

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на
пучинистых грунтах
тема

08.04.01 Строительство

код и наименование направления подготовки

08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений»

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ к.т.н., доцент О.З. Халимов
подпись, дата должность, учёная степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Д.А. Стрельников
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ Д.Ю. Сагалаков
подпись, дата должность, учёная степень инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ к.т.н., доцент Г.Н. Шибаева
подпись, дата должность, учёная степень

Абакан, 2019

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ
О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ**

Вуз (точное название) Хакасский технический институт – филиал
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Кафедра Строительство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заведующего кафедрой Строительство
(наименование кафедры)

Шибяевой Галины Николаевны

(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 37-3

Стрельников Дмитрий Анатольевич

(фамилия, имя, отчество студента)

выполненную на тему: «Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном
строительстве на пучинистых грунтах»

по реальному заказу _____

(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ: Microsoft Office Word 2016,

Microsoft Office Excel 2016, AutoCAD 2019, SCAD Office 21.1, PLAXIS

(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы: исследована тематика морозного пучения, касающаяся многих регионов России, а также непосредственно Республики Хакасия. Более подробно рассмотрено влияние морозного пучения на фундаменты, с примерами существующих зданий и сооружений, где деформации произошли в следствии сил морозного пучения, а также дополнительных деформаций при оттаивании. Также был проведен анализ влияния влажности грунтового основания с учетом наблюдения за уровнем грунтовых вод на исследуемых площадках, что в дальнейшем позволит прогнозировать величину морозного пучения грунтового основания.

в объеме 100 листов магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. кафедрой Г.Н. Шибяева

«____» _____ 2019 г.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал СФУ
институт
Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме _____ **магистерской диссертации** _____

(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту: _____ Стрельникову Дмитрию Анатольевичу _____

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа 37-3 Направление (специальность) _____ 08.04.01.03 _____

(код)

_____ «Теория и проектирование зданий и сооружений» _____

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование вариантов
фундаментов в малоэтажном строительстве на пучинистых грунтах»

Утверждена приказом по университету № 779 от _____ 03.09.2017 г. _____,

Руководитель МД _____ О.З. Халимов к.т.н., доцент, каф., ХТИ – филиала СФУ _____

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для МД: _____ теоретические исследования в области
влияния морозного пучения на устойчивость малоэтажных зданий;

Перечень разделов МД: _____ аналитический литературный обзор;
характеристика исходных материалов; исследовательская часть, численные
методы исследований в программном комплексе SCAD Office, PLAXIS;
исследования в области моделей фундаментов основания при промерзании
грунтового основания;

Перечень графического или иллюстрационного материала с указанием
основных чертежей, плакатов, слайдов _____ 8 плакатов формата А1 _____

Руководитель МД _____
(подпись)

_____ О.З. Халимов
(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению _____
(подпись)

_____ Д.А. Стрельников
(инициалы и фамилия студента)

« _____ » _____ 2017

АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Стрельников Дмитрий Анатольевич
(фамилия, имя, отчество)

на тему: *«Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на пучинистых грунтах»*

Актуальность тематики и её значимость – заключается в обосновании глубины заложения фундаментов с обеспечением их надежности в условиях использования в качестве основания сезоннопромерзающие грунты, подверженные морозному пучению в Республике Хакасия.

Использование ЭВМ: Во всех основных главах магистерской диссертации, использованы стандартные и специальные строительные программы ЭВМ: Microsoft Office Word 2016, Microsoft Office Excel 2016, AutoCAD 2019, SCAD Office 21.1, PLAXIS.

Качество оформления: Магистерская диссертация выполнена с высоким качеством на ЭВМ. Распечатка диссертации сделана на лазерном принтере использованием цветной печати для большей наглядности диаграмм, графиков и схем. Разработано согласно СТО 4.2.07-2014.

Оценка достигнутого результата: Цели и задачи магистерской диссертации были достигнуты и решены.

Освещение результатов работы: Результаты исследований изложены последовательно, носят конкретный характер и отражают все этапы исследования.

Степень авторства: Магистерская диссертация выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Автор магистерской диссертации

подпись

Д.А. Стрельников
(фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель

подпись

О.З. Халимов
(фамилия, имя, отчество)

ABSTRACT

of the master thesis by Strelnikov Dmitry Anatolyevich
(surname, first name, patronymic)

Theme: «*The study of options for foundations in low-rise construction on heaving soils*»

Topicality and its significance consist in substantiating the chosen depth of foundations with providing their reliability under conditions of using as a base seasonally freezing soils being subjected to frost heaving in the Republic of Khakassia.

The use of computers: In all main chapters of the master thesis the computer standard and special construction programs are used: Microsoft Office Word 2016, Microsoft Office Excel 2016, AutoCAD 2019, SCAD Office 21.1, PLAXIS.

Quality of presentation: The master thesis is executed with high quality by means of computer. Printout of the thesis is made by laser printer using the color printing for higher visual expression of charts, diagrams and schemes. It is developed according to STO 4.2.07-2014.

Evaluation of progress: The purposes and tasks of the master thesis have been reached and solved.

