквозных трещин на стеновых конструкциях 2-го этажа



Рис. 13. Дефекты конструкций второго этажа здания

Основной причиной, приведшей к развитию деформационных процессов фундаментов и, как следствие, деформа-

ции стеновых конструкций, является работа существующей системы водоотведения из помещений бани. Так, в процессе обследования в помещении общего отделения бани, расположенного в осях «Г–В» «4–5», на отметке 0,00 первого этажа было выявлено следующее. Две трубы водоотведения, пропущенные через межэтажное перекрытие первого этажа, по первому этажу опущены до уровня пола, где собраны в один отводящий коллектор и далее опущены под пол общего отделения. Под полом общего отделения продолжения данных труб нет, т.е. вода сбрасывалась под пол первого этажа, а следовательно, и под фундамент. В результате чего под полом образовалась промоина – площадь, которая соответствует четверти площади общего отделения, высота промоины колеблется от 0,5 м до 1 м (рис. 14, 15).



Рис 14. Дефекты водосброса второго этажа здания



Рис. 15. Дефекты водосборного приемки здания

Приведённый пример показывает, насколько негативно могут повлиять факторы нарушения правил эксплуатации здания на целостность и эксплуатационную пригодность здания в целом. Для приведённого примера необходимо сделать следующие дополнения: техническое обследование здания в процессе эксплуатации ни разу не выполнялось. Все изменения, вносимые в конструкцию здания, выполнялись без предварительного обследования на возможность внесения их в конструктивную схему здания.

Принимая во внимание тот факт, что здания и сооружения эксплуатируются в зоне вечномёрзлых грунтов, т.е. в условиях, весьма неблагоприятных для сохранности в эксплуатационно-пригодном состоянии, можно с большой долей уверенности говорить не только о соблюдении требований законодательства в части проведения обследования не реже

чем раз в пять лет, но и необходимости постоянного мониторинга строительных объектов. Причём данный мониторинг должен быть максимально информативным. Обеспечить высокую степень информативности можно средствами приборного мониторинга на основе результатов микросейсмодиагностики, выполняемой в процессе периодического технического обследования зданий и сооружений. Полученные данные микросейсмодиагностики позволяют выяснить фактическую динамическую составляющую строительных конструкций, т.е. граничные формы динамического фона здания. Следует отметить, что каждое здание имеет свой «персональный» динамический фон и, несмотря на конструктивную схожесть зданий, он не повторяется.

Практика применения сквозного мониторинга была успешно использована на корпусе 220 ФКП «Анозит». При проведённом техническом обследовании здания корпуса 220 было установлено запределённое аварийное состояние здания, основной причиной которого послужила крайне агрессивная среда производства, расположенного в данном здании. Масштабы воздействия на строительные конструкции объекта экспертизы видны на рис. 16.





Рис. 16. Дефекты в корпусе 220 ФКП «Анозит»

В связи с необходимостью выполнения заказа государственного значения была поставлена задача запуска производственного процесса на ограниченный срок. Для достижения данной цели был разработан и реализован комплекс компенсирующих мероприятий, выполнена повторная микросейсмониторинг здания и на основе полученных данных диагностики запущен сквозной приборный мониторинг (рис. 17, 18).

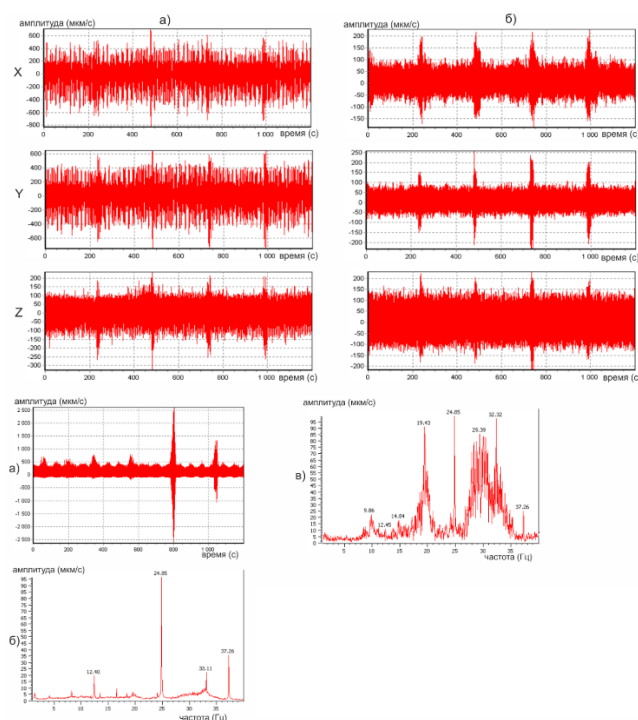


Рис. 17. Вибрации в перекрытиях корпуса 220 ФКП «Анозит»

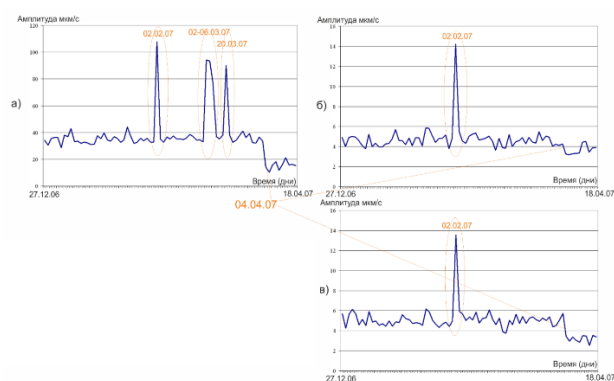


Рис. 18. Амплитуды колебаний строительных конструкций корпуса 220 ФКП «Анозит»

Реализация компенсирующих мероприятий и сквозной приборный мониторинг позволил выполнить поставленную задачу по государственному заказу.

Следует отметить, что все вышеприведенные методы обследования не выходят за рамки нормативно-технических требований, установленных законодательством, и, более того, соответствуют законодательству в вопросах измерения динамических характеристик зданий и сооружений.

Кроме того, если посмотреть на здания и сооружения, эксплуатируемые в экстремальных условиях вечной мерзлоты, исходя из вопросов высокой стоимости строительства и крайне жёстких условий эксплуатации, большинство из них могут быть охарактеризованы как уникальные, поэтому проведение постоянного мониторинга обязательно.

Принимая во внимание вышеприведённую информацию, считаем, что своевременная диагностика совместно с микросейсмодиагностикой и приборным мониторингом зданий и сооружений позволит не только выявлять появляющиеся дефекты, но и своевременно принимать меры по их локализации.

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон №384-ФЗ от 30 декабря 2009 г.

2. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: ГОСТ 31937–2011.

3. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: СП 13–102–2003.



Еманов А.Ф.

*Алтае-Саянский филиал Федерального
Исследовательского Центра «Единая Геофизическая
служба» Российской академии наук*



Бах А.А.

*Алтае-Саянский филиал Федерального
Исследовательского Центра «Единая Геофизическая
служба» Российской академии наук*



Еманов А.А.

*Алтае-Саянский филиал Федерального
Исследовательского Центра «Единая Геофизическая
служба» Российской академии наук*

*Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН*

УДК 550.834

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА, ВОЗМОЖНОСТИ, РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе метода стоячих волн предложены алгоритмы сейсмологического мониторинга зданий и сооружений в условиях Крайнего Севера. В основе исходной модели используется поле стоячих волн, полученное в здании экспериментально с заданной точностью. Отслеживание малейших изменений в волновом поле фиксируется в реальном времени системой мониторинга. Предложенная система мониторинга отличается от аналогов формализацией процесса, заданной точностью и автоматизированной обработкой в реальном времени. Предложенная технология позволяет создать единый центр, контролирующий все здания г. Норильска, охваченные системой мониторинга.

Ключевые слова: сейсмические колебания, мониторинг зданий, стоячие волны, многолетняя мерзлота, когерентность.

Важнейшей проблемой для г. Норильска становится проблема с разрушением зданий, построенных в условиях вечной мерзлоты. Оттаивание и замер-

зание грунтов под фундаментами создают условия, приводящие к деформации и разрушению зданий. Возникает вопрос: как документировать состояние здания в данный момент и как отслеживать

изменение состояния до аварийного? В качестве основы документирования состояния зданий рассмотрим метод стоячих волн, позволяющий изучать с заданной детальностью все значимые по амплитуде моды собственных колебаний.

Метод стоячих волн основан на том, что в замкнутых объёмах формируются многократные отражения, и их интерференция приводит к формированию стоячих волн. Ещё в девятнадцатом веке была доказана общеизвестная теорема о независимости решения по стоячим волнам от начальных условий. Это означает, что стоячие волны, формирующиеся в инженерных сооружениях, не зависят от источника колебаний. Для поля стоячих волн не важно, где он размещён и какого типа источник используется. Стоячие волны когерентны во времени, и это позволяет выделить их из общего поля микросейсмических колебаний и преобразовать разновременные наблюдения с перемещающимися станциями в картины одновременной регистрации стоячих волн в объекте.

Физико-математические основы метода стоячих волн

В работах [Еманов и др., 2002; 2007] обосновывается методика наблюдений за микросейсмами в зданиях, создаётся математическая модель волнового поля, строятся алгоритмы, позволяющие выделить стоячие волны в чистом виде и преобразовывать их из разновременных наблюдений в одновременные записи стоячих волн на плотной системе наблюдений, покрывающей заданную площадь или объём. Поскольку стоячие волны представляют из себя монохроматические колебания с некоторой добротностью, определяющей затухание колебаний во времени, то множество мод колебаний из общего поля отфильтровываются друг от друга, и строятся карты для каждой из мод: амплитуд колебаний, фаз колебаний, добротности, когерентности. Построенный набор карт явля-

ется основой для качественной интерпретации физического состояния здания по стоячим волнам.

В основе модели сейсмических колебаний произвольных точек здания заложено представление о том, что колебания каждой точки состоит из суммы двух составляющих, где первая составляющая – стоячие волны, а вторая – бегущие волны, и при этом делаются следующие предположения:

1. При воздействии микросейсмических колебаний на здание отличия формирующихся в нём стоячих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, описываются линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

2. При воздействии микросейсмических колебаний на здание отличия бегущих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, не могут быть описаны линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

3. Линейные связи в изменениях стоячих волн, регистрируемых в двух точках, существуют для каждой пары одноимённых компонент регистрируемых колебаний.

Модель связи колебаний, регистрируемых в двух разных точках на поверхности грунта, примет вид:

$$\overline{F_0}(t) = F_0(t) + W_0(t);$$

$$\overline{F_i}(t) = F_0(t) \times h_{0i}(t) + W_i(t), \quad (1)$$

где $h_{0i}(t)$ – импульсная характеристика линейной системы, описывающей связь между одновременными записями стоячих волн в точках 0 и i на заданной площадке; $W(t)$ – бегущие волны; $F_0(t)$ – запись стоячей волны в опорной точке.

Для модели (1) получают одновременные записи стоячих волн из разновременных, последовательных наблюдений с опорной точкой. Процедура обработки в таком случае сводится к следующим операциям:

1. Нахождение частотных характеристик линейных систем $h_{0i}(\omega)$.

2. Запись или формирование независимой реализации процесса колебаний опорной точки при сейсмическом воздействии на исследуемый объект.

3. Пересчёт стоячих волн из опорной точки с использованием $h_{0i}(\omega)$ во все точки обследуемого объекта.

Характеристика $h_{0i}(\omega)$ в виде оптимального фильтра Винера [1; 2], преобразующего сигнал $\overline{F_0}(t) = F_0(t) + W_0(t)$ в запись стоячей волны в точке i , найдена как результат минимизации по $h_{0i}(t)$ математического ожидания квадрата ошибки между сигналом $\overline{F_0}(t)$, пропущенным через фильтр, и сигналом $F_i(t)$, являющимся выходом линейной системы:

$$M \left| F_i(t) - \overline{F_0}(t) * h_{0i}'(t) \right|^2 = \min.$$

Взяв производную по $h_{0i}'(t)$ от данного выражения и приравняв её к нулю, после преобразований было получено:

$$h_{0i}'(\omega) = \frac{R_{0i}(\omega)}{R_{00}(\omega)} = \frac{M \left[F_i(\omega) \overline{F_0}^*(\omega) \right]}{M \left| \overline{F_0}(\omega) \right|^2}.$$

Усреднение спектров осуществляется разбиением реализации колебаний, записанных одновременно, на n блоков. Разбив на не перекрывающиеся блоки запись, получаем множество реализаций, по которым можно осуществить усреднение. Формула для расчёта фильтра Винера, обеспечивающего пересчёт колебаний из опорной точки в i -ю, примет вид:

$$h_{0i}'(\omega) = \frac{\sum_{j=1}^n \overline{F_i}(\omega) \overline{F_0}^*(\omega)}{\sum_{j=1}^n \left| \overline{F_0}(\omega) \right|^2}. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет вести расчёт характеристики фильтра с погрешностью, которая зависит от следующих па-

раметров наблюдений: шаг дискретизации по времени Δt , длина единичного блока T , количество блоков в записи n . Выбор первых двух параметров не вызывает затруднений. Шаг дискретизации увязывается с частотным диапазоном, в котором изучается реакция объекта на сейсмическое воздействие. Длина единичного блока связана с необходимым разрешением спектрального анализа $\Delta f = 1/T$. Сложнее вопрос о количестве блоков. Расчёт по формуле (2) – лишь некая оценка характеристики фильтра, погрешность которой зависит от количества блоков n и соотношения энергии шумов и полезных сигналов в модели (1).

Для оценки количества блоков, необходимых для обеспечения заданной погрешности фильтра, полезен спектр когерентности $\gamma(\omega)$, который можно расчитать по записям микросейсмических колебаний в двух точках обследуемого объекта по формуле:

$$\gamma^2(\omega) = \frac{\left| R_{0i}(\omega) \right|^2}{R_{00}(\omega) R_{ii}(\omega)},$$

где $R_{00}(\omega)$ – спектр автокорреляционной функции колебаний, записанных в опорной точке; $R_{ii}(\omega)$ – то же в i -й точке.

В предположении о независимости реализаций шумов на входе и выходе линейной системы и их некоррелированности с полезными сигналами получим:

$$\gamma^2(\omega) = \frac{1}{(1 + \alpha_0(\omega))(1 + \alpha_i(\omega))};$$

$$\alpha_0(\omega) = \frac{M \left| W_0(\omega) \right|^2}{M \left| F_0(\omega) \right|^2},$$

где $\alpha_i(\omega) = \frac{M \left| W_i(\omega) \right|^2}{M \left| F_i(\omega) \right|^2}$ – отношения сред-

невзвешенных квадратов шум/полезный сигнал в опорной и i -й точках.

Из формулы следует, что спектр когерентности зависит только от отношения энергии бегущих волн к энергии стоячих

волн. Спектр когерентности может быть рассчитан по одновременным записям в любой паре точек обследуемой площадки. Значения $\gamma(\omega)$ лежат в диапазоне 0–1. Единица соответствует случаю, когда в двух точках регистрируются только стоячие волны. При $\gamma(\omega) = 0$ в двух точках площадки регистрируются только бегущие волны.

Для зданий экспериментами доказано, что значения спектра когерентности на собственных частотах инженерных сооружений высоки 0,8–0,99, а в промежутке между ними соответствуют значениям 0,1–0,3. Алгоритм обработки стоячих волн является симбиозом фильтра Винера – свойства когерентности стоячих волн определять точность полученного волнового поля через дисперсию оценки характеристик. Подробное описание алгоритмов оценки точности можно найти в работе [2]. Среднеквадратическая ошибка фазовой характеристики фильтра для пересчёта стоячих волн из опорной точки в i -ю будет равна:

$$\sigma_{\theta}(\omega) \approx \frac{\sqrt{1 - \gamma_{oi}^2(\omega)}}{|\gamma_{oi}(\omega)|\sqrt{2n}}.$$

Относительная ошибка амплитудной характеристики фильтра равна:

$$\varepsilon \left[|h'_{oi}(\omega)| \right] = \frac{\sigma \left[|h'_{oi}(\omega)| \right]}{|h_{oi}(\omega)|} \approx \frac{[1 - \gamma_{oi}^2(\omega)]^{1/2}}{|\gamma_{oi}(\omega)|\sqrt{2n}},$$

где $\sigma \left[|h'_{oi}(\omega)| \right]$ – среднеквадратическое отклонение оценки частотной характеристики фильтра.

Из этих формул заданная точность и число блоков могут быть увязаны после вычисления значения спектра когерентности на частоте резонанса слоя. Количество блоков определяет длину реализации, записанную в каждой точке обследуемой площадки, и существенно влияет на производительность работ.

Точность восстановления поля стоячих волн будет зависеть от значений когерентности и длительности регистрации.

Исследование зданий методом стоячих волн

В условиях Арктики конструкции зданий и сооружений существенно усложняются из-за необходимости строительства на многолетнемерзлых породах [Бабелло и др., 2017]. Метод стоячих волн эффективен при исследовании зданий как простой конструкции, так и сложной. Строительство на сваях в арктических районах по конструкции имеет сходство с сейсмоизолированными зданиями для районов большой сейсмической активности [Айзенберг, 1976; 2005; Смирнов, 2013]. Обратим внимания на здания с гибким этажом.

Исследования методом стоячих волн выполнены в двух практически идентичных зданиях, расположенных в одном и том же жилом массиве. В пределах массива грунтовые условия не изменяются.

Проекты зданий, состоящие из двух секций (подъездов), одинаковы, и только в одном первый этаж реализован как гибкий (блок-секции 13–14), а во втором вся конструкция железобетонная (блок-секции 19–20). Обследования были выполнены в ноябре 2010 г. на заключительном этапе строительства, когда основные несущие конструкции зданий были возведены. При этом гибкий этаж был выполнен без каких-либо дополнительных устройств сейсмозащиты.

Для корректного восстановления поля стоячих волн для каждого из зданий были установлены три опорные точки на разных этажах. Плотность схемы наблюдений позволила восстановить не только первые моды стоячих волн, но и моды более высоких порядков.

В таблице приведены собственные частоты колебаний блок-секций 13–14 и 19–20. В графе «Описание» приведены краткие характеристики собственных колебаний, содержащие информацию о направлении смещений, количестве пучностей и взаимном расположении уз-

ловых линий (линий смены фаз колебаний). Для некоторых мод стоячих волн смена фаз колебаний происходит не только в горизонтальном направлении, но и в вертикальном.

Собственные частоты колебаний блок-секций 13–14 и 19–20

Блок-секции 13–14		Блок-секции 19–20	
Частота, Гц	Описание	Частота, Гц	Описание
2,15	Поперечная мода (1,1)	2,54	Поперечная мода (1,1)
2,34	Поперечная мода (2,1)	2,78	Поперечная мода (2,1)
2,69	Продольная мода (1,1)	3,08	Продольная мода (1,1)
6,49	Поперечная мода (1,2)	Мода отсутствует	
7,08	Поперечная мода (2,2)	Мода отсутствует	
7,81	Продольная мода (1,2)	9,57	Продольная мода (1,2)
8,06	Поперечная мода (3,1)	8,89	Поперечная мода (3,1)
10,89	Поперечная мода (3,2)	12,99	Поперечная мода (3,2)
12,99	Поперечная мода (4,2)	14,55	Поперечная мода (4,2)

Поскольку вопрос сравнения поля стоячих волн для идентичных конструкций с гибким первым этажом и без него имеет важное научное и практическое значение, в данной работе будут детально рассмотрены все обнаруженные моды колебаний. В исследовании обнаружено по одной моде стоячих волн вертикальных колебаний, по две моды стоячих волн в продольных колебаниях зданий, при этом стоячие волны в поперечных колебаниях зданий для конструкции без гибкого этажа (5 мод) и с гибким этажом (7 мод) отличаются по количеству собственных частот.

Важным является факт, что при наличии свай в здании формируются два поля стоячих волн или, говоря иначе, резонатор для всей конструкции и вложенный в него резонатор для конструкции над сваями.

На рис. 1 представлена мода кратности два по вертикали и длине здания. Это одна из стоячих волн, которая сформировалась выше гибкого этажа. Для свайных зданий механизм образования

второго поля стоячих волн должен быть аналогичным. Для здания без гибкого этажа наблюдается только одно поле стоячих волн. Карта спектра когерентности отражает линейность связи колебаний в точках здания с опорной точкой. Пониженная когерентность в областях малых и нулевых (узловые линии) амплитуд отражает нелинейность связи с опорной точкой.

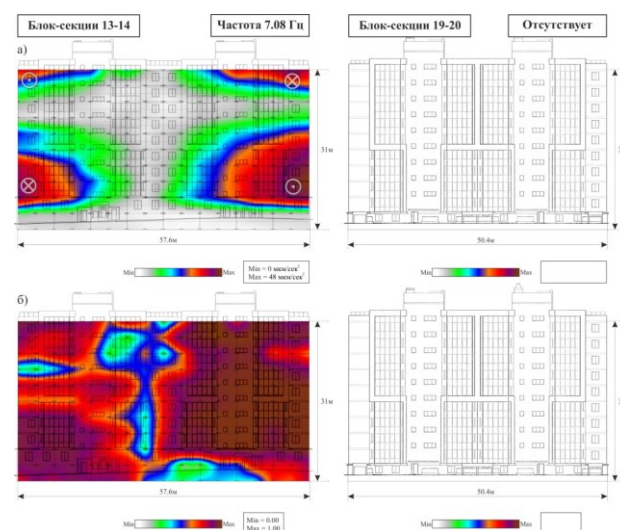


Рис. 1. Карты амплитуд (а) и значений когерентности (б) колебаний блок секций 13–14 и 19–20. Поперечная мода (2,2); точка в кружке – одно по фазе движение, крестик в кружке – противоположное

Особый интерес представляет наличие связи в колебаниях низа здания. По амплитудам стоячая волна сформировалась выше гибкого этажа, а по когерентности обнаруживается связь с колебаниями в гибком этаже. При этом слева связь сильная, а справа она ослабленная. Понятно, что через гибкий этаж осуществляется обмен колебаниями основания с основной конструкцией здания, но уровень обмена изменчив вдоль здания.

Метод стоячих волн позволяет обнаруживать возникновение опасных нарушений в здании на ранних стадиях. На рис. 2 представлены карты амплитуд вертикальных колебаний для стоячей волны в здании, рядом с которым вырыт котлован для строительства нового здания. Видны усиленные колебания части

здания рядом с котлованом. Здание про-реагировало на грунтовые изменения рядом с ним и, безусловно, происходят изменения в здании, которые можно интерпретировать как ущерб.

На рис. 3 представлен случай, когда из-за проседания здания трещинами отделён

элемент конструкции, в котором сформировалось локальное поле стоячих волн. Ремонтные работы без устранения резонансного усиления колебаний в парапете не приведут к желаемому результату.

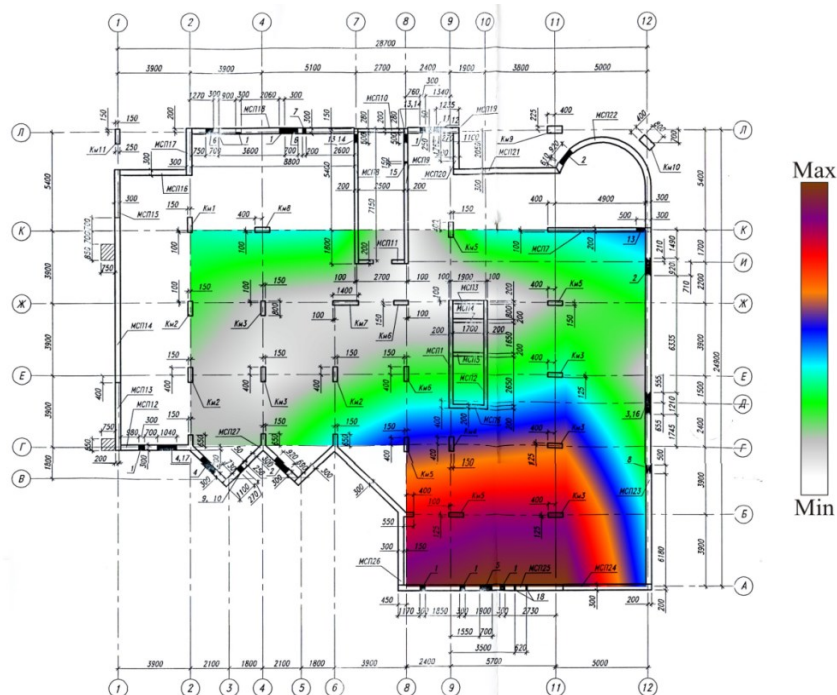


Рис. 2. Влияние котлована на собственные колебания здания.

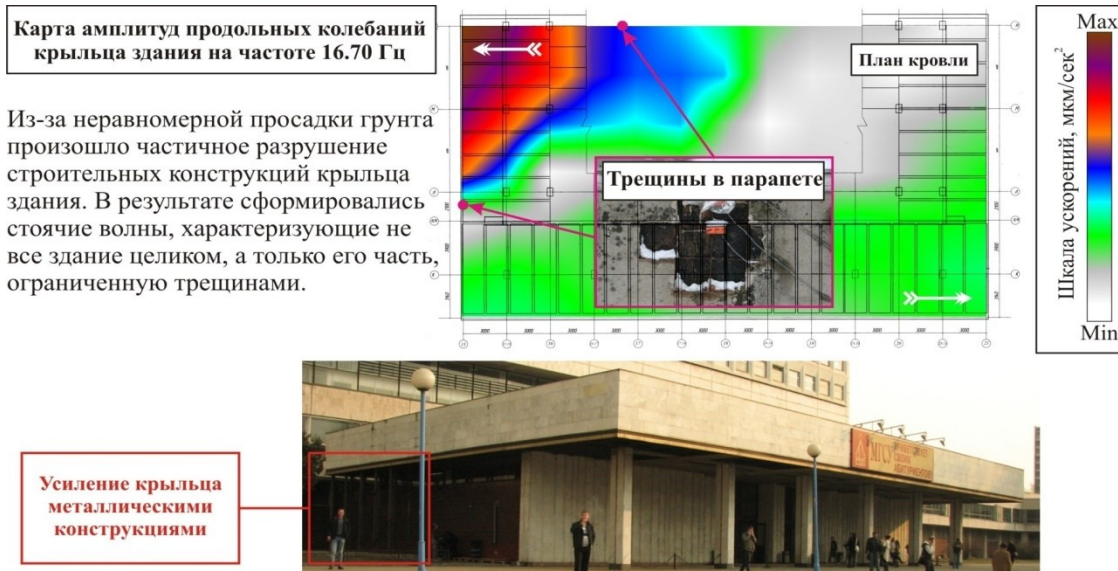


Рис. 3. Дефект конструкции из-за проседания грунта

Метод стоячих волн дает представление о физическом состоянии здания на момент обследования, которое складывается из особенностей проекта, качества

исполнения при строительстве, изменения состояния здания во времени.

Совершенно ясно, что по проекту здания с разновысотными элементами или

связанные здания должны иметь анти-сейсмические швы, не передающие колебания из одной части здания в другую. От высоты здания зависят собственные частоты, и одна часть здания резонирует, когда другая должна стоять. При отсутствии развязки части здания

разной высоты будут разрушать друг друга. На рис. 4 представлена карта амплитуд одной из стоячих волн в здании с корпусами разной высоты. Корпуса высотой один 40 этажей, а другой 30 этажей имеют связанные собственные колебания.



Рис. 4. Проверка эффективности развязки здания

Инженерно-сейсмологический мониторинг зданий и сооружений

Инженерно-сейсмологический мониторинг строится на основе метода стоячих волн и предполагает детальное обследование объекта и использование информации о полном поле стоячих волн в нём для мониторинга по редкой сети датчиков в объекте.

Задачи непрерывного сейсмического мониторинга зданий и сооружений:

- обнаружение изменений в физическом состоянии зданий;
- локализация области возникновения необратимых изменений конструкций;
- оценка существования нарушений в сооружении после крупных сейсмических воздействий;
- исследование основных характеристик источников вибраций в зданиях и сооружениях.

Алгоритмы мониторинга [Еманов и др., 2013] основаны на разнообразных подходах и моделях взаимосвязей в вол-

новых полях стоячих волн. Контролируемыми величинами при сейсмическом мониторинге здания могут быть:

- амплитуды ускорения вынужденных колебаний;
- частоты собственных колебаний здания;
- логарифмические декременты затухания;
- формы собственных колебаний;
- фазовые соотношения в стоячих волнах;
- анализ спектров когерентности во времени;
- неизменность во времени частотных характеристик фильтров для пересчёта стоячих волн из точки в точку;
- анализ спектров шумов и нелинейных эффектов;
- поиск изменений в поле стоячих волн.

На рис. 5 показано, как по текущей когерентности контролируются изменения в поле стоячих волн. Если приходит воздействие, то при отсутствии нарушений когерентность должна восстановить

свою картину, если произошли трещины, когерентность колебаний здания нарушается.

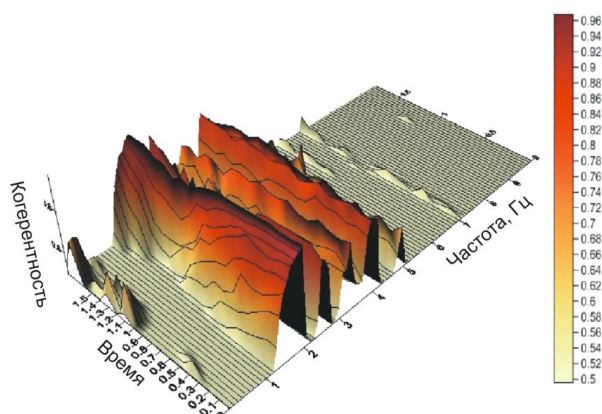


Рис. 5. Текущие спектры когерентности при мониторинге здания оперного театра г. Новосибирска

Имея две точки с сейсмическими датчиками, можно сказать, есть нарушения конструкции в здании, но без указания места. Если датчики в трёх точках, то будет ясно, в какой половине нарушена конструкция, а при большем количестве датчиков это можно контролировать на уровне элементов здания.

Возможности мониторинга зданий в условиях Севера

В условиях многолетнемерзлых пород конструкции фундаментов зданий рассчитаны на защиту от промерзания и оттаивания [Бабелло и др., 2017], но процессы, вызванные потеплением, создают много проблем с сохранением устойчивости зданий. Породы при замерзании существенно изменяют свои физические свойства. Именно поэтому геофизические методы широко применяются для изучения и картирования многолетнемерзлых пород [Сергеев и др., 2015]. В ряде случаев на зданиях ставится система мониторинга [Амосова и др., 2012; Болдырев и др., 2010; Завалишин и др., 2009; Идиатулин и др., 2010; Капустян и др., 2010; Клецин и др., 2010; Козин и др., 2010; Коргин и др., 2010; Сущев и др., 2009; Теличенко и др., 2009; Шахраманьян, 2010]. Комплексный мониторинг по системе разного типа датчиков,

безусловно, содержит в себе больше полезной информации, чем мониторинг только по сейсмическим датчикам (чаще всего акселерометры). Большинство систем мониторинга представляют из себя системы сбора информации в сервер с просмотром данных оператором. В системах мониторинга нет алгоритмов преобразования информации для формализованного принятия решения.

В случае мониторинга состояния конструкций в условиях вечномёрзлых пород чаще всего выполняется мониторинг грунтового основания под зданием. Это важная и необходимая работа, но всех проблем состояния здания она не решает.

Создавая систему мониторинга, необходимо понять, где ставить датчики и сколько. Излишество усложняет информацию и мешает решению задачи. В ряде случаев для формирования системы наблюдения в здании предлагается составить модель и решить прямую задачу, определить места с наибольшим напряжённым состоянием. Данные мониторинга сопоставляются с расчётами на основе модели [Болдырев и др., 2010].

Такая схема ущербна в том, что как показано исследованиями методом стоячих волн, описанных в данной работе, теоретические модели в большинстве случаев плохо соответствуют реальности.

Несколько более обоснован подход [Белостоцкий и др., 2012] провести сопоставление расчётных данных с измерениями методом стоячих волн и уточнить модель здания, и только после этого использовать её для мониторинга объекта. Практически проверка экспериментом в значительной степени уточняет модель здания [Белостоцкий и др., 2012; Красников и др., 2017], но к абсолютному соответствию не приводит.

Любая модель здания содержит в себе ограничения. Мониторинг на основе более общей модели имеет меньше ограничений. В рамках метода стоячих волн ограничения касаются линейности колебаний и предложенные алгоритмы [Еманов и др., 2013] обеспечат большую

надёжность и точность исследований, чем это имеет место в мониторинге с использованием конечно-элементных моделей.

Прежде чем строить систему мониторинга здания, требуется провести обследование здания методом стоячих волн. Для условий мерзлоты, кроме самого здания, захватывается и область пород под зданием. Полное поле стоячих волн в здании и их взаимодействие с грунтовым основанием дадут исчерпывающую информацию о его физическом состоя-

нии. Полученная информация будет основой для выбора количества и мест размещения датчиков для непрерывного мониторинга объекта. Контролируются в этом случае связи в собственных колебаниях здания, установленные экспериментально, а также связи «конструкция–грунт». По степени изменения волнового поля стоячих волн в здании и прежде всего на контакте с грунтом можно отслеживать скорость изменения конструкции в реальном времени.

1. Амосова Е.В., Кропачев Д.Ю., Паздерин Д. Система мониторинга температур протяжённых объектов на вечномёрзлых грунтах // Диагностика КИПиА. СФЕРА НЕФТЕГАЗ. – 2012. – №2. – С. 28–31.

2. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. – М.: Стройиздат, 1976. – 229 с.

3. Айзенберг Я.М. Некоторые проблемы обеспечения сейсмической надёжности современных ответственных и сложных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005. – №4. – С. 23–25.

4. Бабелло В.А., Мершеева М.Б., Стетюха В.А. Опыт эксплуатации зданий на многолетнемёрзлых грунтах в Забайкальском крае // Вестник ЗабГУ. – 2017. – Т. 23. – №11. – С. 4–10.

5. Белостоцкий А.М., Каличава Д.К. Адаптируемые конечноэлементные модели в основе динамического мониторинга несущих конструкций высотных зданий. Ч. 1. Основы разработанной расчётно-экспериментальной методики // International journal for computational civil and structural engineering. – М.: АСВ, 2012. – Т. 8. – №4. – С. 19–27.

6. Адаптируемые конечноэлементные модели в основе динамического мониторинга конструкций высотных зданий. Ч. 2. Верификация методики на стендовых моделях / А.М. Белостоцкий, Д.К. Каличава, А.И. Нагибович, Н.О. Петряшев, С.О. Петряшев // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – Vol. 8. – Issue 3. – 2012.

7. Адаптируемые конечноэлементные модели в основе динамического мониторинга конструкций высотных зданий. Ч. 3. Апробация методики на высотном комплексе, возведённом с выявленными отступлениями от проекта / А.М. Белостоцкий, Д.К. Каличава, А.А. Аул, А.И. Нагибович // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – Vol. 8. – 2012.

8. Системы мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений / Г.Г. Болдырев, П.В. Нестеров, А.А. Живаев, Д.Н. Валеев // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 443–463.

9. Пересчёт стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологических исследованиях / А.Ф. Еманов, В.С. Селезнёв, А.А. Бах [и др.] // Геология и геофизика. – 2002. – №2. – С. 192– 07.

10. Детальные инженерно-сейсмологические исследования плотины Саяно-Шушенской ГЭС / А.Ф. Еманов, А.А. Бах, И.А. Данилов, А.А. Дергачёв, В.С. Селезнёв, А.В. Толошинов, В.А. Булатов // Вестник Красноярской государственной архитектурно-строительной академии: сб. науч. тр. Вып. 6; под ред. В.Д. Наделяева. – Красноярск: КрасГАСА, 2003. – С. 86–108.

11. Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Бах А.А. Когерентное восстановление полей стоячих волн как основа детального сейсмологического обследования инженерных сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – №3. – С. 20–24.

12. Сейсмический мониторинг зданий и промышленных объектов (алгоритмы и мето-

дика) / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.А. Красников, А.В. Дураченко // 50 лет сейсмологического мониторинга Сибири. Тезисы докладов. – Новосибирск, 2013. – С. 141–150.

13. Еманов А.Ф., Красников А.А. Применение метода стоячих волн для исследования сейсмоизолированных зданий // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. – №4. – С. 37–64.

14. Еманов А.Ф., Бах А.А., Клецин В.И. Стоячие волны в плотинах Богучанской и Чиркейской ГЭС // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2018. – №4. – С. 28–33.

15. Динамический мониторинг зданий и сооружений для контроля их сейсмостойкости / С.И. Завалишин, Г.Э. Шаблинский, Д.А. Зубков, А.А. Румянцев // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 8. – М., 2009. – С. 42–53.

16. Идиатуллин Д.Р., Клецин В.И. Система мониторинга состояния несущих конструкций реального времени (СМИК) // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 324–333.

17. Действующая система мониторинга высотного жилого здания в Москве / Н.К. Капустян, В.К. Таракановский, А.Б. Вознюк, А.Н. Климов // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 192–206.

18. Клецин В.И., Идиатуллин Д.Р. Актуальные вопросы создания систем мониторинга состояния инженерно-технических, несущих конструкций зданий и сооружений (по опыту разработки, проектирования, строительства, сопровождения) // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 334–340.

19. Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок / П.А. Козин, Ш.Ш. Исаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалёв // Предотвращение аварий зданий и сооружений. Сборник научных трудов. Вып. 9. – Москва, 2010. – С. 404–413.

20. Коргин А.В., Коргина М.А. Мониторинг технического состояния ответственных зданий с помощью технологии пространственно-координатных геодезических измерений и МКЭ – анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 185–192.

21. Красников А.А., Еманов А.Ф., Бах А.А. Оценка полноты конечно-элементных моделей инженерных сооружений по экспериментальным данным метода стоячих волн // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2. – №4. – С. 179–184.

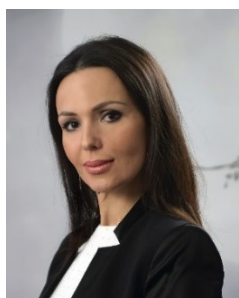
22. Изучение многолетнемерзлых пород с использованием комплекса методов инженерной геофизики (на примере кустовой площадки нефтегазоконденсатного месторождения в Западной Сибири) / К.С. Сергеев, В.И. Рыжков, А.В. Белоусов, А.А. Бобачёв, Р.И. Сафиуллин // Инженерные изыскания. – 2015. – №10–11. – С. 46–53.

23. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – №4. – С. 41–54.

24. Мониторинг технического состояния несущих конструкций высотного здания / С.П. Суцев, В.В. Самарин, И.А. Адаменко, В.Н. Сотин // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 8. – М., 2009. – С. 15–26.

25. Мониторинг геофизической устойчивости зданий и сооружений с использованием грависейсмометрической станции СГМ-3В / В.И. Теличенко, Е.А. Король, М.С. Хлыстанов, В.И. Прокопьев // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 8. – М., 2009. – С. 27–42.

26. Шахраманьян А.М. Технологические и методические основы построения систем мониторинга несущих конструкций высотных и уникальных объектов // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. Вып. 9. – М., 2010. – С. 262–274.



Петухова Ж.Г.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*



Петухов М.В.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*

УДК 551.34(571.511)+63.03.004.58:551.34(571.511)

УСПЕХИ И ПРОБЛЕМЫ ГОРОДА НОРИЛЬСКА, ПОСТРОЕННОГО НА ШИРОТАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

В период строительства г. Норильска основные инженерные проблемы решались достаточно успешно для своего времени. По истечении многих лет появились новые серьезные проблемы, связанные не только с эксплуатацией отдельных зданий и сооружений, но и с процессами, развивающимися на всей застроенной территории. На новом уровне возродились вопросы обеспечения устойчивости зданий и сооружений.

Ключевые слова: вечномерзлые грунты, геотермические скважины, деградация мерзлоты, конструкции «нулевых» циклов.

Большая часть Норильского промышленного района расположена на территории со сплошным распространением вечномерзлых грунтов мощностью до 150 м и температурой в зоне годовых нулевых амплитуд (10–14 м) от -2.0°C до -5.0°C , слой сезонного оттаивания на застроенных территориях достигает в среднем 2–3 м. Многолетнемерзлые грунты на территории формировались несколько сотен тысяч лет. Соответственно, контроль за состоянием мерзлых грунтов в основании фундаментов должен осуществляться при помощи инструментальных пунктов наблюдений – температурных трубок, установленных в

пробуренные скважины глубиной до подошвы фундамента. На сегодняшний день на территории г. Норильска обеспеченность зданий средствами наблюдений за состоянием грунтовых оснований очень низкая. Не более 40–50% от всего количества зданий оборудовано температурными скважинами. Совершенно неизвестна геокриологическая ситуация в основаниях зданий, за которыми не ведется геотермическое наблюдение, поэтому возможно появление новых деформаций, особенно на зданиях с фундаментами мелкого заложения.

Массовое строительство г. Норильска закончилось в 1990 г., началась интен-

сивная эксплуатация объектов и появились проблемы, которые решал сначала Норильский комбинат, а после передачи жилого фонда решают службы города, управляющие компании.

На отдельных объектах количество и глубина температурных скважин не достаточны для выполнения полноценных наблюдений, проведения анализа геотермического режима всей площадки. Температурные скважины – «глаза и уши» для специалистов-мерзлотников, позволяющие предугадывать и предотвращать ситуации, связанные с появлением и развитием отепления грунтов, деформаций строительных конструкций. В связи с этим работы по бурению и оборудованию новых геотермических скважин в подпольях эксплуатируемых зданий необходимо наращивать.

На сегодняшний день глубоких опорных скважин, расположенных на застроенных территориях г. Норильска и позволяющих проводить целевой мониторинг толщи вечномерзлых пород, отслеживать изменения геотермического режима грунтов, нет. До последнего времени мониторинг осуществлялся только по одной глубокой опорной геотермической скважине, которая на сегодня застроена ТД «Очаг» (Ленинский проспект, 25). Начальная глубина скважины в 1959 г. – 200 м, с 1975 г. – 63 м, по состоянию на 2013 г. – 8 м. Анализ данных наблюдений за период с 1959 по 2000 гг. позволил установить, что с 1980 г. температура вечномерзлых пород на глубине 30 м ежегодно повышалась на 0,1 °C, а за период с 1970 по 2002 гг. температура на этой глубине возросла с –5 °C до –3 °C.

До 1970 г. происходило охлаждение вечномерзлых пород, а с 1980 г. началось необратимое повышение температур в толще вечномерзлых пород.