Coverage of results: Results of the research are stated consistently, have concrete character and cover all investigation phases.

Degree of authorship: The master thesis is performed by me independently. The materials and concepts used in the work from the published scientific literature and other sources have references to them.

Author of the master thesis

signature

D.A. Strelnikov

(first name, patronymic, surname)

Scientific supervisor

signature

O.Z. Khalimov

(first name, patronymic, surname)

ОТЗЫВ
НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ
Стрельникова Дмитрия Анатольевича
Хакасского технического института – филиала СФУ
Кафедра «Строительство»

Выполненная магистерская диссертация на тему: «Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на пучинистых грунтах» является актуальной работой, в которой решаются вопросы обоснования выбранной глубины заложения фундаментов с обеспечением их надежности в условиях использования в качестве основания сезоннопромерзающие грунты, подверженные морозному пучению Республики Хакасия.

За время обучения в магистратуре по направлению 08.04.01 «Строительство» магистерской программы 08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений», магистрант показал себя организованным, целеустремлённым, подготовленным к проведению серьёзных научных исследований, о чём свидетельствует магистерская работа, доклады на научно–практических конференциях, а также публикации научных статей.

Сформулированы цели, задачи на основе исследования и анализа проектной документации. В исследовательской работе применены программные комплексы SCAD Office, PLAXIS. В используемых программах просчитаны модели влияния грунтового основания на возводимые фундаменты.

Сформулирована научная новизна, практическая значимость темы «Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на пучинистых грунтах».

Магистрант Стрельников Д.А. заслуживает присвоения звания магистра по направлению 08.04.01 «Строительство» магистерской программы 08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений», а работа «Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на пучинистых грунтах» – оценки «Отлично».

К.т.н., доцент
кафедры «Строительство»,
ХТИ – филиала СФУ

(подпись)

О.З. Халимов
(инициалы и фамилия)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование вариантов фундаментов малоэтажных зданий на пучинистых грунтах» содержит 100 страниц текстового документа, 13 таблиц, 60 рисунков, 158 использованных источника.

Цель диссертационной работы состоит в формировании основных принципов взаимодействия фундаментов под строительства зданий в грунтах подверженных морозному пучению и уточнению глубины заложения фундаментов для песчаных грунтов Республики Хакасия.

Задачи исследования:

- Произвести анализ влияния морозного пучения на устойчивость малоэтажных зданий на конкретных примерах объектов, расположенных в Республике Хакасия;
- Рассмотреть основные процессы миграции влаги в грунтах, подверженных морозному пучению;
- Выполнить анализ основных методов проектирования фундаментов зданий на грунтах, подверженных морозному пучению, а также дать оценку мероприятиям, учитывающим влияние пучинистости в расчетах по геотехнике;
- Провести мониторинг за динамикой грунтовых вод и ее влиянием на морозное пучение;
- Разработать модель взаимодействия фундаментов с сезоннопромерзающими пучинистыми грунтами на основании проведенных инженерно – геологических изысканий и расчетной модели фундаментов;
- Провести анализ полученных результатов и установить основные изменения напряженно – деформированного состояния модели с условиями «грунт подверженный морозному пучению – исследуемый фундамент» в зависимости от глубины сезонного промерзания, влияния глубины грунтовых вод и интенсивности появления деформаций в условиях сезоннопромерзающих грунтов в Республике Хакасия;
- Обосновать целесообразность выбора глубины заложения фундаментов в условиях промерзания грунтового основания в Республике Хакасия;

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ влияния морозного пучения конструкций фундаментов.	8
1.1 Влияние морозного пучения на фундаменты.	8
1.2 Процессы морозного пучения в грунтовом основании.....	10
1.3 Примеры влияния морозного пучения на здания.	12
1.4 Первый опыт строительства фундаментов мелкого заложения.....	18
1.5 Инженерно – геологические условия первой площадки.....	19
1.6 Инженерно – геологические условия второй площадки.....	25
2 Обзор исследований взаимодействия сезоннопромерзающих пучинистых грунтов и оснований фундаментов.....	32
2.1 Анализ существующих методов расчета фундаментов на промерзающих пучинистых грунтах.	32
2.2 Основные явления и процессы при оттаивании грунтовых оснований и взаимодействие их с фундаментами зданий и сооружений.....	37
2.3 Взаимодействие фундаментов с сезоннопромерзающим основанием на стадии оттаивания.	39
2.4 Анализ влияния гидрогеологических источников увлажнения на пучение грунтового основания.....	42
3 Расчетная модель взаимодействия фундаментов с сезоннопромерзающими грунтами основания.	51
3.1 Общая расчетная модель взаимодействия фундаментов с грунтами, подвергшимися морозному пучению в Республике Хакасия.....	51
3.2 Основные закономерности неравномерных деформаций морозного пучения грунтового основания.....	56
4 Оценка взаимодействия грунтового основания и фундаментов на примере строящегося объекта на участке №2 в г. Абакан	64
4.1 Анализ ведения мониторинга за воздействием сил морозного пучения на существующие фундаменты	64
4.2 Мониторинг за воздействием сил морозного пучения существующего фундаментного основания.....	67
4.3 Создание модели поведения грунтового основания на исследуемом объекте №2 в г. Абакане	73
5 Обоснование целесообразности выбора глубины заложения фундаментов при промерзании грунтового основания в Республике Хакасия.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	85
ПРИЛОЖЕНИЕ А	97