В настоящее время происходит подъем нижней границы вечномерзлых пород. Данные наблюдений по скважине свидетельствуют о начале развития процесса деградации вечномерзлых

пород, по крайней мере, в зоне Ленинского проспекта, где расположена скважина. Этот вывод имеет исключительно большое значение не только для отдельных зданий и сооружений, но и для всего города в целом. Наиболее достоверное подтверждение или опровержение развития процесса деградации мерзлоты может быть получено путем прямых измерений в нескольких опорных глубоких скважинах до 200 м, равномерно расположенных на застроенной территории города. Решение данной задачи в приоритете Арктического мерзлотного исследовательского центра, отдельного структурного подразделения, созданного в Норильском государственном индустриальном институте.

В настоящее время существующую геокриологическую ситуацию в Норильском районе нельзя охарактеризовать как спокойную. По данным организаций, осуществляющих геотехнический мониторинг (мерзлотно-технический надзор), ориентировочно 30% зданий стоит на особом контроле. При неудовлетворительной эксплуатации и дальнейшем прогрессировании существующих деформаций не исключено дополнительное выселение из данных жилых домов в ближайшее время.

Совершенно очевидно, что жилищный фонд в Норильском промышленном районе стареет. Наибольшую долю ветхого неперспективного жилищного фонда составляют дома серии 1–464, 1–447–с («хрущёвки») и серии 1–464–82д («гостинки»), построенные в 60–70-е гг. и имеющие стены из газозлобетонных панелей. В экстремальных условиях Крайнего Севера максимальный срок их эксплуатации составляет 25–30 лет. Реконструкции такие панели не подлежат, т.к. при этом невозможно обеспечить соблюдение требуемых теплотехнических и прочностных качеств, поэтому в настоящее время наблюдается их интенсивное массовое разрушение. На сегодня более 65%

жилых домов с газозолобетонными панелями с серьёзными разрушениями материала конструкций.

Существует другая не менее важная проблема, связанная с неудовлетворительным состоянием бетона конструкций «нулевых» циклов, что не исключает возникновение чрезвычайных ситуаций из-за потери несущей способности фундаментов ввиду их аварийного состояния по материалу (полная потеря несущей способности отдельных свай – разрушение бетона на все сечение и деформирование арматурного каркаса). Для этого потребуется значительно увеличить объёмы и финансирование ремонтно-восстановительных работ по усилению конструкций «нулевых» циклов, реконструкции вводных коллекторов, восстановлению элементов технических подполий. Сейчас усиление и ремонт конструкций нулевых циклов на территории выполняются железобетонными обоями или современными ремонтными смесями. Но уже появились новые технологии, которые позволили бы ускорить процесс их восстановления.

Ещё одна проблема – наличие у «сталинских» построек деревянных цокольных, междуэтажных и чердачных перекрытий. В связи с длительным сроком эксплуатации таких зданий наблюдается снижение и частичная утрата прочностных характеристик строительных конструкций балок чердачного перекрытия (древесина подвержена гниению до 80%).

Ранее на территории единично осуществлялось картирование таликов в грунтовых основаниях зданий комплексными геофизическими методами, которые позволяли получать информацию о распространении талых зон в плане и их мощности по глубине с достаточной степенью надёжности. Данные работы могут являться частью комплекса работ по выявлению причин деформаций зданий, а также по разработке мероприятий по сохранению их устойчивости. Полученные данные позволяют существенно снизить объёмы и

стоимость восстановительных работ, в частности по искусственному замораживанию грунтов. Было бы полезно проведение детальное геофизическое картирование оснований зданий по Ленинскому проспекту и прилегающим к нему домам. Это центральная улица города, которая должна быть, безусловно, сохранена, а именно на ней расположены дома, которые менее всего оборудованы температурными скважинами. В то же время именно они являются последними в «энергетических» цепочках и подвергаются наибольшему риску отепления грунтов в основании фундаментов. Проведение геофизической разведки позволило бы оценить степень этого риска и принять своевременное решение по вопросу дальнейшей эксплуатации таких зданий. Кроме того, в селитебной зоне магистральные коллекторы с инженерными коммуникациями к настоящему времени не имеют средств наблюдений за температурным режимом грунтов. В силу специфики этих линейных подземных сооружений целесообразно вместо устройства температурных скважин регулярно проводить геофизическую съёмку таликовых зон вдоль каналов, включая вводы в здания.

В настоящее время г. Норильск живёт и развивается. Все возникающие проблемы, связанные с эксплуатацией зданий и сооружений, решаемы. Опыт территории Норильска огромен, мероприятия, обеспечивающие восстановление несущей способности отепленных грунтовых оснований, осуществляются. На территории имеются специалисты, имеющие опыт и знания. Но жизнь не стоит на месте, появляются новые технологии, современные строительные материалы. Задача Арктического мерзлотного исследовательского центра – принести практическую помощь по сохранению жилого фонда своего города, внедрению новых технологий и строительных материалов, изучению мерзлоты на селитебной территории города.



Машкин Н.А.
ФГБОУВО «Новосибирский государственный
технический университет»



Бартеньева Е.А.
ФГБОУВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)»



Петров И.И.
ФГБОУВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)»

УДК 691.327

АКТИВИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ

Рассматриваются вопросы активирования цементных вяжущих в технологиях тяжелого и ячеистого бетонов. Особенно актуальным для Крайнего Севера является возможность активирования цементов длительного хранения. Для активирования цементов эффективно применение дезинтеграторов и гидродинамических диспергаторов-активаторов, а также минеральных добавок волластонита и диопсида. Установлено, что в результате активирования прочность цементного камня возрастает до 2 раз, прочность мелкозернистого тяжелого бетона в 1,5 раза, пенобетона – в 1,5-2 раза.

Ключевые слова: Север, активация цемента, дезинтегратор, гидродинамический диспергатор-активатор, минеральные добавки, волластонит, диопсид, мелкозернистый бетон, зола-уноса, пенобетон.

Строительство в районах Крайнего Севера нуждается в высокоактивных цементах для получения высокопрочных конструкционных бетонов, а также эффективных теплоизоляционных ячеистых бе-

тонов. В то же время цементная промышленность России в основном выпускает цемент активностью 32,5–42,5 МПа, что недостаточно для производства эффективных бетонов. Проблемой строительной индустрии на Севере является также

длительное хранение привозного цемента, при котором он теряет свою активность.

К основным способам увеличения активности цемента относится механическая (механохимическая) активация с помощью специальных шаровых мельниц, вибромельниц или валковых дробилок [1].

Активация вяжущего может осуществляться «сухим» или «мокрым» способом. Суть активации заключается в увеличении удельной поверхности материалов с одновременным возрастанием поверхностной энергии, что обеспечивает повышение реакционной способности цементного вяжущего.

К недостаткам сухого способа активирования цемента следует отнести длительность обработки, достигающую до нескольких часов, высокую энергоемкость оборудования и малую его производительность, малые сроки и сложность хранения активированного цемента.

Более эффективна кавитационная обработка цементно-водной суспензии в гидродинамических диспергаторах-активаторах (кавитаторах), встроенных в технологический процесс приготовления бетонных смесей [2].

Принцип работы таких активаторов заключается в создании в жидкой среде, проходящей через рабочие органы установки, эффектов гидродинамической и акустической кавитации, когда возникающие ультразвуковые акустические колебания диспергируют и активируют частицы материала. Интенсивное воздействие на цементно-водную суспензию микроударов, кавитационных разрывов, растяжений и ультразвуковой вибрации приводит к ее нагреву, измельчению частиц дисперсной фазы и образованию устойчивых активированных суспензий. Подвергнутые кавитационным воздействиям цементные композиции приобретают более совершенную организацию структуры и улучшенные качественные характеристики.

Для промышленного активирования цементных вяжущих могут использоваться пальцевые дезинтеграторы сухого и мокрого помола (рис. 1), а также пятисекционные гидродинамические диспергаторы-активаторы (рис. 2). В диспергаторе-активаторе (под действием глубокого вакуума в кавитационных пузырьках) происходит разрыв физических и химических связей в растворах и дисперсиях с образованием ультрадисперсных частиц размером менее $100 \text{ \AA}$ [2; 3].

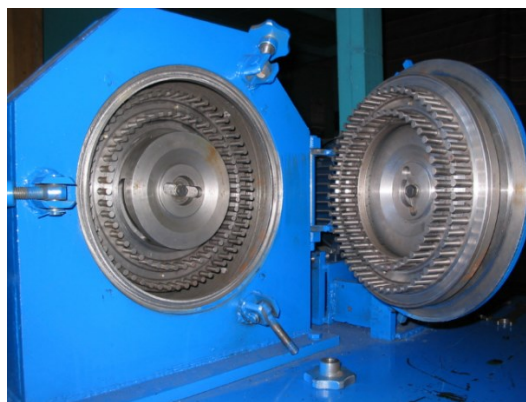


Рис. 1. Дезинтегратор

Технические характеристики дезинтегратора:

1. Максимальная производительность (в зависимости от сырья) – 2–100 т/ч.
2. Максимальный исходный размер частиц – 10–40 мм.
3. Дисперсность получаемых порошков – 1000–10 мкм.
4. Мощность электродвигателя – 15–80 кВт.

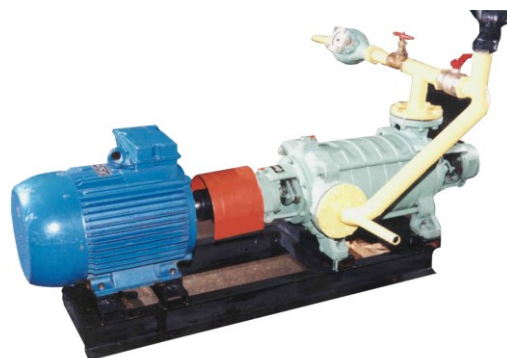


Рис. 2. Гидродинамический диспергатор-активатор

Технические характеристики диспергаторов-активаторов:

1. Максимальная производительность – 2–100 м³/ч.
2. Максимальный исходный размер частиц – 1–4 мм.
3. Дисперсность получаемых порошков – 200–1 мкм.
4. Давление – 0,4–2,0 Мпа.
5. Температура нагрева (интегральная) – 0–130 град.
6. Мощность электродвигателя – 5–400 кВт.
7. КПД (в процессах диспергирования с получением эмульсий, суспензий) – 50–90.
8. Эффективный КПД (в процессах преобразования электрической энергии в тепловую) – 100 %.

При одном проходе через пять активационных (кавитационных) секций диспергатора и 60%-ной концентрации цемента в суспензии прирост прочности цементного камня по сравнению с контрольными образцами достигал 100%, т.е. активность цемента после активации повысилась вдвое.

Основные эксперименты по активированию цементных вяжущих проводились в лабораторном термодинамическом диспергаторе, обеспечивающем достаточно сильное кавитационное воздействие на обрабатываемый материал. Мощность двигателя – 4,5 кВт, производительность по воде – 1 м³/ч, объем кавитационной камеры – 1,7 л.

В качестве сырьевых материалов для изготовления мелкозернистого бетона использовались рядовой искитимский портландцемент М400 (ЦЕМ 32,5), кварцевый песок Криводановского месторождения с $M_k = 1,3$.

В качестве параметров активации в эксперименте варьировались время циклической обработки единичного объема (1,7 л) суспензии в активаторе и массовая концентрация цемента в суспензии. Концентрация изменялась в диапазоне от 20 до 70%, время обработки – от 15 до 55 с.

Выходным параметром была принята прочность при сжатии образцов, твердевших в нормальных условиях. Прочность контролировалась на 3, 7, 14 и 28-е сутки твердения.

Зависимость прочности мелкозернистого бетона от параметров активации имеет ярко выраженный оптимальный характер, вид зависимости, представленной на рис. 3, остается практически неизменным и на 7-е, и на 14-е сутки нормального твердения, а также при пропаривании.

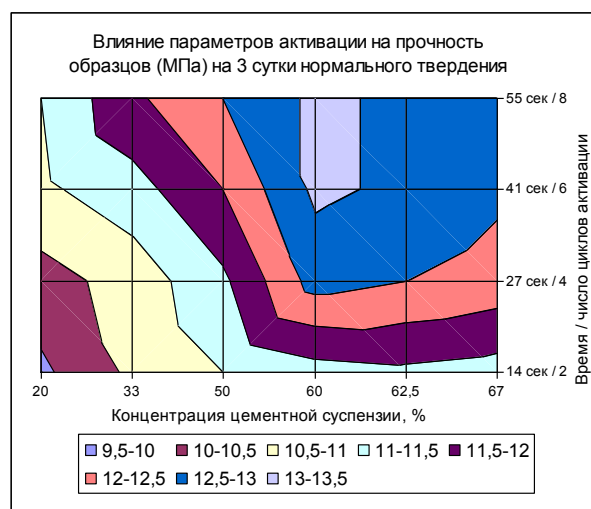


Рис. 3. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от параметров активации

Итоговая 28-суточная прочность активированного при оптимальных параметрах бетона на 47% превышает прочность неактивированного бетона того же состава (30,2 МПа против 20,6 МПа).

Эффект повышения прочности при активировании должен найти применение в производстве железобетонных изделий, поскольку он может позволить отказаться от тепловлажностной обработки изделий или снизить температуру пропаривания.

Привозной цемент в районах Крайнего Севера при длительном (до 1 года) хранении (рис. 4) теряет до половины своей активности.



Рис. 4. Хранение цемента на Крайнем Севере

Для восстановления активности цемента длительного хранения используется технология его помола с дополнительным введением минеральных добавок волластонита и диопсида [7].

Исследования по восстановлению активности цементов длительного хранения путем совместного помола с добавками волластонита и диопсида показали высокую эффективность такого метода. Введение минеральных добавок при совместном помоле цемента позволяют восстановить его активность после длительного хранения (табл. 1, 2) [4].

Технология активирования цементных вяжущих с введением минеральных добавок волластонита и диопсида нашла свое применение и при производстве не автоклавного теплоизоляционного пенобетона [5].

Таблица 1

Прочность при сжатии при введении волластонита в цемент, после годичного хранения в условиях Крайнего Севера [4]

Объект испытания	Количество добавки волластонита, % мас.					
	0	2	5	7	9	11
Тепловлажностная обработка						
Цементный камень	37,9	56,3	61,8	60,9	52,4	55,9
Цементно-песчаный раствор	16,4	22,1	23,3	24,0	24,4	22,0
Бетон	12,5	15,9	17,5	16,9	17,8	15,6
Нормальные условия твердения, 28 суток						
Цементный камень	42,9	60,9	64,7	65,1	67,3	60,4
Цементно-песчаный раствор	18,1	23,3	24,4	25,6	26,8	24,5
Бетон, твердение в течение:						
– 3 сут.	2,4	3,0	3,5	3,8	4,1	3,1
– 7 сут.	4,5	5,7	6,3	7,1	7,6	5,8
– 14 сут.	8,1	10,0	10,9	11,2	11,6	10,2
– 28 сут.	14,5	17,3	18,6	18,9	19,2	17,3

Таблица 2

Прочность при сжатии при введении диопсида в цемент, после годичного хранения в условиях Крайнего Севера [4]

Объект испытания	Количество добавки диопсида, % мас.					
	0	2	5	7	9	11
Тепловлажностная обработка						
Цементный камень	37,9	59,9	65,6	70,2	68,8	64,1
Цементно-песчаный раствор	16,4	20,2	24,9	28,1	27,6	26,1
Бетон	12,5	17,2	18,8	20,1	19,5	18,2
Нормальные условия твердения, 28 сут.						
Цементный камень	42,9	64,1	70,0	74,2	76,4	70,9
Цементно-песчаный раствор	18,1	22,4	25,7	27,4	29,6	27,1
Бетон, твердение в течение:						
– 3 сут.	2,4	3,1	3,8	4,0	4,1	3,7
– 7 сут.	4,5	5,6	6,3	6,8	7,2	6,1
– 14 сут.	8,1	10,8	11,5	12,0	12,4	11,2
– 28 сут.	14,5	18,6	20,3	20,8	21,5	19,7

Для реализации технологии разработаны и запатентованы универсальные металлопластиковые пазо-гребневые формы для производства пенобетонных стеновых блоков [6]. Блоки из таких

форм выходят с точной геометрией и размерами, кладка блоков может осуществляться на клей, следовательно, улучшается конструктивная целостность и теплоизоляция стен, не требуется оштукатуривание или другая трудоёмкая доработка поверхности стен. Фасады зданий, выполненные из блоков разнообразной формы и фактуры, имеют привлекательный и разнообразный архитектурный облик и требуют только грунтовок и окраски паропроницаемыми водоотталкивающими красителями. Неавтоклавный пенобетон на активированном цементе не уступает по качеству автоклавному газобетону, но при этом имеет пониженную стоимость.

Также усиливает экологическую значимость этого материала использование в качестве заполнителя техногенных отходов производств – золы-уноса [7]. Стандартный неавтоклавный теплоизоляционный цементно-зольный пенобетон обладает значительной усадкой и деформациями [8–10], что приводит к повышению теплопроводности, трещинообразованию, нарушению оптимальной пористости, снижению прочности и снижению качества пенобетона.

Для улучшения качества неавтоклавного пенобетона можно использовать отходы горнодобывающей промышленности – минеральные добавки, такие как волластонит и диопсид, которые являются близкими по составу к композициям на основе цемента, по плотности, значениям удельной энтальпии образования и энтропии [4].

Использование таких добавок оказывает упрочняющий эффект на межпоровые перегородки пенобетона. Использование в качестве наполнителей межпоровых перегородок пенобетона волластонита и диопсида приводит также к снижению плотности и коэффициент теплопроводности материала [11].

Для приготовления пены в технологии неавтоклавного пенобетона использовался протеиновый пенообразователь «Foamset», состоящий из протеинов (белков) – биополимеров (ASTM 869-80).

При введении минеральных добавок, являющихся кернами – подложками для новых центров кристаллизации, а также структурно-модифицирующими центрами, происходит дополнительное возмущение, что приводит к снижению средней плотности пенобетона при сохранении прочности (табл. 3).

Таблица 3

Влияние вида, удельной поверхности и способа введения минеральной добавки на свойства пенобетона

Вид добавки	Удельная поверхность, м²/кг	Количество, % мас.											
		0			1			2,5			4		
		$\rho_{ср}$	λ	$R_{сж}$	$\rho_{ср}$	λ	$R_{сж}$	$\rho_{ср}$	λ	$R_{сж}$	$\rho_{ср}$	λ	$R_{сж}$
Введение добавки в пену													
Волластонит	90	547	0,122	1,22	415	0,119	1,37	435	0,105	0,55	638	0,122	1,56
	306				420	0,082	0,97	502	0,097	1,00	512	0,117	1,34
	574				545	0,093	2,1	404	0,104	1,05	783	0,134	2,95
Диопсид	116				345	0,088	1,02	560	0,108	1,47	664	0,130	1,54
	309				401	0,073	1,22	450	0,096	2,74	563	0,079	1,39
	714				488	0,101	1,14	463	0,086	1,06	530	0,110	1,43
Введение добавки в растворную смесь													
Волластонит	90	547	0,122	1,22	375	0,070	1,00	395	0,107	0,55	449	0,114	1,61
	306				420	0,075	0,94	435	0,103	1,19	444	0,085	1,3
	574				361	0,083	0,73	406	0,095	1,18	436	0,094	1,94
Диопсид	116				274	0,069	0,57	377	0,097	0,79	520	0,105	1,22
	309				433	0,074	1,58	467	0,091	0,88	477	0,091	0,69
	714				434	0,084	1,37	461	0,090	0,77	424	0,076	0,73

При введении добавок в растворную смесь в количестве 1% и при удельной поверхности 100 м²/кг данное явление приводит к снижению плотности при введении волластонита до 375 кг/м³ и теплопроводности 0,070 Вт/(м × °С), а введение диоксида приводит к снижению плотности до 274 кг/м³ и теплопроводности 0,069 Вт/(м × °С).

На основании полученных результатов были определены оптимальные составы пенобетона естественного твердения (табл. 4).

Таблица 4

Составы разработанного пенобетона, м³

Вид добавки	Компоненты состава				
	Портландцемент, кг	Зола уноса, кг	Вода, л	Пенообразователь, л	Добавка, кг
Без добавок	330	200	225	1,44	0
Диоксид	163	98	148	0,69	1,63
Волластонит	267	135	205	0,95	2,25

При исследовании физико-механических свойств оптимальных составов пенобетона видно, что использование волластонита и диоксида приводит к сохранению прочности при снижении плотности материала, уменьшению усадочных деформаций (табл. 5). Также снижаются коэффициенты вариации показателей пенобетона с добавками, что свидетельствует о большей однородности структуры и стабильности свойств полученных материалов.

Применение минеральных добавок при активировании цементов приводит к снижению средней плотности пенобетона до 274–375 кг/м³ за счет большего

объема воздухововлечения и, как следствие, уменьшению коэффициента теплопроводности до 0,069–0,070 Вт/(м×°С). При этом обеспечивается пониженная усадка при высыхании 1,7–2,0 мм/м и класс бетона по прочности ($\nu = 0,95$) В0,5–В0,75.

Таким образом, применение методов активирования цементных вяжущих и минеральных добавок в технологиях тяжелых и ячеистых бетонов является эффективным методом для строительной индустрии в районах Крайнего Севера и других регионах Российской Федерации.