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Республике Хакасия предлагают молодым семьям участки под строительство малоэтажных зданий. В связи с этим началась застройка участков коттеджами, садовыми домами, гаражами, торговыми павильонами и другими малоэтажными зданиями. Наибольшие затраты от общей стоимости строительства малоэтажных зданий составляют устройство фундаментов. В среднем нагрузки на 1 погонный метр ленточных фундаментов в таких зданиях (в зависимости от материалов стен и перекрытий) составляют 20 кН/м, в зданиях с выше трех этажей - не превышают 150 кН/м. В связи с этим небольшие нагрузки на тело фундаментов обуславливают повышенную чувствительность таких зданий к силам морозного пучения.

Республика Хакасия примерно на 70% состоит из морозоопасных (пучинистых) грунтов. К ним можно отнести такие виды как суглинки, супеси, глины, пески пылеватые и в некоторой степени мелкие. Самым ближайшим районом к городу Абакану с пучинистыми грунтами является поселок Чапаево и в связи с этим разрабатывать варианты фундаментов следует с привязкой к этой местности. Глубина промерзания в Республике Хакасия составляет около 3 метров. В таких условиях при определенной влажности эти грунты, промерзая в зимний период, увеличиваются в объеме, что приводит к подъему слоев грунта в пределах глубины промерзания почвы.

Находясь в таких грунтах фундаменты подвергаются выпучиванию, если действующие на них нагрузки ниже силы морозного пучения. В основном деформации от выпучивания грунта происходят неравномерно. Далее возникает неравномерный подъем фундаментов, который со временем накапливается, в результате чего основные несущие конструкции малоэтажных зданий испытывают недопустимые деформации и разрушаются. Очень часто одним из основных мероприятий по предотвращению морозного пучения является заложение фундаментов ниже расчетной глубины промерзания, однако это решение как правило, не обеспечивает устойчивость малоэтажных зданий, так как такие фундаменты имеют развитую боковую поверхность, по которой действуют большие по величине касательные силы пучения. В этом случае решение проблемы осуществляется применением фундаментов, закладываемых в зоне сезонного промерзания слоя грунта (мелкозаглубленные фундаменты) или устраиваемых на поверхности грунта (незаглубленные фундаменты).

Основные варианты мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных зданий предложены в главе 8 СП 22.13330.2016 "Основания зданий и сооружений". Все они должны быть приспособлены к работе в условиях неравномерных деформаций оснований, вызванных морозным пучением грунта.

Таким образом конструктивные мероприятия устраиваются не на преодоление сил пучения, а на восприятие деформаций. Другими словами, все решение свидится к рассмотрению задачи совместной работы фундаментов с

несущими конструкциями и сооружение фундаментов с деформирующимся грунтом в случае морозного пучения.

В настоящее время методы расчета не учитывают совместную работу фундаментов всех стен здания. Также при расчете глубины заложения согласно действующих норм приходится заглубляться намного ниже в следствии учета возможного капиллярного поднятия и последующего морозного пучения, а это не совсем верное решение, особенно если учесть, что содержание влаги в грунтовом основании может находиться на низком уровне. Однако если рассмотреть совокупность всех фундаментов как единую систему, то это позволит снизить расчетные усилия в ее элементах и в конечном итоге сможет оптимизировать глубину заложения. Решению этой же задачи служит сравнение результатов моделирования и натурные наблюдения за существующими ленточными фундаментами.

Актуальность работы заключается в обосновании глубины заложения фундаментов с обеспечением их надежности в условиях использования в качестве основания сезоннопромерзающие грунты, подверженные морозному пучению в Республике Хакасия.

Цель работы состоит в формировании основных принципов взаимодействия фундаментов под строительства зданий в грунтах подверженных морозному пучению и уточнению глубины заложения фундаментов для песчаных грунтов Республики Хакасия.

Для достижения цели были представлены следующие задачи:

1. Произвести анализ влияния морозного пучения на устойчивость малоэтажных зданий на конкретных примерах объектов, расположенных в Республике Хакасия;

2. Рассмотреть основные процессы миграции влаги в грунтах, подверженных морозному пучению;

3. Выполнить анализ основных методов проектирования фундаментов зданий на грунтах, подверженных морозному пучению, а также дать оценку мероприятиям, учитывающим влияние пучинистости в расчетах по геотехнике;

4. Провести мониторинг за динамикой грунтовых вод и ее влияния на морозное пучение;

5. Разработать модель взаимодействия фундаментов с сезоннопромерзающими пучинистыми грунтами на основании проведенных инженерно – геологических изысканий и расчетной модели фундаментов;