Таблица 5

Физико-механические показатели разработанного пенобетона

Показатели	Вид добавки		
	Контрольный состав	Диоксид	Волластонит
Средняя плотность, кг/м ³	547	274	375
Коэффициент вариации средней плотности, %	6,8	4,8	2,9
Предел прочности при сжатии, МПа	1,22	0,57	1,00
Коэффициент вариации предела прочности при сжатии, %	17,4	8,4	3,2
Класс бетона по прочности ($\nu = 0,95$)	В0.75	В0.5	В0.75
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м×°С)	0,122	0,069	0,070
Коэффициент теплопроводности в естественном состоянии, Вт/(м×°С)	0,132	0,074	0,082
Марка по морозостойкости	20	25	25
Усадка пластическая, мм/м	7,20	6,08	5,70
Усадка при высыхании, мм/м	2,6	2,0	1,7

1. Совалов И.Г. Методы активации цементов и влияние активации на свойства бетонов. – М.: ЦБТИ НИИОМТП, 1963. – 41 с.

2. Ламекин Н.С. Кавитация: теория и применение; Гос. нац. рус. академия. – М.: Русаки, 2000. – 246 с.

3. Зибницкая Н.Е., Живетьев Д.И., Машкин А.Н. Перспективы активирования цементных вяжущих в технологии бетонов // Труды НГАСУ. – 2005. – Т. 8. – №2 (32). – С. 87–91.
4. Ильина Л.В., Бердов Г.И., Машкин Н.А. Повышение свойств цементных материалов путем введения дисперсных минеральных добавок: монография. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 175 с.
5. Mashkin N., Bartenjeva E., Mansurov R. Naturally cured foamed concrete with improved thermal insulation properties // MATEC Web of Conferences 4. Сер. «4th International Young Researchers Conference «Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects», YSSIP 2017». – 2018. – С. 02005.
6. Патент №85850 Российская Федерация. Бортоснастка для изготовления стеновых блоков из пенобетона / Машкин Н.А., Баев В.С., Зибницкая Н.Е., Черкашин А.М., Петров И.И., Машкин А.Н. – Оpubл. 20.08.2009 г., бюл. №23; приоритет от 26.01.2009 г.
7. Монтаев С.А., Рыскалиев М.Ж., Маликова С.М. Целесообразность использования цементно-шлакового вяжущего в производстве пенобетона // Новости науки Казахстана – 2016. – №2. – С. 164–174.
8. Аниканова Т.В., Рахимбаев Ш.М. Пенобетоны для интенсивных технологий строительства. – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2015. – 127 с.
9. Технологические приемы уменьшения усадки неавтоклавного пенобетона и повышения класса по прочности / А.И. Кудяков, А.Б. Стешенко, В.В. Конушева, О.О. Сыркин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – №5 (58). – С. 129–139.
10. Wan K., Li G., Wang Sh., Pang Ch. Cement and Concrete Composites. – 2017. – №82. – С. 217–226.
11. Теплопередача. Основы теории теплопередачи / В.С. Чередниченко, В.А. Синицын, А.И. Алиферов [и др.]. Ч. 1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 232 с.



Середович В.А.
*ФГБОУВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»*

УДК 004.9:625.7(571.14)

3D И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ Г. НОВОСИБИРСКА

В статье приведены общее представление о цифровых технологиях, основные противоречия, сложившиеся на сегодняшний день в дорожно-строительной сфере, современное состояние и проблемы внедрения технологии лазерного сканирования автодорог. Сделаны выводы о готовности города к внедрению цифровых технологий в автодорожной отрасли.

Ключевые слова: свайные фундаменты, криолитозона, Норильский промышленный район, многолетнемерзлые грунты.

Общее представление о цифровых технологиях. В России начата активная работа по выполнению поручения Президента по внедрению технологий информационного моделирования (ТИМ) при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов капитального строительства. Вполне вероятно, что с 2022 г. государственное строительство будет идти только по ТИМ.

Появилась новая терминология:

- цифровая экономика;
- цифровое строительство;
- прозрачное строительство;
- цифровизация объектов;
- 3D-технологии;
- 3D ГИС;
- BIM технологии;
- ТИМ.

Основные противоречия, сложившиеся в дорожно-строительной сфере. Существующие нормативные документы по определению параметров геометрических элементов автодорог базируются на принципах 50–70-летней давности и соответствуют тому периоду технического

оснащения строительства и используемых геодезических средств измерений. Нормативные документы базируются на дискретных данных по дорогам (т.е. нормативные документы безнадежно устарели).

Появились средства измерений (лазерные сканеры), позволяющие получать непрерывные трехмерные модели исходных поверхностей с погрешностью от 3 мм до 5 см.

Появилась дорожно-строительная техника, которая может работать в автоматизированном режиме по 3D-моделям исходных поверхностей.

Эти три основные факторы находятся в состоянии непреодолимых противоречий.

Оценка состояния строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Строительство и эксплуатация автодорог находятся в ведении государства, финансируются и управляются государством.

Для управления этим процессом созданы вертикально интегрированные

органы. Вся деятельность регулируется государственными стандартами.

На проектирование, строительство, реконструкцию и ремонт, содержание и эксплуатацию автодорог выделяются огромные финансовые ресурсы.

Ежегодное состояние автомобильных дорог вызывает в обществе недовольство, напряжение и неудовлетворенность.

Появление лазерного сканирования с его возможностями позволяет по-новому посмотреть на автодорожную отрасль вообще и строительство и эксплуатацию автодорог в частности (рис. 1).



Рис. 1. Самая крупная кольцевая развязка на участке Северного объезда г. Новосибирска

Современное состояние и проблемы внедрения технологии лазерного сканирования автодорог. В мире (и России) технология лазерного сканирования активно развивается и находит применение в разных отраслях.

Лазерное сканирование на автодорогах России применяется очень слабо. Наиболее активно идет внедрение технологии в Москве, Санкт-Петербурге, Татарстане, Алтайском крае и других регионах.

Известны примеры внедрения технологии в Росавтодоре и Автодоре только на этапах изысканий.

В СФО эта технология внедрялась в г. Новосибирске и внедряется в Алтайском крае и ее отдельные элементы в других регионах.

Для начала внедрения технологии требуется принятие решения на местах и разработка соответствующих стандартов, регламентов и ТЗ.

Протокольное решение совещания у Полпреда от 01 августа 2017 г. содержит обращение к руководителям субъектов Федерации развивать применение лазерного сканирования в автодорожной отрасли.

Лазерное сканирование как уникальное измерительное средство позволяет:

1. Выполнить сплошной контроль геометрических параметров автодороги.
2. Получить уникальные координаты любого дефекта автодороги (каждый элемент дефекта может быть представлен в разных ракурсах (рис. 2)).

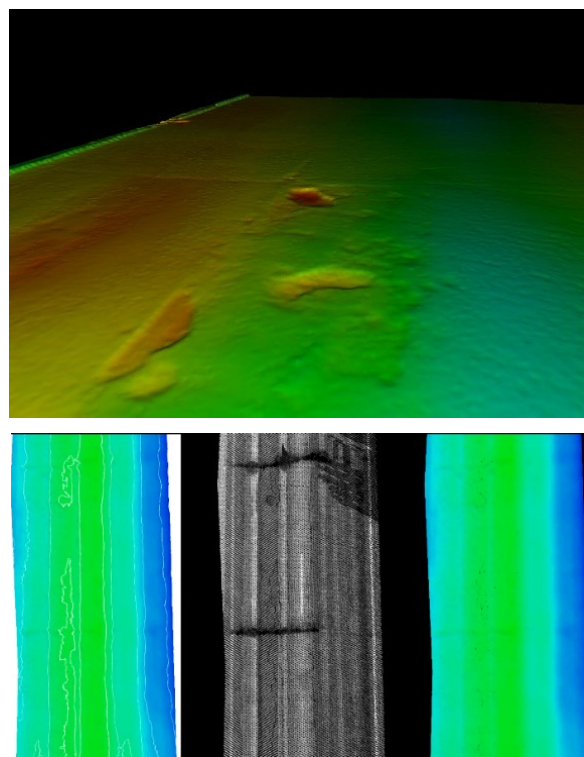


Рис. 2. Виды дефектов

3. Получить уникальные координаты любого элемента и дефекта автодороги, что позволяет обеспечить их полную идентификацию (рис. 3).

4. Выполнить сплошной контроль геометрических параметров автодороги.

5. Оптимизировать процесс строительства автодороги.

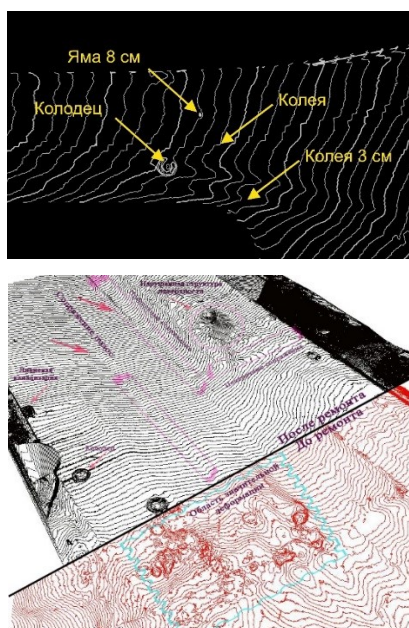


Рис. 3. Идентификация дефектов

6. Оперативно моделировать пространственные данные на этапах фрезирования и укладки всех слоев дорожной одежды, укладки выравнивающего слоя, верхнего слоя, контроля поверхности после укладки верхнего слоя, управления дорожно-строительной техникой, контролировать работу структурных подразделений и субподрядчиков, расходование строительных материалов и т.п.

7. Решать любые уникальные задачи монтажа объектов на автодорогах (рис. 4).

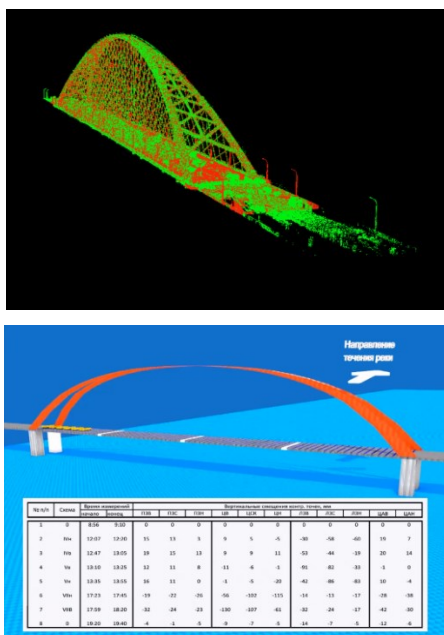


Рис. 4. Монтаж и испытания пролетов Бутринского моста

8. Интегрировать элементы городской инфраструктуры с элементами автодороги и синхронизировать ремонтные и иные работы на автодорогах (рис. 5).

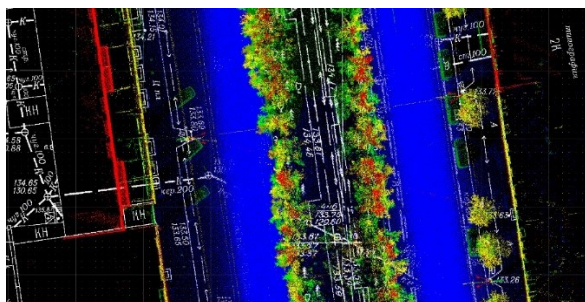


Рис. 5. Фрагмент улицы Красный проспект с совмещением топоплана и данных лазерного сканирования

Некоторые экономические аспекты применения лазерного сканирования. Стоимость лазерного сканирования не превышает предусмотренных сметой дорожно-строительных работ расходов на контроль геометрических параметров.

В процессе реконструкции автодорог (например, в рамках проекта «Безопасные и качественные дороги») последняя кардинально меняет свой вид и форму (появляются тротуары и велосипедные дорожки, изменяется ширина, устанавливается освещение и т.п.). В этой связи появится задача паспортизации автодороги, создания крупномасштабного цифрового топоплана или модели и интеграции их в дежурный план города. При выполнении лазерного сканирования больше не потребуется выполнять полевые измерения и оплачивать их. Решается комплексная задача. В этом случае бюджетные затраты могут быть снижены в несколько раз.

Следует иметь в виду, что лазерное сканирование уже является частью цифровой экономики, т.к. по результатам измерений создает компьютерную модель автодорог и придорожной инфраструктуры.

Применение лазерного сканирования для реконструкции автодорог позволяет только на этапе проектирования (за счет объективных и точных данных об исходных поверхностях) получать более

достоверные проекты с эффективностью до 10%.

Использование данных лазерного сканирования в сочетании с современными техническими возможностями строительства позволяет более эффективно управлять процессом фрезерования и проектирования выравнивающего слоя и экономить на строительных материалах до 10% средств от их стоимости.

На этапе сплошного контроля применение лазерного сканирования позволит выявлять отклонения от проекта и учитывать их при активировании работ или исправлении отклонений от проекта. Все это обеспечивает повышение качества строительства автодорог.

Регулярный мониторинг автодорог с использованием лазерного сканирования позволяет очень эффективно требовать соблюдения гарантийных обязательств качества.

Автодорога и придорожная полоса, как элемент информационных технологий и как наиболее развитые части инфраструктуры, могут стать флагманом формирования 3D-модели территорий, городов, промышленных объектов, горных разработок и экономики в целом. Через 3D-технологии можно выйти и на совершенно другой уровень в экономике: полная компьютеризация, сплошной контроль, прозрачность всех процессов, прецизионная экономика. В целом переход на этот уровень позволит придать новый импульс развития многих отраслей экономики.

Дорожная карта по внедрению технологии 3D и лазерного сканирования на автодорогах:

- подготовка новых нормативно-технических документов и стандартов;
- разработка новых технических заданий и стандартов предприятий по выполнению работ на автодорогах с использованием лазерного сканирования;
- разработка технологии сплошного контроля геометрических параметров строительства и эксплуатации автодорог;

- разработка методик выполнения работ и их сертификация;

- подготовка и переподготовка специалистов, занимающихся строительством и эксплуатацией автодорог.

Выводы. Появление технологии лазерного сканирования, позволяющей получать метрические компьютерные 3D-модели реальных объектов, находит применение в разных отраслях и позволяет по-новому посмотреть на многие процессы в градостроительстве, промышленности и экономике в целом.

Внедрение технологии лазерного сканирования в дорожной отрасли может способствовать повышению качества строительства и эксплуатации автодорог в регионе, повышению эффективности автодорожной отрасли.

Предлагается активно внедрять данную технологию в системе проектирования, строительства и эксплуатации автодорог, в архитектуре, градостроительстве и сплошном контроле качества в субъектах Федерации СФО.

Комплексное применение данной технологии в городах и населенных пунктах способно в несколько раз снизить затраты в градостроительстве.

Сдерживающим фактором внедрения данной технологии является отсутствие нормативно-технической документации и специалистов необходимой квалификации.

3D-модели автодорог могут стать важным элементом цифровой экономики и внедрения 3D-технологий в промышленность, строительство и т.п.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что уже в настоящее время г. Новосибирск по разработанным технологиям полностью готов к внедрению цифровых технологий в автодорожной отрасли.



Елесин М.А.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
индустриальный институт»*

УДК 691.335

ПОЛУЧЕНИЕ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕГИОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В статье приведены сведения о способе получения бетонов, отличающихся высокой прочностью, коррозионной стойкостью. Затворение бетонной смеси в известково-серном отваре является примером активного использования серосодержащих отходов в местной стройиндустрии. Использование отходов металлургического производства делают новый способ получения высокопрочных бетонов экономически выгодным.

Ключевые слова: бетон, известково-серный отвар, прочность, доменные шлаки, белый цемент.

Повышение механической прочности и скорости твердения бетона, а также его морозостойкости, коррозионной стойкости является актуальной задачей, особенно в регионах Крайнего Севера России, характеризующихся жесткими климатическими условиями.

Для активации гидратационного твердения портландцемента в составе бетонных смесей используют различные методы: тепловлажностную обработку, воздействие магнитным полем, введение поверхностно-активных веществ и электролитов, среди которых существенную роль играют соединения кальция.

В последние годы в технологии портландцементных бетонов используют полисульфид кальция, содержащийся в известково-серном отваре (препарат ИСО) [1–3], чаще в технологии быстротвердеющих высокопрочных бетонных смесей в качестве затворителя, усиливающего гидравлическую активность портландцемента [4].

Затворение бетонной смеси в известково-серном отваре является примером гидрохимической активации вяжущего,

влияющей на кинетику и механизм гидратационного преобразования клинкерных минералов.

Для получения высокопрочных бетонов на известково-серном отваре автором было предложено использовать различные отходы цветной металлургии, в частности доменные шлаки, окись-закись железа, а также белый портландцемент.

Прочность бетонов с введением добавки закиси-окиси железа. В опытах использовали портландцемент М400 Норильского цементного завода (состав (%): C_3S – 58,42%, C_2S – 17,35%, C_3A – 7,8%, C_4AF – 13,25%), содержание которого в смеси принимали с учетом получения расчетной прочности на сжатие 20, 30, 40 МПа; нагретый до 85–90 °С суспендированный препарат ИСЗ, содержащий общей 220 г/л растворенной серы, 226,4 г/л полисульфида CaS_n в пересчете на пентасульфид, а также порошковую фракцию закиси-окиси железа. Последняя представлена смесью закиси FeO и окиси железа Fe_2O_3 , которая была получена прокаливанием при 1100–1200 °С

отфильтрованного кека пульпы гидро-окиси железа из шламонакопителя.

Во всех опытах тесто изготавливали равноподвижным, контролируемым осадкой конуса, составляющей 4–6 см. Укладка теста в формы-кубы 5,1×5,1×5,1 см осуществлялась вручную.

Результаты эксперимента приведены в табл. 1. Согласно им, просматривается закономерное уменьшение доли полисульфида кальция в смеси, вызванное ростом содержания портландцемента и, как следствие, снижение расхода ИСЗ на затворение. Этим обстоятельством вызван неустойчивый ход твердения в ИСЗ без добавки закиси-окиси, характеризующийся быстрым набором прочности в пределах 3-суточного твердения и замедленным в последующие сроки. Причем процесс характеризуется восполняемым сбросом прочности, наблюдаемым уже при определении 7-суточной прочности образцов. В данном случае сброс прочности вызван, вероятно, усиливающимся кристаллизационным давлением со стороны формирующейся

фазы на элементы остова гидроалюминатной структуры, сформировавшейся в ранние сроки твердения.

В опытах с добавкой закиси-окиси железа, восполняющей дефицит в системе катиона-модификатора Fe(II), процесс твердения характеризуется устойчивым набором прочности в течение всего 28-суточного срока твердения.

Согласно данным табл. 1, максимальный прирост прочности образцов при отношении цемента к добавке 4:1–2:1 составляет 34–42%. При этом скорость набора $R_{сж}$ в % от 28-суточной прочности изменяется от 145% для бетона М200 до 130% для бетона М400.

При соотношении между цементом и добавкой выше 4:1 и менее 2:1 показатель $R_{сж}$ несколько снижается, оставаясь по-прежнему достаточно высоким в сравнении с образцами без добавки закиси-окиси. В первом случае снижение обусловлено недостатком железа для связывания всей массы гидратационно ионизированного в жидкой фазе кремнезема, а во втором – избытком неусваиваемого наполнителя.

Таблица 1

Результаты опытов с разным содержанием в бетонной смеси портландцемента и наполняющей его добавки закиси-окиси железа

Компоненты бетонной смеси		Затворитель ИСО: $C_{\text{общ}} = 220 \text{ г/л}$; $\text{CaS}_5 = 226,4 \text{ г/л}$					Скорость набора $R_{\text{сж}}$ через 3 сут., в % от 28 сут.	Прочность в % от $R_{\text{сж}}$ контрольных образцов
Нормативная прочность бетона, МПа	Соотношение цемент:добавка	В/Ц	CaS_5 в % от заполнителей	$R_{\text{сж}}$, МПа				
				через 3 сут.	через 7 сут.	конечная		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	–	0,82	1,56	–	13,5	21,2	–	108,5
30	–	0,52	1,48	–	19,9	31,6	–	107,5
40	–	0,45	1,46	–	19,3	31,5	–	91,8
Опыт с добавкой закиси-окиси (цемент:добавка – 4:1)								
20	4:1	0,82	1,9	16,3	–	28,2	65,0	145,1
30	4:1	0,52	1,83	23,2	–	39,3	59,0	135,0
40	4:1	0,46	1,81	34,2	–	45,0	67,0	130,0
Опыт с добавкой закиси-окиси (цемент:добавка – 2:1)								
20	2:1	0,82	1,9	16,7	–	27,8	60,7	143,0
30	2:1	0,52	1,83	22,9	–	39,1	61,0	133,0
40	2:1	0,45	1,81	30,5	–	44,7	68,0	130,0
Опыт с добавкой закиси-окиси (цемент:добавка – 10:1 и 1:1)								
30	10:1	0,49	1,82	–	–	37,9	–	129,0
	1:1	0,55	1,91	–	–	36,4	–	123,4

Прочность бетонов с введением добавки доменных шлаков. Доменные шлаки в контакте с водой не проявляют заметную гидравлическую активность.

Тем не менее в силу химической и минералогической природы, имеющие много общего с клинкерными минералами, в определенных условиях могут являться

гидравлически активными и использоваться в технологии бетонов с целью экономии портландцемента.

В опытах использовали гидравлически неактивный гранулированный доменный шлак, содержащий (% мас.): SiO_2 – 39,5; Al_2O_3 – 16,3; Fe_2O_3 – 2,9; CaO – 34,18; MgO – 3,7; MnO – 3,02; SO_3 – 0,6.

Безклинкерный шлаковый цемент готовили измельчением шлака до дисперсности, определяемой остатком на сите №0315, с добавлением двуводного гипса в количестве 7%. Заметим, что гипс добавлялся не в качестве стандартного активизатора, а после помола для образования тиосульфатсодержащей фазы гидроалюминатов. Для гомогенизации смесь шлакового цемента при затворении подвергалось тщательному усреднению перемешиванием.

Проведено две серии опытов на чистом шлаковом цементе и с добавкой его к портландцементу. Трамбованные образцы готовили из теста нормальной густоты на воде и ИСЗ, содержащим 220 г/л растворенной серы с добавкой и без такой порошковой фракции закиси-окиси железа. Отверждение осуществлялось выдержкой образцов кубов $7 \times 7 \times 7$ см в нормальных условиях продолжительностью 28 сут.

Результаты опытов на чистом шлаковом цементе с добавкой наполнителя закиси-окиси железа приведены в табл. 2.

Согласно приведенным данным, гидравлическая активность шлакового цемента в контакте с водой и ИСО весьма слабая. С технологической точки зрения затворение шлакового цемента в ИСЗ не представляет интереса. В опытах с добавкой наполнителя – закисного железа – гидравлическая активность шлакового цемента резко возрастает и с точки зрения конструкционного качества изделия из таких смесей представляют интерес с учетом использования дешевого вяжущего.

Таблица 2

Зависимость показателя $R_{сж}$ образцов на шлаковом цементе с наполняющей добавкой закиси-окиси и без нее

Соотношение добавка: шлаковый цемент	В/Ц	Начало схватывания, час·мин.	Конец схватывания, час·мин.	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут.
Затворитель–вода (контрольный опыт)				
0 : 1	0,26	2:40	3:35	4,7
Затворитель–ИСЗ				
0 : 1	0,21	2:10	4:20	5,9
Затворитель–ИСЗ с добавкой наполнителя				
1 : 10	0,24	1:50	3:20	18,5
1 : 4	0,29	1:55	3:10	19,4
1 : 2	0,29	1:50	2:40	21,0
1 : 1	0,28	1:55	2:30	19,6

Во второй серии опытов в качестве вяжущего была использована в разном соотношении смесь портландцемента М 400 и шлакового цемента с добавкой наполнителя – порошковой фракции закиси-окиси железа – в соотношении к вяжущему, равном 1:4.

Данные показателей твердения, приведенные в табл. 3, практически те же, что и в табл. 2, полученные на портландцементе без добавки шлакового цемента. Они свидетельствуют, что шлаковый цемент в смеси с портландцементом в ИСЗ дополнительно активизируется и представляет при соотношении его к портландцементу 1:2–1:1 равнозначную ему замену.

Таблица 3

Зависимость показателя $R_{сж}$ образцов с использованием смеси шлакового цемента и портландцемента

Соотношение портландцемент: шлаковый цемент	В/Ц	Начало схватывания, час·мин.	Конец схватывания, час·мин.	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут.
Затворитель–вода (контрольный опыт)				
0 : 1	0,26	2:45	3:45	32,8
Затворитель–ИСЗ				
1 : 4	0,32	2:25	3:30	67,6
1 : 1	0,28	2:26	3:20	84,9
2 : 1	0,26	2:24	3:25	85,0

Согласно рентгенограмме (рис. 1), полученной на продуктах гидратации в

концентрированном ИСЗ смеси портландцемента со шлаком, наполняемым порошковой фракцией закиси-окиси железа, высокая прочность цементного камня обусловлена образованием тех же гидратов, что и без добавки шлака. Преобладающими являются низкоосновные гидросиликаты состава $(0,8-1,5) \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ образуется также гидрогаленит $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, высокомолекулярный антофиллит $\text{F}_7[(\text{OH})_2(\text{SiO}_4\text{O}_{11})_2]$ и тиосульфатсодержащий гидросульфатоалюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4(24-x)\text{H}_2\text{O}$.

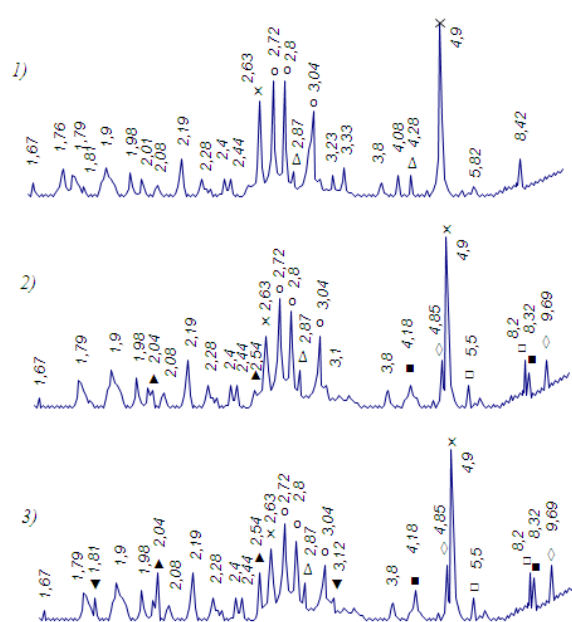


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов гидратации вяжущих систем: 1 – портландцемент–вода; 2 – портландцемент–ИСЗ ($S_{\text{общ}} = 1 \text{ г/л}$); 3 – портландцемент–ИСЗ ($S_{\text{общ}} = 220 \text{ г/л}$).

Условные обозначения: $\times$ – $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
 $\circ$ – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\blacksquare$ – $\text{Ca}_3\text{Al}_4\text{O}_{12} \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{S}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$;
 Δ – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\diamond$ – $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{S}_2\text{O}_9 \cdot x\text{H}_2\text{O}$;
 $\blacktriangledown$ – $\text{Ca}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 2(\text{Fe}(\text{OH})_2)$;
 $\blacktriangle$ – $\text{Ca}_2\text{Fe}_5^{2+}[\text{Si}_3\text{O}_{22}][\text{OH}]_2$;
 $\square$ – $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Полученные результаты показывают возможность эффективной замены существенной части портландцемента в составе быстротвердеющих высокопрочных бетонов на более дешевый шлак.

Прочность бетонов на белом портландцементе. Практический интерес представляет способность белого порт-

ландцемента, затворенного в концентрированном ИСЗ, превращаться в быстротвердеющую массу с большой конечной прочностью.

Опыты проводили на вяжущем растворе (1:3), для приготовления которого использовали цемент БЦ–II, а в качестве песковой фракции – карбонатные высевы. Затворение осуществляли в воде и насыщенном ИСЗ (концентрация серы 200 г/л). Образцы-кубы выдерживали в нормальных условиях.

В табл. 4 представлены результаты испытания бетонных образцов разных проектных марок, затворенных в воде и ИСЗ.

Таблица 4

Влияние ИСЗ на скорость набора прочности образцов на белом цементе в зависимости от марки бетона

Расчетная прочность	Ж/Ц	Прочность МПа, через сут.			
		3	7	14	28
Концентрация серы в затворителе – 0 г/л					
М 50	0,92	1,342	2,745	3,859	4,82
М 100	0,75	3,096	5,639	7,619	9,76
М 150	0,69	4,793	8,659	11,579	14,78
М 200	0,59	6,326	11,278	15,839	19,98
М 300	0,52	9,89	17,519	23,759	29,58
Концентрация серы в затворителе – 180 г/л					
М 50	0,73	2,934	5,437	7,767	9,83
М 100	0,67	6,078	9,656	12,365	16,592
М 150	0,61	9,657	15,778	18,526	23,24
М 200	0,58	12,156	17,384	23,657	28,48
М 300	0,55	15,68	24,267	30,934	36,57

Согласно полученным данным, промежуток времени до начала схватывания модифицированного теста сокращается до 6 мин., а конец схватывания наступает не позднее 20 мин. Через 3 сут. прочность превышает 50% от 28-суточной. По ряду прочностных показателей такой цемент может использоваться как альтернативная замена глиноземистого в качестве компонента быстротвердеющих вяжущих.

Для испытания изготавливались образцы размером $10 \times 10 \times 10$ см. Данные свидетельствуют, что при высоких концентрациях серы в ИСЗ образцы обладают более высокими прочностными

свойствами как в ранние сроки, так и в возрасте 28 сут.

Из полученных бетонных смесей на основе белого портландцемента можно получить быстротвердеющие и высокопрочные тротуарную плитку, фасадно-облицовочную плитку и различные декоративные материалы.

Технология изготовления тротуарной плитки включает в себя несколько основных этапов:

- подготовку форм;
- приготовление бетонной смеси;
- формование на вибростоле;
- выдерживание изделий в течение нескольких часов в формах;
- распалубку изделий;
- упаковку и хранение.

За счет ускорения набора прочности и использования дешевых компонентов добавки изготовление изделий будет дешевле и экологически более эффективным.

Реологические свойства и время схватывания разработанных составов бетонной смеси. Известно, что на реологические свойства вяжущих портландцементных дисперсий в значительной степени влияет водоцементное отношение (В/Ц). Причем чем выше концентрация вяжущего в бетонной смеси, тем она более пластичная и удобоукладываемая. В практике снижения В/Ц, способствующего росту как ранней, так и нормативной прочности, добиваются введением ПАВ. Считается, что присутствие этих соединений при гидратации цемента влияет на многие аспекты механизма гидратации и, прежде всего, на ее кинетику и конечную прочность. В этой связи важно отметить, что при большой объемной концентрации цемента и низким В/Ц, характерным для высокопрочного бетона, скорость гидратации снижается. Однако прочность в этом случае не является однозначной функцией степени гидратации, т.к. в сильно стесненных условиях, когда объем межчастичного пористого пространства чрезвычайно

мал, для формирования высокой прочности не требуется большого количества гидратных новообразований, цементирующих высокопрочные клинкерные зерна. Этот факт подтверждается высокой прочностью цементного камня, достигающего за 3 сут. 140 МПа, за 28 сут. – 190–210 МПа при В/Ц = 0,09–0,10. С увеличением содержания воды наблюдается тенденция к снижению скорости набора прочности, и цементный камень из теста нормальной густоты имеет прочность в пределах 90–110 МПа.

Все это свидетельствует о том, что, несмотря на замедляющее действие ПАВ, в частности пластификаторов, за счет образования экранирующих пленок скорость набора прочности в значительной степени определяется контактным взаимодействием уже сформировавшихся гидратов, под действием координационных межзерновых связей [5; 6].

На этом свойстве портландцементно-водных пластифицированных дисперсий основано ряд способов получения быстротвердеющих высокопрочных бетонов.

С изложенным определенным образом согласуется факт последствий снижения водопотребности портландцементно-водных систем, затворенных с использованием в качестве затворителя высокоминерализованного препарата ИСЗ [7]. В отличие от ПАВ, образующих на поверхности экранирующие пленки, его действие обусловлено снижением адсорбционной активности молекул воды на поверхности цементных зерен. Для понимания сути явления достаточно представить структуру высокоминерализованного полисульфидно-тиосульфатного раствора как высокосольватированную систему связей ионов с полярными молекулами воды, прочность которых может быть соизмеримой с прочностью адсорбции воды на твердой поверхности. Отсюда снижается активность ее в жидкой фазе, ослабевают силы адсорбционного закрепления молекул на поверхности цементных зерен, вследствие

чего частицы твердого в объеме такой жидкости слабо связаны друг с другом молекулярными силами через мостики адсорбированных пленок воды и, следовательно, менее агрегированы и более подвижны. Этим объясняется снижение водопотребности, а также ослабевание топахимического фактора гидратации клинкерных минералов и усиление растворного механизма кристаллизации.

Характер влияния ИСЗ на В/Ц отношение и время схватывания демонстрируется повышением кривых в зависимости от концентрации серы в затворителе (рис. 2). Опыт проводили на цементном растворе (Ц:П=1:3). В опытах использовали портландцемент марки М400 Норильского цементного завода состава (в%): C_3S – 58,42; C_2S – 17,35; C_3A – 7,80; C_4AF – 14,25. Препарат ИСЗ, содержащего изначально полисульфид и тиосульфат кальция в эквимолекулярном соотношении, готовили растворением порошковой серы в нагретой известковой суспензии.

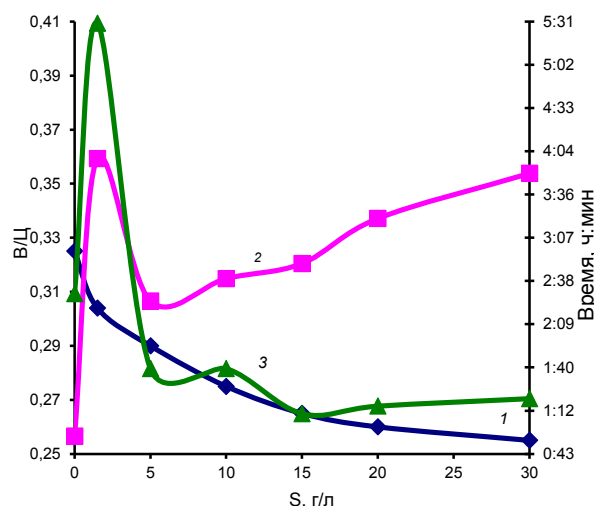


Рис. 2. Зависимость В/Ц (1), времени начала схватывания (2) и общего времени схватывания (3) цементного теста от концентрации серы в затворителе

Из данных рис. 2 видно, что кривая В/Ц (отношение рассчитывалось за вычетом объема содержащихся в затворителе солей) с увеличением концентрации серы сначала круто падает, а по

мере роста концентрации серы выполаживается. В целом при концентрации серы на уровне 100 г/л В/Ц отношение уменьшается от 0,325 до 0,26, т.е. уменьшение В/Ц составляет 20%. Заметим, что на бетонных смесях с относительно меньшей объемной долей в смеси цемента и соответственно меньшей объемной долей продуцируемого гидроксида кальция, пластифицирующего смесь, влияние ИСЗ на снижение В/Ц более заметно.

Влияние концентрации ИСЗ на начало и общее время схватывания более сложное. Характер поведения кривых обусловлен, вероятно, соотношением фаз гидроалюминатов, образовавшихся с участием тиосульфата кальция и без него (см. рис. 1).

Так, согласно рентгенограмме, сокращение сроков схватывания теста коррелирует с преобладанием в гидроалюминатной фазе комплексной соли $Ca_8Al_4O_{12}SO_4S_2O_3 \cdot 24H_2O$, идентифицируемой по наличию на рентгенограмме дифракционных максимумов с $d \cdot 10^{-8}$ м (832, 418, 335). В соответствии с принятой в практике цемента записью химической формулы в стехиометрической форме последнюю можно представить как соединение $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaS_2O_3 \cdot xH_2O \cdot 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4(24-x)H_2O$, составленное тиосульфатной и сульфатной формой гидросульфалюмината.

В обоих случаях время начала схватывания и общее время схватывания при малых добавках ИСО возрастает, а затем по мере роста концентрации серы в затворителе снижается. Причем при концентрации на уровне 5 г/л происходит резкий излом кривой общего времени схватывания с резким падением от 5 ч 31 мин. до 1 ч 12 мин. На этом низком уровне общее время схватывания остается неизменным при росте концентрации серы в затворителе вплоть до 100 г/л растворенной серы. Причины, обуславливающие сокращение времени схватывания, вероятно, идентичны тем, что вы-

зывают быстрый набор прочности в ранние сроки, а именно улучшение усваива-

емости гипса за счет совместного с тиосульфатом кальция взаимодействия его с гидратирующим алюминатом.

1. Патент №4193809 США, C04B7/02. Высокопрочные бетонные изделия. Оpubл. 18.03.82.

2. Патент №2118620 РФ. Комплексная добавка для бетонных и растворных смесей / Машкин Н.А., Елесин М.А. Оpubл. 10.09.98. Бюл. №25.

3. Елесин М.А., Бердов Г.И., Павлов А.В. Исследование механизма гидратационного преобразования портландцемента в растворе полисульфида кальция // Журнал прикладной химии. – СПб., 2002. – Т. 75. Вып. 6. – С. 903–907.

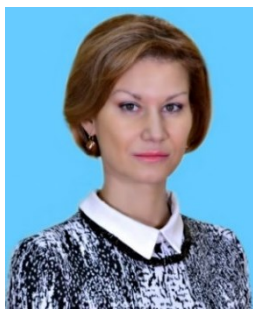
4. Елесин М.А. Полисульфид кальция как заменитель быстротвердеющих портландцементов в бетонах // Известия вузов.

Строительство. – Новосибирск, 2008. – №5. – С. 25–28.

5. Полак, А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. – М., 1996. – 387 с.

6. Свиридов Н.В., Коваленко М.Г. Бетон прочностью 150 МПа на рядовых цементах // Бетон и железобетон. – 1990. – №2. – С. 21–22.

7. Елесин М.А., Павлов А.В., Сокольская Ю.Б. Исследования гидратации портландцемента в растворе серы в гидроксиде кальция // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2000. – №4. – С. 34–39.



Губина Н.А.
*ФГБОУВО «Норильский государственный
 индустриальный институт»*

УДК 697.34

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА ЖИЛОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ЗАКРЫТУЮ СИСТЕМУ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В работе изучены варианты перехода жилого образования на закрытую систему теплоснабжения в соответствии с ФЗ №417 от 07.12.2011 г. Выбран экономически целесообразный вариант. В соответствии с этим законом с 01.01.2013 г. не допускается подключение потребителей к централизованным открытым системам теплоснабжения для нужд ГВС, а с 01.01.2022 г. запрещается использование таких систем и рекомендуется поэтапный переход на закрытые системы.

Ключевые слова: система теплоснабжения, централизованная система теплоснабжения, закрытая система теплоснабжения, теплообменный аппарат, очистные сооружения, обеззараживание воды.

С развитием строительства жилых и общественных зданий и непрерывным улучшением культурно-бытовых условий жизни все больше увеличивается потребность в горячей воде (расход горячей воды в жилых зданиях составляет от 20 до 40% общего водопотребления). Горячую воду расходуют на бытовые и производственные нужды. В зависимости от назначения ее потребляют в смеси с холодной водой или самостоятельно. Поступающая в систему горячего водоснабжения вода не должна быть жесткой и агрессивной по отношению к материалу труб. Содержание кислорода, растворенного в воде, не должно превышать 5 мг/л, свободной углекислоты 20 мг/л.

Существуют закрытые и открытые системы теплоснабжения. Различие между системами в том, что в открытой системе горячая вода на нужды отопления и ГВС разбирается из одной тепловой сети и приготавливается на ТЭЦ. В закрытой системе горячая вода от ТЭЦ поступает только на нужды отопления, а для ГВС используется холодная вода, подогретая в центрально тепловых

пунктах местного или центрального значения.

В соответствии с ФЗ от 07.12. 2011 г. №417–ФЗ с 01.01.13 г. не допускается подключение потребителей к централизованным открытым системам теплоснабжения для нужд ГВС, а с 01.01.2022 г. запрещается использование таких систем и рекомендуется поэтапный переход на закрытые системы [1].

Цель данного исследования – изучение вариантов перехода жилого образования Оганер на закрытую систему теплоснабжения в соответствии с ФЗ №417 от 07.12. 2011 г.

В процессе выполнения исследования были рассмотрены два варианта перевода жилого образования Оганер на закрытую систему теплоснабжения. Для каждого из вариантов:

- выполнен анализ существующей технологической схемы очистных сооружений жилого образования Оганер;
- произведен расчет расходы воды и гидравлический расчет трубопроводов;
- подобрано необходимое для реализации проекта оборудование.

В первом варианте рассматривается постройка нового трубопровода от очистных сооружений жилого образования Оганер до ЦТП на существующих опорах. В существующем здании ЦТП предлагается установка пластинчатых водоподогревателей и использование для нужд ГВС холодной воды питьевого качества, подаваемой с очистных сооружений жилого образования Оганер и подогреваемой на пластинчатых водоподогревателях. Для подогрева воды до нужной температуры будет использоваться нагретая вода от ТЭЦ–1, поступающая в настоящее время на ЦТП для обеспечения жилого образования Оганер тепловой энергией на нужды отопления и ГВС.

Расчет расхода горячей воды на нужды горячего водоснабжения определяется согласно методике, приведенной в СНиП 2.04.01–85 «Внутренний водопровод и канализация» [2].

Максимальный часовой расход горячей воды на нужды горячего водоснабжения, превышение которого является достаточно редким случаем, рассчитывается с учетом вероятности действия санитарно-технических приборов.

Для отличающихся потребителей [2]:

$$NP = \frac{q_{hr,u} \times U}{q_0 \times 3600};$$

$$NP_{hr} = \frac{3600 \times P \times q_0}{q_{0hr}}.$$

Для одинаковых потребителей [2]:

$$P = \frac{q_{hr,u} \times U}{q_0 \times N \times 3600};$$

$$P_{hr} = \frac{3600 \times P \times q_0}{q_{0hr}}.$$

где q_{0hr} – секундный расход санитарно-техническим прибором, м³/с [2]; U – число потребителей (административный персонал, количество условных блюд), чел.; N – количество санитарно-технических приборов, шт.; P – вероятность действия санитарно-технических приборов [2]; P_{hr} –

вероятность действия санитарно-технических приборов в течение часа [2].

Максимальный часовой расход горячей воды на горячее водоснабжение определяется по формуле [2]:

$$q_{hr} = 0,005 \times a \times q_{0hr},$$

где a – коэффициент, принимаемый в зависимости от соотношения N и P по табл. 1 прил. 4 [2] или в зависимости от произведения NP по табл. 2 прил. 4 [2].