6. Провести анализ полученных результатов и установить закономерности изменения напряженно – деформированного состояния модели с условиями «грунт подверженный морозному пучению – исследуемый фундамент» в зависимости от глубины сезонного промерзания, влияния глубины грунтовых вод и интенсивности появления деформаций в условиях сезоннопромерзающих грунтов в Республике Хакасия;

7. Обосновать целесообразность выбора глубины заложения фундаментов в условиях промерзания грунтового основания в Республике Хакасия;

Научная новизна заключается:

– Установлено влияние сил морозного пучения с помощью 2D модели, которые в последующем могут оказать влияние на устойчивость и надежность фундаментов зданий в условиях сезоннопромерзающих грунтов в Республике Хакасия;

– Впервые была определена новая зависимость d_w от d_f в песчаных грунтах Республики Хакасия с использованием 2D модели и мониторинга за состоянием конструкций фундаментов;

Практическая значимость работы заключается в обоснованном принятии глубины заложения фундаментов выше глубины промерзания в песчаных грунтовых основаниях в условиях пучинистых грунтов, что позволит объективно принять конструктивное и технологическое решение фундаментов в республике Хакасия.

Апробация работы: Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях студентов и молодых ученых.

Список опубликованных работ:

РИНЦ

1) Шибаетова Г.Н., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Арнгольд А.А., Анализ современного рынка видов теплоизоляционных материалов в строительстве, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(65). URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxvi/109964>

2) Халимов О.З., Арнгольд А.А., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Классификация дефектов теплопотерь в узлах мансардных этажей, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(64). URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxv/107107>

3) Портнягин Д.Г., Стрельников Д.А., Кисельман А.П., Арнгольд А.А., Анализ поведения мелкозаглубленных фундаментов в условиях пучинистых грунтов, Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LXVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6(65). URL: <https://sibac.info/studconf/tech/lxvi/110037>

ВАК

4) Нагрузова Л.П., Кисельман А.П., Стрельников Д.А., Арнгольд А.А., Танков Е.В., Совершенствование бетонов и изготовление железобетонных конструкций с экономией цемента до 40% – 50% с применением микрокремнезёма, Наука и бизнес: пути развития. научно-практический журнал. № 10 (88). URL: [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/88/sb-10\(88\)-2018-main.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/88/sb-10(88)-2018-main.pdf)

SCOPUS

5) Oleg Khalimov, Dmitry Strelnikov, Geotechnical consulting at the stages of design and full repair: A case study of village school in Minusinsk region, Russia. № 1899. URL: <https://aip.scitation.org/toc/apc/1899/1?expanded=1899&>

6) Oleg Khalimov, Dmitry Strelnikov, Experience in designing and operating the buildings located on subsiding and heaving soils of the Minusinsk Hollows. № 97. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/23/e3sconf_form2018_04061/e3sconf_for_m2018_04061.html

1 Анализ влияния морозного пучения конструкций фундаментов.

1.1 Влияние морозного пучения на фундаменты.

Морозное пучение оказывает большое влияние на устойчивость малоэтажных зданий и даже заложение подошвы фундамента ниже глубины сезонного промерзания не дает гарантий на надежную эксплуатацию [1].

В таком случае грунт способен смерзаться с боковой поверхностью фундамента и приподнять его за счет касательных сил морозного пучения (А) согласно рисунку 1.

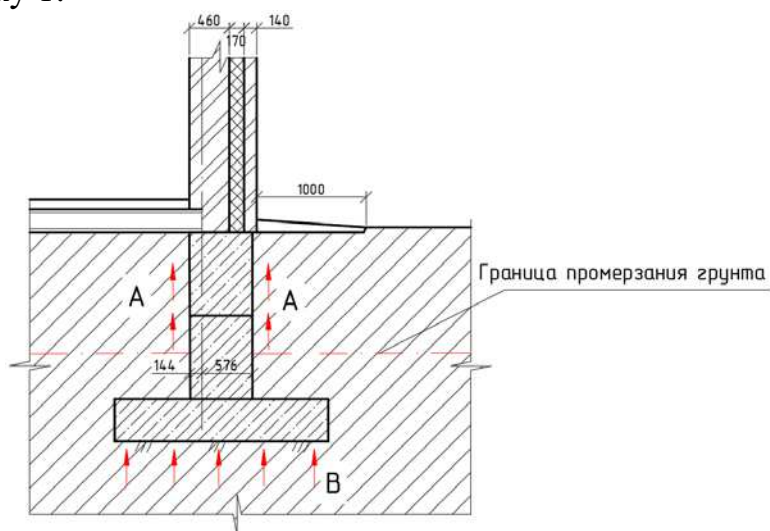


Рисунок 1 – Фундамент, расположенный ниже глубины промерзания.

Таким образом под подошвой фундамента может образоваться полость, представленная на рисунке 2, которая при попадании в нее грунта и его оттаивании уже не вернется в исходное положение, что в последствии вызовет накопление деформаций пучения [2].