Среднечасовой расход воды на горячее водоснабжение определяется по формуле [2]:

$$Q_{cp} = \sum \frac{q_u \times U}{1000 \times T},$$

где U – число потребителей, чел.; T – период (сутки, смена) максимального водопотребления; q_u – норма расхода потребителем в сутки (смену) наибольшего водопотребления [2].

Расчетный расход тепла на нужды горячего водоснабжения определяется по формуле [2]:

$$Q_{гвс} = q_{hr} \times C \times (t_r - t_x),$$

где q_{hr} – расчетный максимальный часовой расход горячей воды, м³/ч; C – теплоемкость воды, ккал/(кг × °C); t_x – температура холодной воды, принимается равной 5 °C; t_r – температура горячей воды, принимаемая равной 65 °C.

Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. 1.

Водоводы целесообразно проектировать в две нити. Диаметр трубопровода определяется расчетным методом, по расходу воды 57,11 м³/ч, или 16 л/с.

Диаметр трубопровода равен [4]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,016}{3,14 \cdot 1}} = 0,142 \text{ м},$$

где $q = 16 \text{ л/с} = 0,016 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход воды потребителями и центральной городской больницей; $v = 1 \text{ м/с}$ – скорость движения воды в трубопроводе [2].

Таблица 1

**Определение расхода воды и тепла на горячее водоснабжение
на хозяйственно-бытовые нужды**

1	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ		
	1.1	Число потребителей U , жителей	4793
	1.2	Число сантехнических приборов N , шт.	6264
	1.3	Время работы системы T , ч	24
	1.4	Циркуляция (1 – да; 0 – нет)	1
	1.5	Тип системы (1 – открытая; 0 – закрытая)	0
2	НОРМАТИВНЫЕ ДАННЫЕ		
	2.1	Измеритель	1 чел.
	2.2	Нормы расхода воды	
		В сутки наибольшего водопотребления	
		– общая (в том числе горячей) q_{totu} , л/сут.	300
		– горячей q_{hu} , л/сут.	120
		В час наибольшего водопотребления:	
		– общая (в том числе горячей) q_{totu} , л/сут.	15,6
		– горячей q_{hu} , л/сут.	10
	2.3	Расход воды прибором:	
		– общий (холодной и горячей) q_{toto} , л/с	0,3
		– холодной q_{co} или горячей q_{ho} , л/с	0,2
		– общий (холодной и горячей) $q_{toto,hr}$, л/ч	300
		– холодной $q_{co,hr}$ или горячей $q_{ho,hr}$, л/ч	200
3	РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА		
	3.1	Вероятность действия санитарно-технических приборов	0,0106
	3.2	Коэффициент a	18,2210
	3.3	Максимальный секундный расход горячей воды, л/с	18,22
	3.4	Вероятность использования сантехнических приборов	0,0383
	3.5	Коэффициент a_{hr}	57,1137
	3.6	Максимальный часовой расход горячей воды, м³/ч	57,11
	3.7	Средний часовой расход горячей воды, м³/ч	23,97
	3.8	Суточный расход горячей воды, м³/сут.	575,16
	3.9	Потери тепла трубами, ккал/ч	359550
	3.10	Среднечасовой поток на ГВС, ккал/ч	1558050
	3.11	Максимальный часовой тепловой поток на ГВС, ккал/ч	3215050

Принимается стандартный ближайший диаметр (внешний) 140 мм, с толщиной стенки 5,5 мм.

Тогда для этого диаметра трубы скорость потока воды составит [3]:

$$v = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,016}{3,14 \cdot 0,135^2} = 1,1 \text{ м/с},$$

где $q = 16 \text{ л/с} = 0,016 \text{ м}^3/\text{с}$ – расход воды потребителями и центральной городской больницей; $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, м.

Скорость движения воды в подающем трубопроводе принимается в соответствии со СНиП в пределах 0,7–1,2 м/с. Данная скорость удовлетворяет условиям [2].

Так как рельеф местности неровный, и предусматриваются спускные краны на каждом участке трубопровода, то уклон не нужен – труба будет опорожняться без уклона.

Потери напора на местные сопротивления определяются по формуле [3]:

$$h_m = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} =$$

$$= (3 \times 0,40 + 2 \times 0,40 + 5 \times 0,30) \cdot$$

$$\cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,21 \text{ м},$$

где $\sum \xi$ – суммарный коэффициент местного сопротивления [3]; v – скорость движения воды в трубопроводе, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Потери напора по длине определяем по формуле Дарси-Вейсбаха [3]:

$$h_l = \lambda \times \left(\frac{l}{d_{BH}} \right) \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} \right) =$$

$$= 0,02 \times \left(\frac{1003}{0,135} \right) \times \left(\frac{1,1^2}{2 \times 9,81} \right) = 8,9 \text{ м},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, [3]; l – длина трубопровода, м; d_{BH} – внутренний диаметр трубопровода, м; v – скорость движения воды в трубопроводе, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Режим течения воды в трубопроводе (число Рейнольдса) определяем по формуле [3]:

$$Re = \frac{v \times d_{BH}}{\vartheta} = \frac{1,1 \times 0,135}{1,058 \times 10^{-6}} = 140359,$$

где d_{BH} – внутренний диаметр трубопровода, м; v – скорость движения воды в трубопроводе, м/с; ϑ – кинематический коэффициент вязкости жидкости, для воды с температурой 5 °C = 1,058 × 10⁻⁶ м²/с.

Число Рейнольдса первого и второго предела определяем по формулам [3]:

$$Re_{Iпр}^I = 10 \times \frac{d_{BH}}{K} = 10 \times \frac{0,135}{0,5} = 2,7;$$

$$Re_{Iпр}^{II} = 500 \times \frac{d_{BH}}{K} = 500 \times \frac{0,135}{0,5} = 135,$$

где d_{BH} – внутренний диаметр трубопровода, м; K – эквивалентная шероховатость для стальных труб с пластиковым покрытием внутри, $K = 0,5$.

Так как $Re_{Iпр}^I \leq Re \leq Re_{Iпр}^{II}$, гидравлический коэффициент трения будет равен [3]:

$$\lambda = 0,11 \times \left(\frac{K}{d_{BH}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left(\frac{0,5}{0,135} \right)^{0,25} = 0,02.$$

Суммарные потери напора определяются по формуле [3]:

$$h = h_l + h_m = 8,9 + 0,21 = 9,11 \text{ м},$$

где h_l – потери напора по длине трубопровода, м; h_m – потери напора на местные сопротивления, м.

В качестве тепловой изоляции предусмотрено использование скорлуп из пенополиуретана, которые соответствуют техническим условиям ТУ 5768–003–11725389–2000.

Методика расчета пластинчатых теплообменных аппаратов основана на использовании в них всего располагаемого напора теплоносителей с целью получения максимальной скорости каждого теплоносителя и, соответственно, максимального значения коэффициента теплопередачи или при неизвестных располагаемых напорах по оптимальной скорости нагреваемой воды.

Для улучшения процесса теплообмена принимается симметричная компоновка пластинчатого теплообменного аппарата, т.к. при данной схеме компоновки в аппарате обеспечивается противоточный характер движения нагреваемой и нагревающей среды.

Подбор теплообменных аппаратов осуществлялся с помощью программы «Danfoss HEX». Марка теплообменных аппаратов и технические характеристики приведены в табл. 2. Так как в НПР принято центральное качественное регулирование параметров теплоносителя и температур теплоносителя, подаваемая температура с ТЭЦ–1 на ЦТП различна в зависимости от температуры наружного воздуха и изменяется в соответствии с температурным графиком 115–70 °C. Для расчета и подбора теплообменного аппарата принимаем температуру греющей воды на входе в теплообменный аппарат 70 °C. Для компенсации «запаса» площади теплообменного аппарата при увеличении температуры

теплоносителя в течение отопительного периода предусматривается установка системы автоматизации.

Подобран тип теплообменного аппарата XG 50–1180, Danfoss Code

004B1101. Мощность 3953,3 кВт. Характеристика теплообменного аппарата представлена в табл. 2, схема теплообменного аппарата – на рисунке.

Таблица 2

Характеристика теплообменного аппарата

Типовые данные	Первичная сторона	Вторичная сторона
Расход, м ³ /ч	110,167	57,110
Входная температура, °C	70,0	5,0
Выходная температура, °C	40,3	65,0
Действие обратной температуры, °C	38,7	-
Потери напора, кПа	18,2	5,2
Скорость м/с	3,3	1,2
Скорость, м/с	0,229	0,118
Расчетные данные	Первичная сторона	Вторичная сторона
Число/контур	89	90
Объем воды, л	152,19	153,90
Допустимое давление, бар	16	16
Допустимая температура, °C	150	150
Запас поверхности, %	7,14	
Поверхность теплообмена, м ²	68,20	
Вес, кг	1179,00	
Физические свойства		
Теплоноситель первого контура	Вода	
Теплоноситель второго контура	Вода	
Теплоёмкость, кДж/кг·K	4,182	4,178
Плотность, кг/м ³	986,1	994,0
Динамическая вязкость, м/м ²	0,498	0,702
Теплопроводность, В/м·K	2995	1099
Габаритные размеры, мм	A–765; B–540; C–240; D–1096; E–242; F–1458; L _{max} –2500	
Материал пластин	Нержавеющая сталь	
Материал патрубков	Нержавеющая сталь	

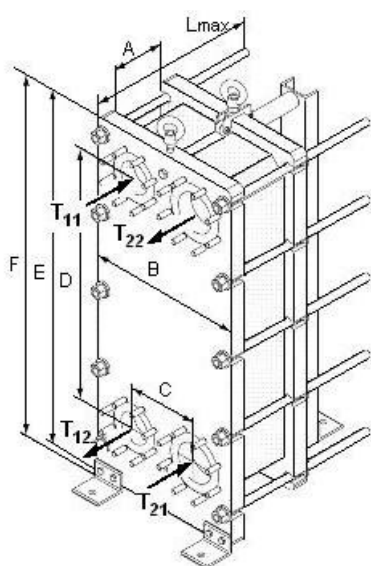


Схема теплообменного аппарата

Во втором варианте предложено строительство нового трубопровода от камеры переключения, которая находится в г. Норильске, до существующего трубопровода Ду 600. Часть воды будет заходить на ЦТП для подогрева её до нужной температуры и подачи потребителям горячей воды. В камере ЦТП будет предусматриваться пластинчатый теплообменник и вторичное обеззараживание.

Остальная вода будет подаваться на очистные сооружения Оганер, где после повторного обеззараживания будет поступать потребителям. Часть оборудования очистных сооружений будет выведена из эксплуатации.

Предлагаемая технологическая схема очистных сооружений. В качестве реагента для обеззараживания воды на очистных сооружениях жилого образования Оганер предусмотрена хлораторная установка. Хлорирование воды происходит гипохлоритом натрия.

Длину участков трубопровода для хлорирования в соответствии с «Санитарными правилами для хозяйственно-питьевых водопроводов 2.1.4.12–3–2005» рекомендуется назначать не более 3 км в целях достижения требуемой концентрации активного хлора в конце хлорируемого участка (не менее 50% от заданной дозы).

Длина проектируемого трубопровода равна 4,1 км, что превышает рекомендуемую длину водовода. Следовательно, существует необходимость в дополнительном обеззараживании хозяйственно-питьевой воды на очистных сооружениях жилого образования Оганер.

В качестве установки для обеззараживания воды принимается обработка ультрафиолетовым излучением. В этом методе используется свет с протяженностью волны 254 нм, который называется антибактериальным.

Установки имеют производительность от 1 до 50000 м³/ч. Сами установки представляют собой камеры, сделанные из нержавеющей стали, с размещенными внутри ультрафиолетовыми лампами, защищенными от контакта с водой прозрачными кварцевыми чехлами. Вода, проходя через камеру обеззараживания, постоянно подвергается облучению, которое убивает все мельчайшие организмы.

Преимущества метода УФ-обеззараживания по сравнению с технологиями хлорирования и озонирования: мгновенное обеззараживание, инактивация микроорганизмов и эффективность против вирусов; не вносит изменений в химический состав обрабатываемой воды; вода сохраняет природные вкус и запах; минимальные эксплуатационные затраты и максимальная безопасность.

УФ оборудование подбирается по расходу воды 57,11 и 62,89 м³/ч и устанавливается на ЦТП. Для данного проекта выбрана установка ОДВ–70, технические характеристики которой представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики установки

Производительность, м ³ /ч	Потребляемая мощность, Вт	Ду патрубка, мм	Масса, кг	Габаритные размеры, м
70	870	100	124	0,3×0,5×1,4

Для регулирования неравномерности водопотребления и аккумулярования воды на территории очистных сооружений жилого образования Оганер находятся два резервуара чистой воды ёмкостью 3750 м³. Резервуары оборудованы подающими, отводящими и переливными трубопроводами. Конструкция резервуаров обеспечивает постоянный водообмен и исключает образование застойных зон.

Для отключения одного из резервуаров на профилактический осмотр и очистку на подающих и отводящих трубопроводах установлена запорно-регулирующая арматура. При отключении резервуара удаление из него основного количества воды осуществляется насосной станцией второго подъема.

Для подачи пожаро-хозяйственной воды потребителям жилого образования Оганер, центральной городской больнице и канализационным очистным сооружениям будет использована насосная станция второго подъема, которая находится на территории очистных сооружений питьевой воды жилого образования Оганер.

На насосной станции очистных сооружений установлены три группы насосов: для подачи чистой питьевой воды на потребителя; подачи воды с РЧВ для промывки контактных осветлителей на

очистных сооружениях и дренажные насосы.

Насосные агрегаты первой и второй группы устанавливаются под заливом при верхних и средних уровнях воды в резервуарах чистой воды, что обеспечивает их запуск без вакуумных установок. Запуск рабочих насосов осуществляется с местных щитов управления, находящихся в машинном зале.

Нормальный режим работы насосной станции характеризуется следующими параметрами:

- температура воды, подаваемой на город, $- +10\text{ }^{\circ}\text{C} - (+)18\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- режимы работы насосной станции очистных сооружений является нормальным, если давление на нагнетательном трубопроводе соответствует:
 - в зимний период $9-10,5\text{ кгс/см}^2$;
 - в летний период $7,5-9,5\text{ кгс/см}^2$.

Выводы. В первом варианте рассматривается постройка нового трубопровода от очистных сооружений жилого образования Оганер до ЦТП на существующих опорах. В существующем здании ЦТП предлагается установка пластинчатых водоподогревателей и использование для нужд ГВС холодной воды питьевого качества, подаваемой с очистных сооружений жилого образования Оганер и подогреваемой на пластинчатых водоподогревателях. Для подогрева воды до нужной температуры будет использоваться нагретая вода от ТЭЦ–1, поступающая в настоящее время на ЦТП для обеспечения жилого образования Оганер тепловой энергией на нужды отопления и ГВС.

Согласно перспективному плану развития города (второй вариант), для обес-

печения водой 50–100 тыс. жителей жилого образования Оганер планировались очистные сооружения производительностью $20000\text{ м}^3/\text{сут}$. Однако реальная численность населения составляет всего около 5 тыс. жителей, и существующие очистные сооружения жилого образования Оганер работают на 1/3 от проектной производительности. Мощность очистных сооружений центрального района Норильска позволяет обеспечить жителей жилого образования Оганер холодной водой питьевого качества.

Реконструкция существующей сети теплоснабжения и водоснабжения заключается в консервации очистных сооружений жилого образования Оганер и постройке нового трубопровода, по которому будет подаваться вода питьевого качества.

Согласно СНиП 2.04.02–84 «Водоснабжение», при подаче воды по одному водоводу должны быть предусмотрены резервные емкости, которые остаются на очистных сооружениях и после вывода из работы части оборудования обеспечат бесперебойное снабжение жилого образования питьевой водой в течение 40 ч. При этом учтен необходимый пожарный объем воды в резервуарах. Потребителям вода будет подаваться насосной станцией второго подъема, которая расположена на очистных сооружениях жилого образования Оганер.

На ответвлении часть воды будет поступать на ЦТП для обеспечения жителей горячей водой. Остальная вода пойдет на очистные сооружения и далее будет подаваться насосной станцией второго подъема для обеспечения жителей холодной водой питьевого качества.

1. Водный кодекс РФ: Федеральный закон от 12.04. 2006 №74–ФЗ [Текст]. – М.: Совет Федерации, 2006.

2. Внутренний водопровод и канализация зданий: СНиП 2.04.01–85 // Госстрой России. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.

3. Николаев А.А. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1965. – 361 с.

4. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб [Текст]. – М.: Стройиздат, 1995. – 431 с.



Хадбаатар А.

Дарханский филиал Монгольского технологического университета, Дархан, Монголия



Машкин Н.А.

ФГБОУВО «Новосибирский государственный технический университет»



Молчанов В.С.

ФГБОУВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

УДК 691.54

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ МОНГОЛИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

Представлены результаты исследования золошлаковых отходов Эрдэнэтской и Дарханской ТЭЦ Монголии как компонентов грунтозолобетонов для укрепления верхних слоев земляного полотна автомобильных дорог, устройства оснований дорожных одежд и обочин. Актуальность темы связана с растущей потребностью автомобильного строительства в местных материалах, с одновременной утилизацией золошлаковых отходов. При применении таких зол в грунтозолобетонах для укрепления верхних слоев земляного полотна, устройства оснований дорожной одежды и обочин автомобильных дорог рекомендуется использовать добавки цемента, а также известки или природного известняка. Это позволяет повысить прочность грунтозолобетона до 4,7 МПа при введении 20–30% золы и 7–10% цемента. В случае замены 50% цемента известняком грунтозолобетон набирает прочность до 3,5 МПа.

Ключевые слова: ТЭЦ Монголии, золошлаковые отходы, химический состав, вяжущие свойства, дорожные грунтозолобетоны.

Среди промышленных отходов Монголии первое место по объемам занимают золы и шлаки от сжигания угля на

тепловых электрических станциях. Содержание золошлаковых отходов требует значительных затрат, в то же время

в строительстве используется незначительная часть золошлаковых отходов.

Золы и шлаки ТЭЦ являются материалами, прошедшими высокотемпературную обработку и получившими специфические свойства, предопределяющие возможность их эффективного использования в производстве различных строительных материалов, в том числе и для дорожного строительства [1–8] (рис. 1). Например, в Новосибирской области Российской Федерации зола используется при производстве товарного бетона, бетонных блоков, тротуарной плитки, при монолитном строительстве и в качестве компонента в сухих строительных смесях.



Рис. 1. Схема дорожной одежды

Использование ЗШО ТЭЦ в развитых странах мира составляет более 60%. Широко распространена практика строительства заводов при ТЭЦ по полной переработке ЗШО в различные строительные материалы. Если в России объем перерабатываемых ЗШО составляет около 7%, то в Монголии всего 3% от их текущего выхода. Например, из 20–35 тыс. т ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ (Монголия) используется в строительстве не более 1 тыс. т в год.

Причина этого кроется в недостаточной изученности ЗШО Монголии, отсутствии проверенных регламентированных составов строительных смесей с использованием ЗШО и налаженного золоотбора, а также адаптированных для условий Монголии технологий комплексной переработки ЗШО в строительные материалы.

ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ Монголии были изучены методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с рентгеноспектральным микроанализом и рентгенофазового анализа. Использовались приборы: сканирующий электронный микроскоп и рентгеновский дифрактометр.

ЗШО обеих ТЭЦ имеют очень близкий минерально-фазовый и химический состав. На рис. 2–4 представлены данные исследования ЗШО Дарханской ТЭЦ с помощью СЭМ (рис. 2), рентгеноспектрального микроанализа (рис. 3), а также рентгенограммы зол (рис. 4). Соответствующий элементный состав образца ЗШО Дарханской ТЭЦ представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав образца ЗШО Дарханской ТЭЦ

Элемент	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Вес. %	22.60	49.80	0.29	0.56	7.49	12.36	0.69	1.41	0.52	4.31
Атом. %	31.95	52.87	0.21	0.39	4.71	7.47	0.30	9.60	0.18	1.31

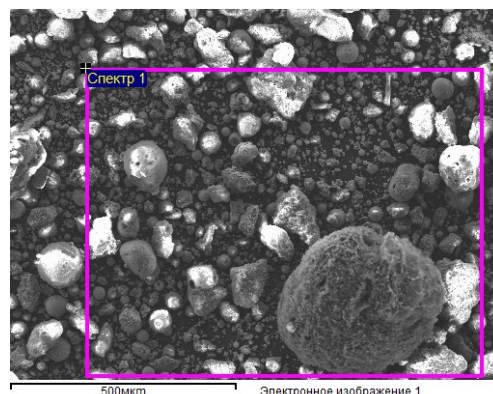


Рис. 2. СЭМ-изображение ЗШО Дарханской ТЭЦ

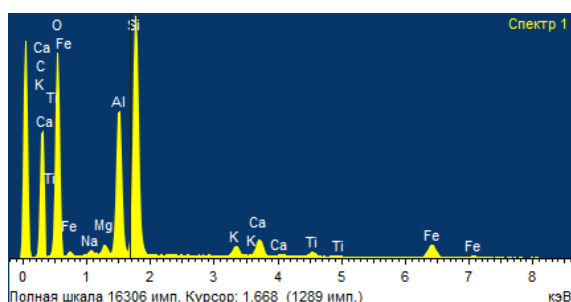


Рис. 3. Спектр рентгеноспектрального микроанализа ЗШО Дарханской ТЭЦ

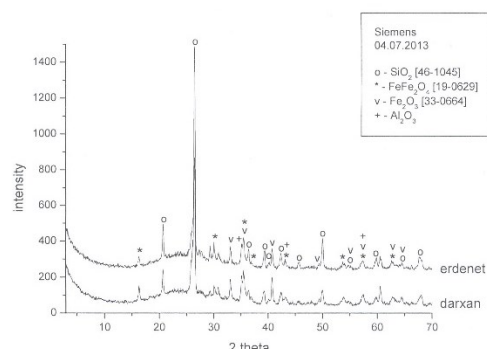


Рис. 4. Рентгенограммы ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ

По результатам рентгеноспектрального микроанализа ЗШО Дарханской и Эрдэнэтской ТЭЦ – высокоуглеродистые, малокальциевые. В Дарханской золе среднее содержание Са – 0,95% (от 0,28% до 7,41%); в Эрдэнэтской – среднее содержание Са – 1,41%. Частицы круглой формы на СЭМ-изображениях представляют собой глобулы сажи (чистый углерод). Остальные фазы – это, в основном, окислы Fe, Al, Si, Mg, часто в виде шпинели (FeAl_2O_4 или MgAl_2O_4). На СЭМ-изображениях хорошо видно распределение железа, оно имеет ярко-белый контраст.