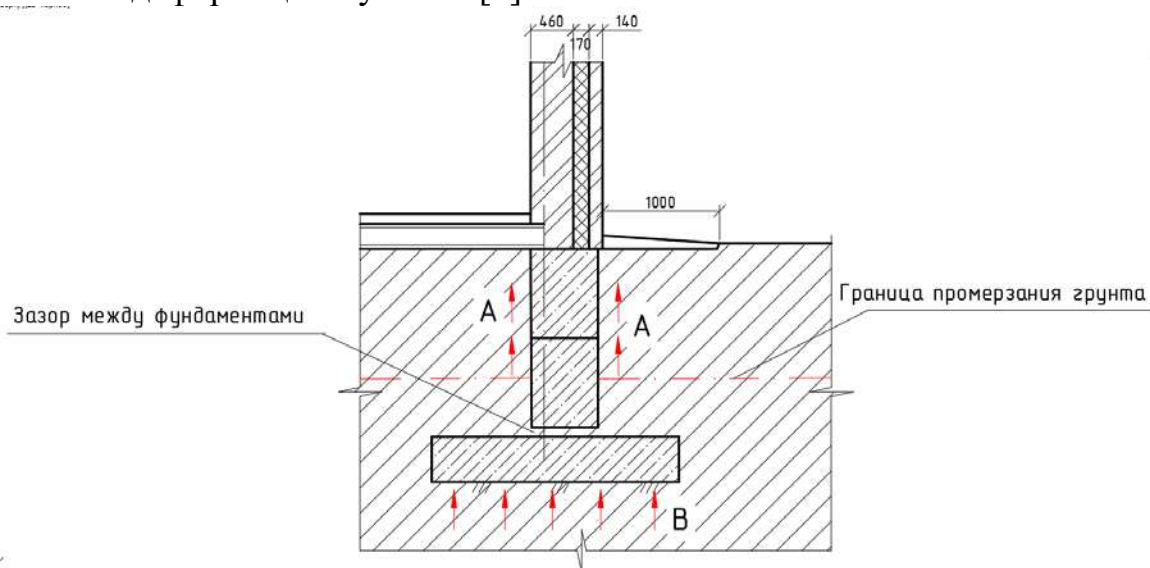


Рисунок 2 – Образование полости между подошвой и блоками фундамента

Однако такое развитие событий актуально только в европейской части России, где касательные силы (А) преобладают над нормальными силами (В) морозного пучения. В восточной части России, происходит другая ситуация. Там глубина промерзания составляет около 3-х метров и в связи с этим преобладают нормальные силы морозного пучения. В таком случае деформируется подошва фундаментов согласно рисунку 3.