Данные рентгенофазового анализа (см. рис. 4) показывают близкое соответствие фазового состава ЗШО ТЭЦ Дархана и Эрдэнэта. Это же следует из данных рентгеноспектрального микроанализа. Оба вида ЗШО имеют кислый (малокальциевый), высокоуглеродистый состав. Такие ЗШО, содержащие мало кальция, имеют низкие вяжущие свойства. Поэтому они будут иметь хорошее сцепление только с теми грунтами, в которых достаточно соединений кальция

(высокоизвестковый грунт). В Монголии такие грунты встречаются чрезвычайно редко. Поэтому при применении исследованных ЗШО в грунтозолобетонах для устройства оснований автомобильных дорог придется использовать добавки цемента, извести или природного известняка [9–11].

Возможности использования цемента и извести в дорожном строительстве Монголии ограничены высокой стоимостью и малыми объемами их местного производства. Поэтому исследования были сосредоточены на применении известняка в качестве компонента дорожных грунтозолобетонных.

Химический состав известняков месторождений Монголии (г. Дархан), определенный методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав Дарханских известняков

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO
Компания «Эрэл»	0,36	1,23	0,38	0,53	–	0,09	0,09	53,48	–	0,13	0,31
Гора «Буурал»	0,16	19,48	1,49	3,44	0,09	0,37	0,06	29,61	0,08	0,62	–

В табл. 3 и 4 приведены результаты испытаний образцов грунтозолобетона ($7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см) на основе супеси (содержит 5,5–7% глинистых частиц, Дархан) и ЗШО Дарханской ТЭЦ, твердевшего на пористом основании до 28 сут., с использованием цементного вяжущего ЦЕМ II/A–III 32,5Н (ПЦ400 Д20) без добавок (табл. 3) и с добавками известняка (табл. 4), по ГОСТ 5802–86 (2002) «Растворы строительные. Методы испытаний».

Выводы. Результаты испытаний образцов показали, что грунтозолобетон на основе ЗШО Дарханской ТЭЦ набирает прочность до 4,7 МПа при введении

20–30% золы и 7–10% цемента. Бесцементный состав показывает прочность менее 1 МПа. В случае замены 50% цемента известняком грунтозолобетон набирает прочность до 3,5 МПа, что сви-

детельствует о перспективности применения грунтозолобетонов с добавками известняков при устройстве оснований дорожных одежд и обочин автомобильных дорог Монголии.

Таблица 3

**Результаты лабораторных испытаний
грунтозолобетона с добавкой портландцемента**

№ смеси	Состав % по массе			Вода, % (осадка конуса 8 см)	Прочность при сжатии, МПа (28 сут.)
	Цемент (ПЦ 400)	Зола (Дархан)	Грунт (супесь)		
1	10	27	63	30	4,7
2	10	25	65	30	4,3
3	10	20	70	30	4,3
4	10	18	72	30	4,7
5	9	28	63	28	4,6
6	9	25	66	28	4,3
7	9	22	69	28	4,3
8	9	20	71	28	4,6
9	8	27	65	26	4,3
10	8	25	67	26	4,3
11	8	22	70	26	4,5
12	8	20	72	26	4,3
13	7	30	63	24	4,3
14	7	29	64	24	4,4
15	7	28	65	24	4,2
16	–	30	70	23	0,9

Таблица 4

**Результаты лабораторных испытаний грунтозолобетона
с добавкой портландцемента и известняка**

№ смеси	Состав % по массе				Вода, % (осадка конуса 8 см)	Прочность при сжатии, Мпа (28 сут.)
	Цемент (ПЦ 400)	Известняк («Эрэла»)	Зола (Дархан)	Грунт (супесь)		
1	5	5	27	63	27	3,5
2	5	5	25	65	27	3,3
3	5	5	20	70	27	3,2
4	5	5	18	72	27	3,0
5	4	6	28	63	26	3,0
6	4	6	25	66	26	2,9
7	4	6	22	69	26	2,9
8	3	7	20	70	25	2,6
9	3	7	27	65	25	2,5
10	3	7	25	67	25	2,5

1. Овчаренко Г.И., Фок Н.А. Исследование возможности применения низкокальциевых золошлаковых отходов в растворах и

мелкозернистых бетонах // Современная техника и технологии: проблемы, состояние

и перспективы. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 336–339.

2. Новая технология переработки кислых золошлаковых отходов ТЭЦ в строительные материалы / Г.И. Овчаренко, Д.И. Гильмияров, А.В. Викторов, Н.А. Фок // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – №10 (646). – С. 14–19.

3. Овчаренко Г.И., Хижинкова Е.Ю., Горн К.С. Влияние активации цементно-золевых композиций на прочность камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – №6. – С. 9–13.

4. Hadbaatar A., Mashkin N.A., Stenina N.G. Study of ash-slag wastes of electric power plants of Mongolia applied to their utilization in road construction // Procedia Engineering 2. Сер. «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016». – 2016. – С. 1558–1562.

5. Sirotyuk V.V., Ivanov Y.V., Shevtsov V.R. Monitoring results of an experimental area of roadbed made of ash-and-slag mixture // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование Материалы IV Международного научно-практического семинара. – 2012. – С. 179–181.

6. Сиротюк В.В., Лунев А.А., Иванов Е.В. Золошлаковая смесь для земляного полотна // Автомобильные дороги. – 2016. – №6. – С. 72.

7. Лунёв А.А., Сиротюк В.В. Применение золошлаковых смесей для вертикальных планировок и строительства городских дорог // Техника и технологии строительства. – 2015. – Т. 1. – С. 24–31.

8. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол уноса и золошлаковых отходов при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация. – М.: СоюздорНИИ, 2003. – 31 с.

9. Хадбаатар А., Стенина Н.Г., Машкин Н.А. Исследование золошлаковых отходов ТЭЦ Монголии с целью применения в автодорожном строительстве // 13th annual concrete conference. American Concrete Institute, Монгольский технологический университет. – Улан-Батор: NEW PRESS, 2014. – С. 97–99.

10. Стенина Н.Г. Строительная индустрия в свете решения проблемы связывания воды в силикатном веществе: монография. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2014. – 48 с.

11. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ Монголии в автодорожном строительстве / А. Хадбаатар, Н.А. Машкин, Н.Г. Стенина, В.С. Молчанов, И.И. Петров, Зибницкая Н.Е. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – №10 (706). – С. 38–46.



Трофимов В.И.
*ФГБОУВО «Тверской государственный
 технический университет»*

УДК 624.131.5

СПИРАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УСТРОЙСТВОМ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В ОСНОВАНИИ ДОРОГ НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Статья касается актуальной проблемы повышения эффективности строительства дорог на сильнообводненных территориях Арктических зон. В основе решения проблемы лежит новое оригинальное техническое решение – спиральная технология возведения водопропускных сооружений в комплексе с системой защиты основания насыпи дороги от неконтролируемого оттаивания. Рассматривается вопрос использования технологии быстровозводимых водопропускных сооружений непосредственно на месте строительства дороги на основе изготовления спиральной многоканальной трубы с требуемой величиной пропуска водного потока. Показана возможность полного отказа от использования стальной арматуры, предназначенной для армирования бетонной матрицы. Обосновывается возможность повышения устойчивости насыпи путем устройства особым образом естественной вентиляции мерзлого основания. В основе нового технического решения лежит идея совмещения операций по повышению несущей способности и сохранения основания в мерзлом состоянии за счет комплексного использования геосеток или геополотнищ, снабженных поперечными вентилируемыми каналами – трубками или формируемыми из них спиральными бухтами.

Оригинальная конструкция быстровозводимого многоканального водопропускного сооружения на основе спиральной технологии, разработанная в ТвГТУ (Россия), была высоко оценена на XXI Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед 2018», получив серебряную медаль.

Ключевые слова: дороги, мерзлые грунты, насыпь, устойчивость, спиральная технология, естественная вентиляция, геосетки и геополотнища.

Эффективная защита дорожной насыпи от разрушения при воздействии водных потоков, а также сохранение основания в мерзлом состоянии является в настоящее время серьезной проблемой для всей транспортной отрасли. Особенно актуальна эта проблема для строительства в сложных природно-климатических условиях Севера, где ведется широкомасштабное освоение нефтегазовых месторождений, характеризующихся широким распространением сильнообводненных территорий и структурно неустойчивых при оттаивании высокольдистых грунтов [1].

В связи с тем что при строительстве дорог на сильнообводненных территориях требуется возведение большого количества водопропускных сооружений (ВПС), встает вопрос разработки эффективных технологий их ускоренного возведения и с меньшими затратами.

Известна технология строительства водопропускных сооружений, которые выполняются из монолитного железобетона (например, патент RU №2255168). Недостатком известной технологии монолитного возведения ВПС является сложность ее реализации за счет выполнения трудоемких операций по уста-

новке арматуры и специальной опалубки, уплотнению бетонной смеси, что удлиняет сроки строительства, а также повышает стоимость строительства за счет использования бетона повышенной марки по прочности и водонепроницаемости. Все это снижает эффективность данной технологии, особенно в случае необходимости ускоренного возведения ВПС и выполнения работ в сложных природно-климатических условиях строительства.

В настоящее время основной объем строительства ВПС связан с технологией использования готовых железобетонных труб. Однако возникает серьезная проблема при их доставке, особенно в труднодоступные районы, и последующего монтажа. Кроме этого, другим недостатком такой технологии является использование готовых железобетонных труб с ограниченным размером их поперечного сечения, что в целом существенно снижает эффективность дорожного строительства.

В то же время известна технология быстровозводимых ВПС, которая базируется на применении сборно-разборной конструкции стальных гофрированных труб. На место возведения ВПС доставляются отдельные сегменты трубы, которые затем сбалчиваются, проверяются стыки и в виде готовой трубы краном устанавливаются на подготовленное основание дороги. Такой способ строительства ВПС серьезно ускоряет и облегчает весь технологический процесс, однако отличается большой стоимостью. При этом необходимо тщательно контролировать контактные швы между сегментами, что снижает, в целом, эффективность данного технического решения.

Учитывая важность решения проблемы повышения эффективности строительства дорог с учетом устройства надежных ВПС на сильнообводненных территориях, в ТвГТУ на кафедре ПСК предложена новая технология быстрого возведения бетонных водопропускных

сооружений, базирующаяся на формировании спиральной многоканальной конструкции трубы непосредственно на месте прокладки дороги [2; 3]. При этом предлагается бетонную матрицу дополнительно усиливать новой фиброй повышенного сцепления – композитной многоанкерной фиброй [4].

Быстровозводимое многоканальное водопропускное сооружение может быть выполнено в двух вариантах, каждый со своей особой технологией реализации. Однако в основе каждого варианта лежит одна идея исполнения – спиральная конструкция.

По первому варианту быстровозводимое многоканальное водопропускное сооружение возводят в монолитном исполнении.

При возведении многоканального водопропускного сооружения производят следующие технологические операции (рис. 1). Расчищают участок трассы за проектированной дороги, где будет возведено водопропускное сооружение. Размечают ширину $A-B$ основания водопропускного сооружения. Расстилают на основании геосетку или каркас (полимерный или стальной), начиная с середины обозначенной ширины $A-B$ ($l_{AB}/2$) основания водопропускного сооружения, по трассе будущей дороги. Организуют каналы для пропуска воды, для чего закрепляют на арматурном каркасе (геосетке) поперек полимерные трубы, например, с помощью хомутов или промышленного скотча и фиксируют край каркаса анкерами-костылями забивкой их в грунт основания. После этого, начиная со свободного конца арматурного каркаса (геосетки) с полимерными трубами, скручивают их в спираль до обозначенной ширины $A-B$ основания водопропускного сооружения. Затем устанавливают стандартную опалубку и заполняют ее фибробетонной смесью. После твердения бетона образуется по всему сечению водопропускного сооружения монолитная дисперсно армиро-

ванная бетонная матрица со спиральным несущим арматурным каркасом и отверстиями в виде каналов, образованными полимерными трубами.

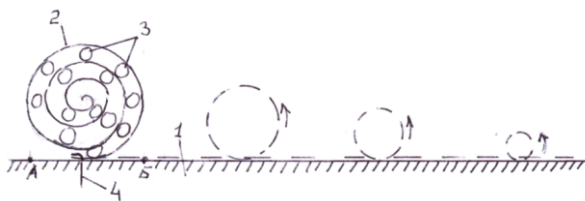


Рис. 1. Схема формирования спирального водопропускного сооружения: 1 – основание; 2 – геосетка; 3 – полимерные трубы; 4 – анкер-костыль

Эффективность водопропускного сооружения может быть повышена путем одновременного формирования двух спиральных каркасов с каналами, для чего производят скручивание двух арматурных каркасов (геосеток) навстречу друг другу относительно середины размеченной ширины основания водопропускного сооружения до их контактирования и последующего бетонирования в опалубке, заполняя ее бетонной смесью (рис. 2). При этом двойной спиральный каркас с каналами (полимерными трубами) может быть сформирован из одного общего арматурного каркаса, уложенного относительно середины водопропускного сооружения на две стороны. В этом случае получают монолитную конструкцию водопропускного сооружения повышенной прочности в виде двойной спиральной многоканальной трубы в отличие от использования в современной практике двух отдельных железобетонных труб.

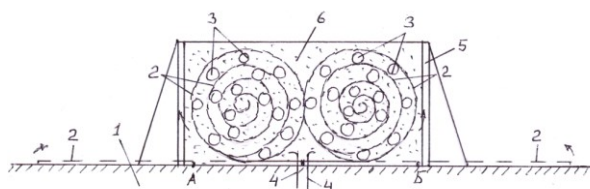


Рис. 2. Конструкция двойной спиральной многоканальной трубы: 1 – основание; 2 – арматурный каркас (геосетка); 3 – полимерные трубы; 4 – костыль; 5 – опалубка; 6 – бетонная смесь

Формирование двух спиральных арматурных каркасов с каналами из одного арматурного каркаса позволяет повысить несущую способность водопропускного сооружения за счет образования в основании по его длине целой ленты арматурного каркаса, упростить способ за счет отказа от анкеровки арматурного каркаса, а также ускорить процесс строительства за счет расстилки и анкеровки только одного арматурного каркаса, что дополнительно повышает эффективность использования способа на особенно сложных участках строительства и эксплуатации.

По второму варианту процесс возведения водопропускного сооружения может быть значительно ускорен путем использования технологии безопалубочного формирования. Для этого на основании сначала расстилают двойное полотнище, заполненное сухой фибробетонной смесью типа Concret Canvas (рис. 3). Двойное полотнище Concret Canvas включает одно полотнище непроницаемое для воды, а другое – проницаемое.

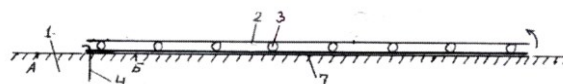


Рис. 3. Схема укладки арматурного каркаса с каналами-трубами и полотнищами с сухой смесью Concrete Canvas на основание дороги: 1 – основание; 2 – арматурный каркас; 3 – полимерные трубы; 4 – костыль; 7 – полотнище Concrete Canvas

Затем укладывают сверху арматурный каркас с полимерными трубами и фиксируют начало (край) каркаса с полотнищами анкерами-костылями. После чего производят скручивание в спираль каркаса (геосетки) с полотнищами Concrete Canvas с одновременным поливом их водой дождевателем (рис. 4). При этом происходит смачивание сухой бетонной смеси и ее постепенное твердение с образованием готового спирального водопропускного сооружения.

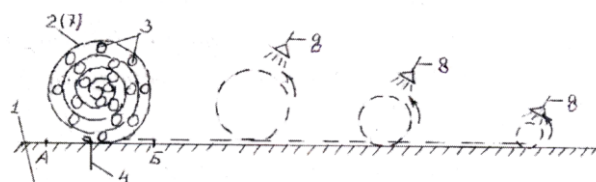


Рис. 4. Схема формирования спирального арматурного каркаса с каналами-трубами и полотнищами Concrete Canvas в процессе бетонирования: 1 – основание; 2 – арматурный каркас; 3 – полимерные трубы; 4 – костыль; 5 – полотнище Concrete Canvas; 6 – дождеватель

Устойчивость дорожной насыпи во многом зависит от сохранения основания в мерзлом состоянии.

Известны различные методы охлаждения насыпи и основания с использованием вентилирующих систем (щели, каналы, трубы, термостабилизаторы и др.). Однако все они отличаются сложностью реализации.

В качестве примера на рис. 5 показана охлаждающая система, выполненная в виде ряда уложенных поперек насыпи железобетонных труб, примененной при строительстве уникальной Цинхай-Тибетской железной дороги в Китае (разработка Кондратьева В.Г. и др., патент №2010919) [5]. В весенне-летний период для предотвращения поступления теплого воздуха отверстия труб закрываются.



Рис. 5. Насыпь с вентилируемой системой из железобетонных труб на участках льдистых грунтов Цинхай-Тибетской железной дороги (КНР)

Такая охлаждающая система хотя и помогает сохранить основание насыпи в мерзлом состоянии, однако отличается большой трудоемкостью ее устройства и

стоимостью реализации, что снижает эффективность ее использования.

С целью повышения устойчивости насыпи за счет использования метода вентилирования в ТвГТУ предложен новый более технологичный метод, реализуемый на основе применения гибкой охлаждающей системы, выполненной в виде геополотнища или геосетки с рядами сквозных вентилируемых каналов (рис. 6) [6].

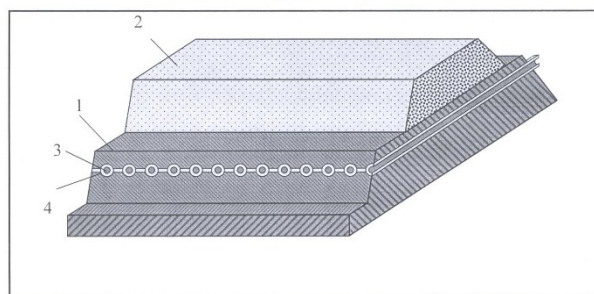


Рис. 6. Конструкция насыпи с гибкой системой охлаждения: 1 – основание; 2 – насыпь; 3 – геосетка (геополотнище); 4 – трубки

Установка гибкой охлаждающей системы, выполненной в виде геополотнища, с расположенными внутри нее рядов сквозных каналов позволяет, во-первых, ускорить и упростить процесс ее размещения в теле насыпи, во-вторых, повысить устойчивость насыпи за счет повышения силы сцепления грунта с волнистой поверхностью геополотнища (повышается сопротивление сдвиговым деформациям на контакте грунта и трубок геополотнища), в-третьих, повысить интенсивность охлаждения насыпи за счет большей площади контакта охлаждающей системы с окружающим грунтом, что повышает в целом эффективность работы насыпи.

На рис. 7 представлен вариант формирования гибкой охлаждающей системы на базе геополотнища.

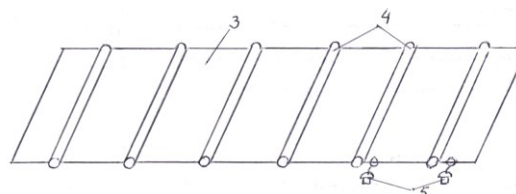


Рис. 7. Гибкая охлаждающая система: 3 – геополотнище; 4 – каналы (трубки); 5 – заглушки

В случае применения охлаждающей системы в виде геосетки со сквозными каналами дополнительно повышается устойчивость насыпи за счет ее большего армирования, а также повышается интенсивность охлаждения за счет более полного охвата грунтовой зоны вокруг охлаждающих каналов (трубок).

Кроме этого, каналы могут исполняться в виде рядов чередующихся трубок различного диаметра, что позволяет, во-первых, регулировать зону охлаждения вокруг охлаждающей системы, а соответственно, и интенсивность охлаждения, за счет варьирования диаметрами трубок и их расположения, во-вторых, позволяет снизить стоимость охлаждающей системы за счет использования стандартных геополотнищ (геосеток) и трубок, при этом появляется возможность более оперативного размещения охлаждающей системы в теле насыпи.