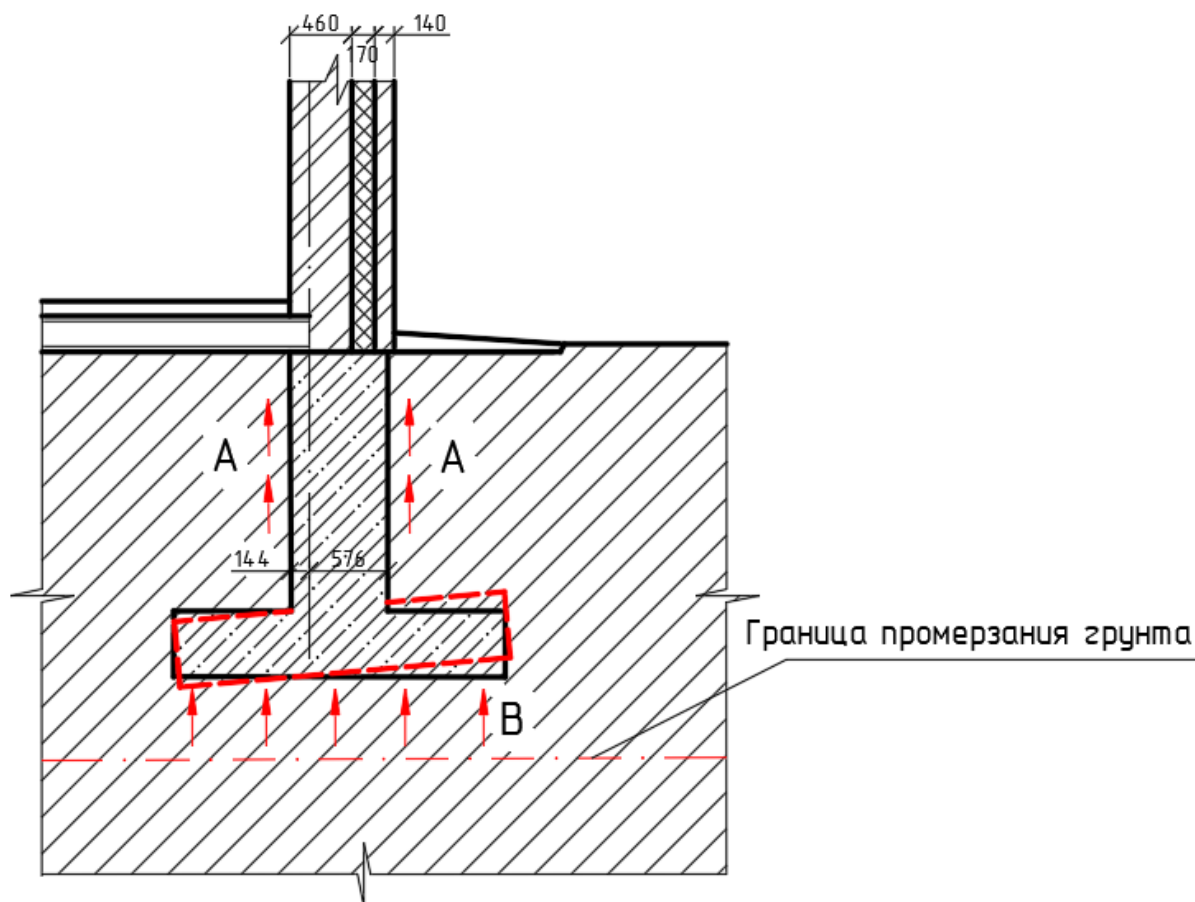


Рисунок 3 – Деформирование подошвы фундаментов

Нередко при строительстве малоэтажных зданий осознанно не используются противопучинные мероприятия, стараясь в таком случае возвести фундамент в теплое время, а построить здание полностью до наступления холодов [3]. Теоретически это позволяет нагрузить фундаменты сильнее чем силы морозного пучения. Однако вероятность, что силы морозного пучения будут выше чем нагрузка на фундамент очень высока.

Таким образом остается единственный способ по борьбе с нормальными силами пучения в восточной части России – утепление фундаментов. Данное решение создает повышенное сопротивление тепловому потоку воздуха и в результате холод, идущий с поверхности, не сможет заморозить слои под утеплителем, так как туда будет постоянно поступать тепло с земли, и из здания через фундамент как показано на рисунке 4.

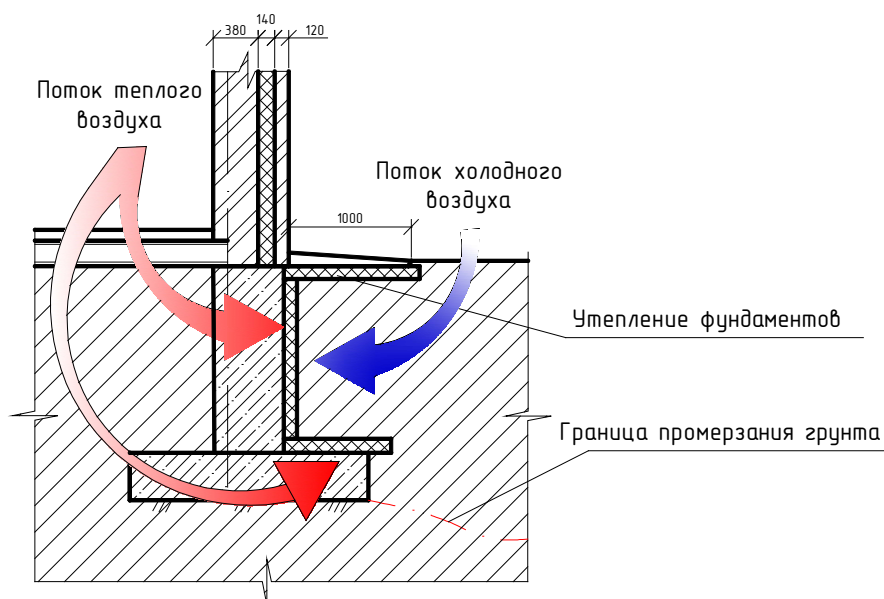


Рисунок 4 – Теплотери и граница промерзания с утепленным фундаментом

Мероприятия по устройству песчаной подушки толщиной до 0,5 метра, с отводом воды дренажами, можно считать полезными в дополнение к современному утеплению грунта, однако данное решение не будет являться обязательным. Оптимальным утеплительным материалом, способным находиться в грунте в незащищенном состоянии является экструдированный пенополистирол. Он достаточно крепкий и не впитывает воду.

1.2 Процессы морозного пучения в грунтовом основании.

Всем известно, что при воздействии морозного пучения деформации происходят попеременно: при промерзании почвы происходит подъем фундаментов, при оттаивании оседание. Достаточно авторов рассматривали подобные проблемы и ими же были описаны характерные случаи деформации зданий и под действием нормальных сил морозного пучения грунта [4].

В таком случае устранение дефектов зданий требует значительных материальных затрат. Причем, если ремонт провели плохо и не устранили причины, порождающие неравномерные деформации, то это не решит проблему успешной эксплуатации.

Раньше основным средством борьбы с неравномерными деформациями морозного пучения почвы являлось заложение фундаментов ниже зоны промерзания грунта. Это было связано с тем, что основной принцип был основан на противодействии силам морозного пучения и преследовал основную цель - обеспечить устойчивость фундаментов [5], что практически невозможно достичь для зданий или сооружений нагрузка которых меньше нормальных сил.

Так в работе Халимова О.З. [6] рассматривалась физико – химическая противоположная стабилизация оснований и фундаментов в условиях высокого уровня подземных вод. В Москве НИИОСП им. Н.М. Герсееванова в 1989 были представлены материалы исследований морозного пучения в переносных и стационарных грунтовых лотках в условиях напорной миграции в зависимости

от уровня подземных вод. Применять мелкозаглубленные фундаменты необходимо чрезвычайно аккуратно с учетом решения вопросов надежности реализации предложенных противопучинных материалов [7].

В процессе выполнения исследовательской работы были рассмотрены работы [8-24], касающиеся проблеме строительства фундаментов под малоэтажные здания на пучинистых грунтах. Проанализировав их можно сделать вывод, что исследование поведения фундаментов в условиях пучинистых грунтов ведется достаточно интенсивно. Однако, заглянув в область исследования поведения фундаментов в условиях пучинистых грунтов малоэтажных объектов и зданий со сложными инженерно – геологическим условиями в Республике Хакассия можно сказать, что достаточного объема для совершенствования исследований проведено не было.

Явление морозного пучения изучается довольно давно, а особенно интенсивно в последние 50 лет. У процессов набухания и пучения имеются общие закономерности. Самые большие вклады по исследованию этих процессов внесли: Долматов Б.Н., Киселев М.Ф., Малышев М.В., Сажин В.С., Цытович Н.А., и др.).

Если основываться на современных представлениях, то тогда основным условием пучения любого грунта является превышение приращения общего объема замерзшей и незамерзшей воды над объемом свободных от воды газовых пор талого грунта [25]. В связи с этим по мере возрастания степени водонасыщения грунтов, интенсивность пучения увеличивается и достигает максимума при полной влагонасыщенности. Пучение связных (глинистых) грунтов происходит не столько вследствие кристаллизации воды изначально содержащейся в глинистом слое, а сколько благодаря миграции влаги из подстилающих талых слоев грунта. Миграция жидкости обусловлена наличием в глинистых и пылевато-песчаных грунтах молекул воды. Изучению процессов миграции влаги посвящены работы [26-29]. За все время исследования было предложено более 50 теорий перемещения влаги при промерзании грунтов, которые со временем уточнялись, детализировались и дополнялись новыми результатами исследования. В современном представлении [30] миграция влаги при морозном пучении возможна во всех состояниях (парообразном, жидком и твердом). Перемещение в парообразном состоянии происходит лишь при незначительной влажности грунтов, а в твердом состоянии (в виде льда) проявляется лишь в результате чисто пластического течения, возникающего под действием внешней нагрузки.

Однако основная часть миграции осуществляется в жидкой фазе. Перемещения фундаментов при попеременном промерзании и оттаивании пучинистых грунтов зависят от нескольких факторов. Одним из основных причин на пучения грунта оказывает его состав. Установлено, что глинистые грунты могут содержать фракции пыли и таким образом при соответствующих температурно-влажностных условиях проявляют значительные деформации пучения. Кроме того, значительное влияние на интенсивность морозного пучения оказывает минералогический состав грунтов. Так же важным

фактором, определяющим выпучивание грунта, является его влажность.

Согласно проведенными исследованиями, содержащимся в работах [31,32], выпучивание грунта зависит от его температуры, а также скорости и глубины промерзания слоев грунта. Увеличение глубины промерзания обычно сопровождается увеличением структуры грунта. Но при этом следует учитывать влияние скорости промерзания во времени. Установлено, что с ростом скорости до 11,5 м/сутки интенсивность пучения линейно возрастает и при скорости 2-4,5 м/сутки достигает максимального значения, а при дальнейшем увеличении скорости промерзания интенсивность пучения убывает.

1.3 Примеры влияния морозного пучения на здания.

При действии нормальных сил в несущих элементах зданий возникают дополнительные усилия, которые являются причиной появления и развития в них деформаций, а те в свою очередь затрудняют эксплуатацию или приводят объект в аварийное состояние. Очень часто деформации проявляются в образовании трещин в фундаментах и стенах, показанные на рисунках 5,6 и 7.



Рисунок 5 – Деформации деревянного перекрытия в области печной трубы

На данной фотографии представлены деформации деревянного перекрытия в области печной трубы. В данном случае фундамент под печку в зимнее время не промерзает, так он находится в подполье, а дом приподнимается в следствие морозного пучения.



Рисунок 6 – Деформации дверного проема

На данной фотографии представлены деформации деревянной коробки дверного проема относительно пола первого этажа. Они произошли в связи с тем, что дом вместе с перегородками поднимается, а полы остаются на том же уровне, где и были, так как стоят на отдельных столбиках. В связи с этим есть вероятность что силы пучения не воздействуют непосредственно на столбики полов жилого дома в связи с положительной температурой в данной области.



Рисунок 7 – Отслаивание штукатурного и лакокрасочного слоя стен дома

На данной фотографии произошло отслаивание штукатурного слоя в следствии поднятия фундаментов стен здания в следствие прогрессирующего морозного пучения.