Для более интенсивного охлаждения насыпи гибкая охлаждающая система может быть выполнена в виде вентиляционных бухт, которые устанавливаются поперек оси трассы дороги и формируются путем скручивания в спираль геополотнищ (геосеток) с воздухопускными каналами-трубками (рис. 8).

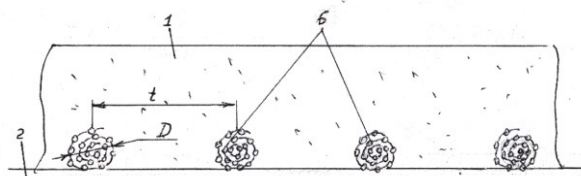


Рис. 8. Насыпь с установленными вентиляционными бухтами: 1 – насыпь; 2 – основание; 6 – бухты

Интенсивность охлаждения насыпи может быть существенно повышена путем исполнения охлаждающей системы в виде двух слоев – нижнего в виде вентиляционных бухт, а верхнего – в виде вентиляционных геополотнищ (геосеток) (рис. 9).

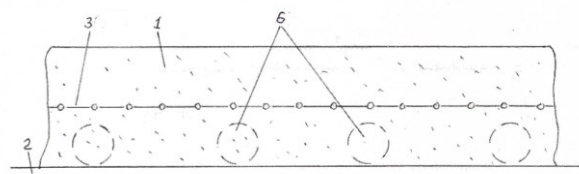


Рис. 9. Насыпь с двухслойной системой охлаждения: 1 – насыпь; 2 – основание; 3 – вентиляционное геополотнище (геосетка); 6 – вентиляционные бухты

Исполнение охлаждающей системы в виде ряда бухт, состоящих из спирально закрученных геополотнищ или геосеток с каналами и установленных поперек оси трассы дороги, позволяет, во-первых, значительно повысить интенсивность охлаждения насыпи за счет большего объема охватываемого грунта, во-вторых, снизить стоимость охлаждающей системы по сравнению с использованием железобетонных и стальных труб, а также ускорить и упростить технологию возведения охлаждающих систем.

Кроме этого, система естественной вентиляции, выполненная в виде спирального воздухопускного устройства, может предотвращать разрушение дорожной насыпи при образовании высоких паводков. В этом случае вода будет свободно перетекать через вентиляционные каналы.

При этом гибкая охлаждающая система может быть изготовлена как на заводе в виде единого целого: полотнище, геосетка или бухта с каналами, так и непосредственно на строительном объекте.

В заключение можно сказать, что предлагаемое техническое решение по строительству водопропускного сооружения в комплексе с охлаждающей системой основания дорожной насыпи на основе использования спиральной технологии отличается простотой реализации со снижением сроков возведения без использования сложной строительной техники, что обуславливает его эффективность применения в реальных условиях дорожного строительства. Особенно рекомендуется данная технология

к использованию при строительстве внутрипромысловых и притрассовых дорог для обустройства нефтегазовых месторождений и оборонных объектов в

сложных природно-климатических условиях Севера, где на начальных этапах строительства основное оборудование и материалы доставляются по зимникам или вертолетами.

1. Ремнев В.В. Арктическая зона России: перспективы применения новых материалов и технологий для строительства аэродромов и автомобильных дорог // Транспортная стратегия – XXI век. – 2013. – №23 (4). – С. 40–42.

2. Патент РФ 2632725. МПК: E01F 5/00. Способ строительства водопропускного сооружения / Трофимов В.И., Кондратьев В.Г., Пупенин К.И. Опубликовано: Бюл. №28, 2017. – 8 с.

3. Патент РФ 2619604. МПК: E01F 5/00. Конструкция для формирования на месте строительства сечения для пропуска воды / Трофимов В.И., Кондратьев В.Г., Пупенин К.И.,

Акушко А.С. Опубликовано: Бюл. №14, 2017. – 10 с.

4. Трофимов, В.И. Использование фибры повышенного сцепления в бетонах для транспортного строительства // Материалы Всероссийской научно-практич. конф.: Саморазвивающаяся среда технического университета. – Тверь: ТвГТУ, 2017. – С. 207–210.

5. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномёрзлых грунтах: монография. – Чита: ПолиграфРесурс, 2011. – 176 с.

6. Патент РФ 2487213. Насыпь на сильнотальстых вечномёрзлых грунтах. МПК: E02D 17/18 / Трофимов В.И., Кондратьев В.Г. Опубликовано: Бюл. №19, 2013. – 8 с.

SUMMARIES

UDC 625.154:624.139

PILED FOUNDATION IN CRYOLITZONE
Baksheev D.S., Russian Academy of Engineering

The article provides information on the development of various methods and technologies for the construction of pile foundations in the permafrost zone. The main pile technologies in the Norilsk industrial region are shown. It is concluded that the control and supervision of ventilated undergrounds under buildings and structures on pile foundations in permafrost soils should be the same mandatory measures as the control and supervision of structural elements of buildings and structures.

Key words: pile foundations, permafrost zone, Norilsk industrial region, permafrost soils.

UDC 001.89:551.345:378(571.511)

**ABOUT PROSPECTS FOR CREATION
OF A FROZEN LABORATORY AND MAIN
DIRECTIONS OF ITS DEVELOPMENT**
Elesin M.A., Norilsk State Industrial Institute

In Russia, sixty-five percent of the territory is constituted by permafrost areas. In Norilsk, the first permafrost laboratory was created under the geological management of MMC Norilsk Nickel in 1936. The main objective of the activity of the permafrost laboratory created at the AM&C is to conduct scientific research on the problem of ensuring the reliability of buildings and structures located in the permafrost distribution zone.

Key words: permafrost laboratory, soil testing, soil testing equipment, permafrost.

UDC 69.03.004.58

**TECHNICAL SURVEY OF BUILDINGS
AND STRUCTURES WITHIN
THE REQUIREMENTS OF THE FEDERAL
LAW No. 384-ФЗ «TECHNICAL REGULA-
TION ON SAFETY BUILDING AND
CONSTRUCTIONS »AND GOST 31937-2011
«RULES OF SURVEY AND MONITORING
THE TECHNICAL CONDITION»**

Sklyarov L.A., Siberian Center of Expertise and conformity assessment

One of the predominant conditions for maintaining buildings and structures in an operable condition is the timely detection and localization of defects and damages, as well as a set of measures to prevent the occurrence of defects. Timely diagnostics together

with microseismodiagnostics and instrument monitoring of buildings and structures will allow not only timely detection of emerging defects, but also timely measures to be taken to localize them.

Key words: technical inspection, monitoring of buildings, standing waves, permafrost, federal law, modern technologies.

UDC 550.834

**ENGINEERING AND SEISMOLOGICAL
MONITORING OF BUILDINGS
AND STRUCTURES: PHYSICAL
AND MATHEMATICAL BASES METHODS,
OPPORTUNITIES, RESULTS**

Emanov A.F., Altai-Sayan branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Survey» Russian academy of sciences

Bach A.A., Altai-Sayan branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Survey» Russian academy of sciences

Emanov A.A., Institute of Petroleum Geology and geophysics them. A.A. Trofimuka SB RAS, Novosibirsk

Based on the standing wave method, seismological monitoring algorithms for buildings and structures in the Far North are proposed. The initial model is based on the field of standing waves obtained experimentally in the building with a given accuracy. Tracking the smallest changes in the wave field is recorded in real time by the monitoring system. The proposed monitoring system differs from analogues in the formalization of the process, the specified accuracy and automated processing in real time. The proposed technology allows you to create a single center in Norilsk that controls all the city buildings covered by the monitoring system.

Key words: seismic vibrations, monitoring of buildings, standing waves, permafrost, coherence.

UDC 551.34(571.511)+63.03.004.58:551.34(571.511)

**SUCCESSES AND PROBLEMS OF THE CITY
OF NORILSK, BUILT AT THE LATITUDES
OF THE FAR NORTH IN THE CONDITIONS
OF PERMANENT PERMISSION**

Petukhova Zh.G., Norilsk State Industrial Institute
Petukhov M.V., Norilsk State Industrial Institute

During the construction of the city of Norilsk, the main engineering problems were solved quite successfully for its time. After many years, new serious problems arose that were associated not only with the operation of individual buildings and structures, but

also with processes developing throughout the built-up territory. At a new level, issues of ensuring the sustainability of buildings and structures have revived.

Key words: permafrost soils, geothermal wells, permafrost degradation, structures of “zero” cycles.

UDC 691.327

ACTIVATION OF CEMENT BINDERS IN TECHNOLOGY CONCRETE DURING CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION BUILDINGS AND STRUCTURES IN THE NORTHERN REGIONS

Mashkin N.A., Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Barteneva E.A., Novosibirsk State architectural and construction University (Sibstrin), Novosibirsk

Petrov I.I., Novosibirsk State architectural and construction University (Sibstrin), Novosibirsk

The issues of activation of cement binders in technologies of heavy and cellular concrete are considered. Especially relevant for the Far North is the ability to activate cements of long-term storage. For the activation of cements, the use of disintegrators and hydrodynamic dispersant activators, as well as mineral additives of wollastonite and diopside, is effective. It was found that as a result of activation, the strength of cement stone increases up to 2 times, the strength of fine-grained heavy concrete by 1.5 times, foam concrete - by 1.5-2 times.

Key words: North, cement activation, disintegrator, hydrodynamic dispersant-activator, mineral additives, wollastonite, diopside, fine-grained concrete, fly ash, foam concrete

UDC 004.9:625.7(571.14)

3D AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN ROAD CONSTRUCTION COMPLEX

G. NOVOSIBIRSK

Seredovich V.A., Siberian Laser Center scanning in construction, Chairman of the Board of SRO ASONO

The article gives a general idea of digital technologies, the main contradictions that have developed today in the road-building sector, the current state and problems of introducing laser scanning technology for roads. Conclusions are drawn on the readiness of the city to introduce digital technologies in the road industry.

Key words: pile foundations, permafrost zone, Norilsk industrial region, permafrost soils.

UDC 691.335

PRODUCTION OF CONCRETE USING SULFUR FOR OPERATION IN THE REGIONS OF THE FAR NORTH

Elesin M.A., Norilsk State Industrial Institute

The article provides information about the method of producing concrete, characterized by high strength, corrosion resistance. The mixing of the concrete mixture in the lime-sulfur broth is an example of the active use of sulfur-containing waste in the local construction industry. The use of other metallurgical waste in addition to sulfur makes a new method of obtaining high-strength concrete cost-effective.

Key words: concrete, lime-sulfur broth, strength, blast furnace slag, white cement.

UDC 697.34

FEATURES OF TRANSITION OF RESIDENTIAL EDUCATION ON THE CLOSED HEAT SUPPLY SYSTEM

Gubina N.A., Norilsk State Industrial Institute

In the work, the options for the transition of residential education to a closed heat supply system in accordance with Federal Law №417 of 07.12. 2011 g. An economically feasible option has been selected. In accordance with this law with 01.01.13 g. It is not allowed to connect consumers to centralized open heating systems for the needs of GVS, and with 01.01.2022 g. the use of such systems is prohibited and a phased transition to closed systems is recommended.

Key words: heat supply system, centralized heat supply system, closed heat supply system, heat exchanger, treatment facilities, water disinfection.

UDC 691.54

PROSPECTS FOR USING ASH AND SLAG MONGOLIA CHP WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

Hadbaatar A., Darkhan branch of Mongolian technological university, Darkhan, Mongolia

Mashkin N.A., Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Molchanov V.S., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk

The results of the study of ash and slag waste of the Erdenet and Darkhan TPP of Mongolia as components of soil and ash concrete for strengthening the upper layers of the subgrade of roads, construction of foundations of road pavements and roadsides are presented. The relevance of the topic is associated with

the growing need for road construction in local materials, with the simultaneous disposal of ash and slag waste. When using such ashes in soil-ash-concrete to strengthen the upper layers of the subgrade, the device of the foundations of road pavement and road-sides, it is recommended to use cement additives, as well as lime or natural limestone. This allows you to increase the strength of soil-concrete to 4.7 MPa with the introduction of 20-30% of ash and 7-10% of cement. In the case of replacing 50% of cement with limestone, soil-ash concrete gains strength up to 3.5 MPa.

Key words: CHPP of Mongolia, ash and slag waste, chemical composition, cementitious properties, road soil-ash concrete.

UDC 624.131.5

**SPIRAL TECHNOLOGY FOR
THE CONSTRUCTION OF WATER CUTS
VENTILATION SYSTEM DEVICES
FOUNDING ROADS ON FROZEN SOILS**
Trofimov V.I., Tver State Technical university

The article deals with the urgent problem of improving the efficiency of road construction in heavily watered territories of the Arctic zones. The solution to the problem is based on a new original technical

solution – a spiral technology for erecting culverts in combination with a system for protecting the base of the road embankment from uncontrolled thawing. The issue of using the technology of quickly erected culverts directly at the site of the road construction based on the manufacture of a spiral multi-channel pipe with the required amount of water flow passage is considered. The possibility of a complete rejection of the use of steel reinforcement intended for the reinforcement of a concrete matrix is shown. The possibility of increasing the stability of the embankment by the device in a special way the natural ventilation of the frozen base. The new technical solution is based on the idea of combining operations to increase the bearing capacity and preserve the foundation in frozen condition due to the integrated use of geogrids or geo-sheets, equipped with transverse ventilated channels – tubes or spiral bays formed from them.

The original design of the prefabricated multi-channel culvert structure based on spiral technology, developed at TVSTU (Russia), was highly appreciated at the XXI Moscow International Salon of Inventions and Innovative Technologies «Archimedes 2018», receiving a silver medal.

Key words: roads, frozen soils, embankment, stability, spiral technology, natural ventilation, geogrids and geo-sheets.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бакшеев Дмитрий Семенович – доктор технических наук, профессор, заслуженный строитель Российской Федерации, заслуженный инженер России, лауреат премии Правительства Российской Федерации, вице-президент Российской инженерной академии, г. Москва.

Бартеньева Екатерина Анатольевна – старший преподаватель кафедры строительных материалов, стандартизации и сертификации ФГБОУВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск.

Бах Александр Александрович – старший научный сотрудник, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» Российской академии наук.

Губина Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и теплогазоснабжения ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Елесин Михаил Анатольевич – кандидат технических наук, профессор, научный руководитель АМиЦ, заведующий кафедрой строительства и теплогазоснабжения ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Еманов Александр Федорович – доктор технических наук, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» Российской академии наук.

Еманов Алексей Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» Российской академии наук, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск.

Машкин Николай Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерных проблем экологии ФГБОУВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Молчанов Виктор Сергеевич – профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов ФГБОУВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск.

Петров Игорь Игоревич – старший преподаватель кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск.

Петухов Михаил Вадимович – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Петухова Жанна Геннадьевна – доктор экономических наук, профессор кафедры ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Середович Владимир Адольфович – профессор кафедры инженерной геодезии ФГБОУВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», директор сибирского центра лазерного сканирования в строительстве, председатель совета СРО АСОНО.

Скляров Леонид Анатольевич – заместитель директора ООО «Сибирский центр экспертиз и оценки соответствия» по вопросам промышленной безопасности, г. Новосибирск.

Трофимов Валерий Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУВО «Тверской государственный технический университет».

Хадбаатар Анхбаяр – доцент Дарханского филиала Монгольского технологического университета, Дархан, Монголия.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт» приступил к формированию очередного номера научно-практического журнала «Научный вестник Арктики», ISSN 2542–1220.

Целью издания журнала является широкое освещение положительного опыта интеграции теоретических и прикладных исследований актуальных проблем развития современного образования, науки и производства, информационно-методическое обеспечение в системе подготовки будущих специалистов.

Тематика журнала включает следующие направления:

- технические науки;
- естественнонаучные дисциплины;
- социогуманитарные науки.

Приглашаем Вас принять участие в выпуске журнала.

Материалы просим представить в редакционно-издательский отдел до 15.02.2020 г. в соответствии с прилагаемыми требованиями для прохождения рецензирования. Статьи, не соответствующие требованиям к оформлению материалов публикаций, рассматриваться редакцией не будут. Материалы не возвращаются.

Статьи, полученные редакцией позже указанного срока, будут рассматриваться для публикации в следующем номере журнала.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Автор высылает в редакцию печатный экземпляр статьи и идентичный вариант на диске или электронную версию статьи по электронной почте с указанием тематического направления. Статья должна быть подписана автором.

Каждый из авторов заключает лицензионный договор на право использования своего результата интеллектуальной деятельности. Для *иногородних авторов* образец договора присылается на адрес электронной почты (**сканированная копия договора, подписанная автором, пересылается на адрес электронной почты редакции**).

2. К статье обязательно прилагаются ее название, Ф.И.О. авторов, аннотация (не более 5–6 строк), ключевые слова (не более 10 слов), приставный библиографический список.

3. *Сведения об авторах должны включать:* фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень, звание, домашний и служебный адрес, телефоны, электронный адрес. Если авторов несколько, указать, с кем из них вести переписку.

4. *Информация на английском языке:* Ф.И.О. автора, название статьи, аннотация, ключевые слова, место работы, должность, ученая степень, звание.

5. Объем статьи не должен превышать 16 страниц текста формата А4, включая таблицы (не более 3) и рисунки (не более 5), список литературы (не более 10–15 источников). Шрифт – *Times New Roman*, отчетливый, размер шрифта 14, через полупетельный интервал.

6. Статья должна содержать лишь самые необходимые формулы, набранные в редакторе Microsoft Equation (Word 2003). Нумеруются только те формулы, на которые имеются ссылки.

7. Иллюстрационный материал должен быть выполнен четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, на белой бумаге, и быть пригодным для прямого воспроизведения.

Таблицы должны иметь заголовки. Допускаются только общепринятые сокращения.

8. Библиографический список приводится в конце статьи в порядке упоминания. В тексте должны быть ссылки на литературу в квадратных скобках. Библиография должна быть оформлена согласно ГОСТ 7.1–2003.

9. Рукопись должна быть вычитана автором. Редакция оставляет за собой право в случае необходимости редактировать и сокращать статьи.

Уважаемые авторы, в случае невыполнения вышеперечисленных условий статья опубликована не будет!

Материалы публикуются на безгонорарной основе. Плата за публикацию статей с авторов не взимается.

Адрес редакции:

663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7,

ФГБОУВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Редакция журнала. Тел. (3919) 47-39-44.

Факс (3919) 42-17-41. E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

DEAR COLLEAGUES!

State Higher Educational Establishment «Norilsk State Industrial Institute» is delighted to announce that it has started to form the next issue of the scientific journal **SCIENTIFIC BULLETIN OF THE ARCTIC**. Its purpose is a wide interpretation of positive experience in education and future specialists' training issues and practices; assisting in the dissemination of information on research and practice.

SCIENTIFIC BULLETIN publishes papers concerning the following aspects:

- TECHNICAL SCIENCES
- NATURAL SCIENCES
- HUMANITIES SCIENCE

You are invited to submit scientific contributions for the **SCIENTIFIC BULLETIN OF NORILSK INDUSTRIAL INSTITUTE**.

All correspondence concerning manuscripts should reach the Editorial Board **15.02.2020** at the latest. The manuscripts received later will be considered for publication in the next issue. The submitted papers are not sent back.

The journal will only respond to and publish articles corresponding to the following **requirements**.

STYLE AND SUBMISSION REQUIREMENTS

1. Submit one hard copy of the manuscript on bond paper. Also submit an appropriate CD-ROM. It should be labelled with: Author's name, title of manuscript.

2. The size of articles should not exceed 16 pages of manuscript, including references (not more than 10–15 sources), tables (not more than 3), figures (not more than 5).

3. The manuscripts should be printed on A4 format pages (standard page – 1800 characters), sesquialteral space, size 14 font (*Times New Roman*), 2 cm left margins and 3 cm right margins, 2,5 cm top and bottom margins.

4. The title page should carry the following information:

- the title of the article in English;
- full name of Author (Authors) and, in case of multicentre studies, institutional affiliations,
- annotation, key words (in Russian and English);
- the list of bibliography enclosed to the article in order of reference. The article should contain references in square brackets of the literature used. Bibliography should be formatted according to State Educational Standard 7.1 – 2003;

- full name of the institution/ institutions from which the paper originates (in official version).

Author's address for correspondence, including the name of Author, scientific title, address, telephone and fax numbers, e-mail address.

The article should contain the most necessary formulas (Microsoft Equation, Word 2003) Formulas with references are numbered only.

Illustrative material should be convenient, all the details are clearly seen. Charts go with the titles. Only generally accepted abbreviations are allowed.

Every author enters into a license contract for the right of the use of his intellectual activity.

All submitted manuscripts are subjected to editorial review and subsequently peer review.

The Editor will observe the content of the manuscript, however full responsibility for the content of the article lies with the Author. The Editorial Board does not take responsibility for the results of possible unreliability.

Mailing Instructions. Please include your e-mail address if you have one. Manuscripts with requisite hard copies and CD-ROMs should be forwarded to.

Editorial Board,
Norilsk State Industrial Institute
50 Let Oktyabrya, 7
Norilsk, 663310
Krasnoyarsky Region, Russia
(3919) 47-39-44.
FAX: (3919)42-17-41.
E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

Научное издание

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК АРКТИКИ

Подписано в печать 04.10.2019.
Бум. для копир.-мн.ап.
Гарнитура *Century*. Печать плоская.
Тираж 100 экз. Зак. 18.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУВО «НГИИ»
663310, Норильск, ул. 50 лет Октября, 7.
E-mail: rio_ngii@norvuz.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета
в отделе ТСОиП ФГБОУВО «НГИИ»