Иногда бывает и так, что при строительстве нового здания строители просто засыпают пучинистый грунт другим надеясь, что это решение обеспечит надежность несущих конструкций. Самым ярким примером является здание,

расположенное в западной части города Абакана на базе «Военторг» по улице Итыгина 18, которое получило недопустимые деформации от нормальных сил морозного пучения. Площадка представлена супесчаными грунтами, перекрытыми насыпными гравийно-галечниковыми грунтами представлена на рисунке 8.

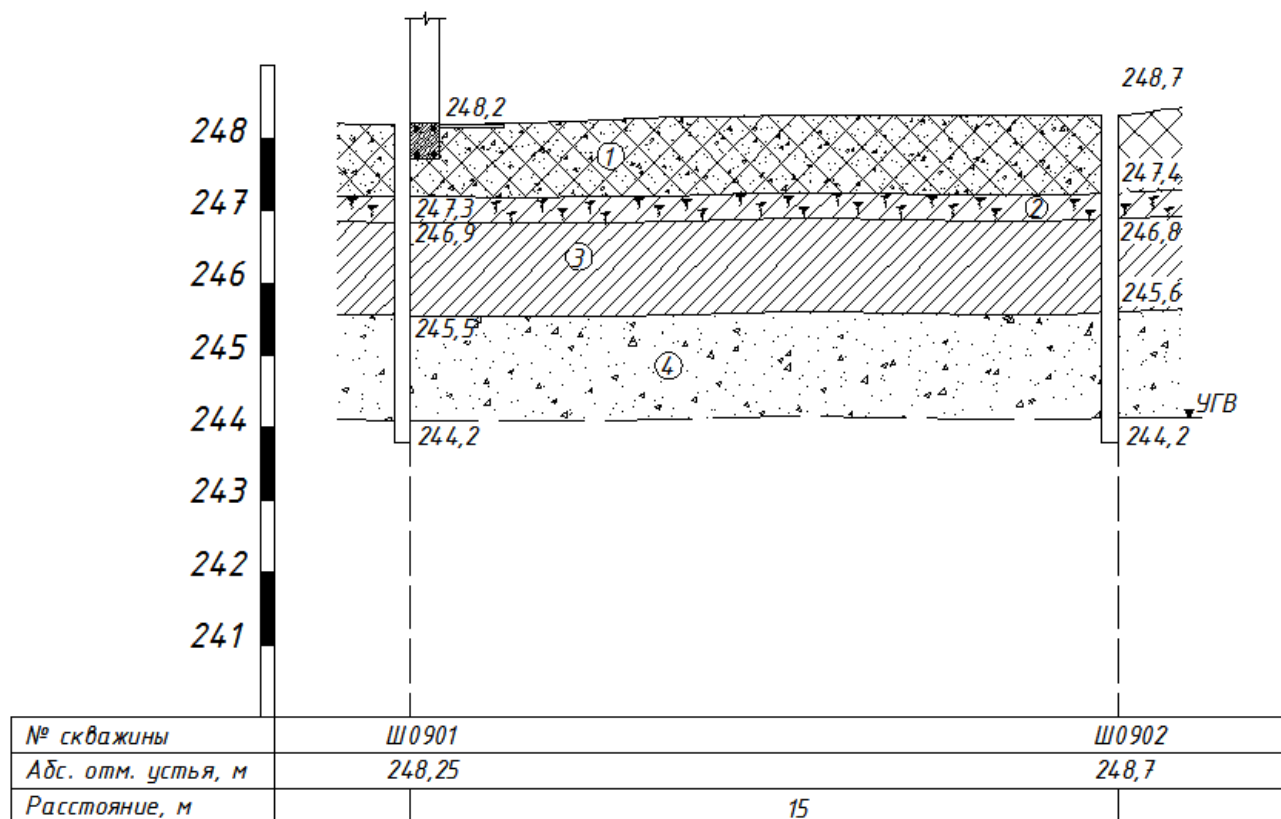


Рисунок 8 – Инженерно – геологический разрез

Согласно проведенным изысканиям были установлены следующие слои грунта:

1. Насыпной грунт – гравийный грунт с включениями песка, супеси, суглинка, строительного мусора. Мощность слоя 1-1,3 м.
2. Гумусированный суглинок. Мощность слоя 0,3 – 0,5 м.
3. Суглинок. Мощность слоя до 1,4 м.
4. Гравий с песчаным заполнителем. Мощность слоя 1,5 м.

Грунтовые воды залегают на глубине 4,3 м на отметках 244,0 – 244,3 м.

При проведении обследования здания были обнаружены сильные деформации участков по углам кирпичных стен. Такое интенсивное пучение в этих местах обусловлено снижением теплового эффекта от зданий. К тому же, наиболее деформированный восточный торец здания находится в наибольшем удалении от пункта устройства тепловых сетей. Также следует обратить внимание, что температура в системе отопления в торговом помещении, с деформированным торцом наиболее удаленном от запитки, ниже всех сдаваемых в аренду помещений.

Скорее всего во время проектирования было предложено, что жесткости железобетонного фундамента будет достаточно для восприятия усилия от

нормальных сил морозного пучения. Схема развития трещин в торце представлена на рисунке 9.

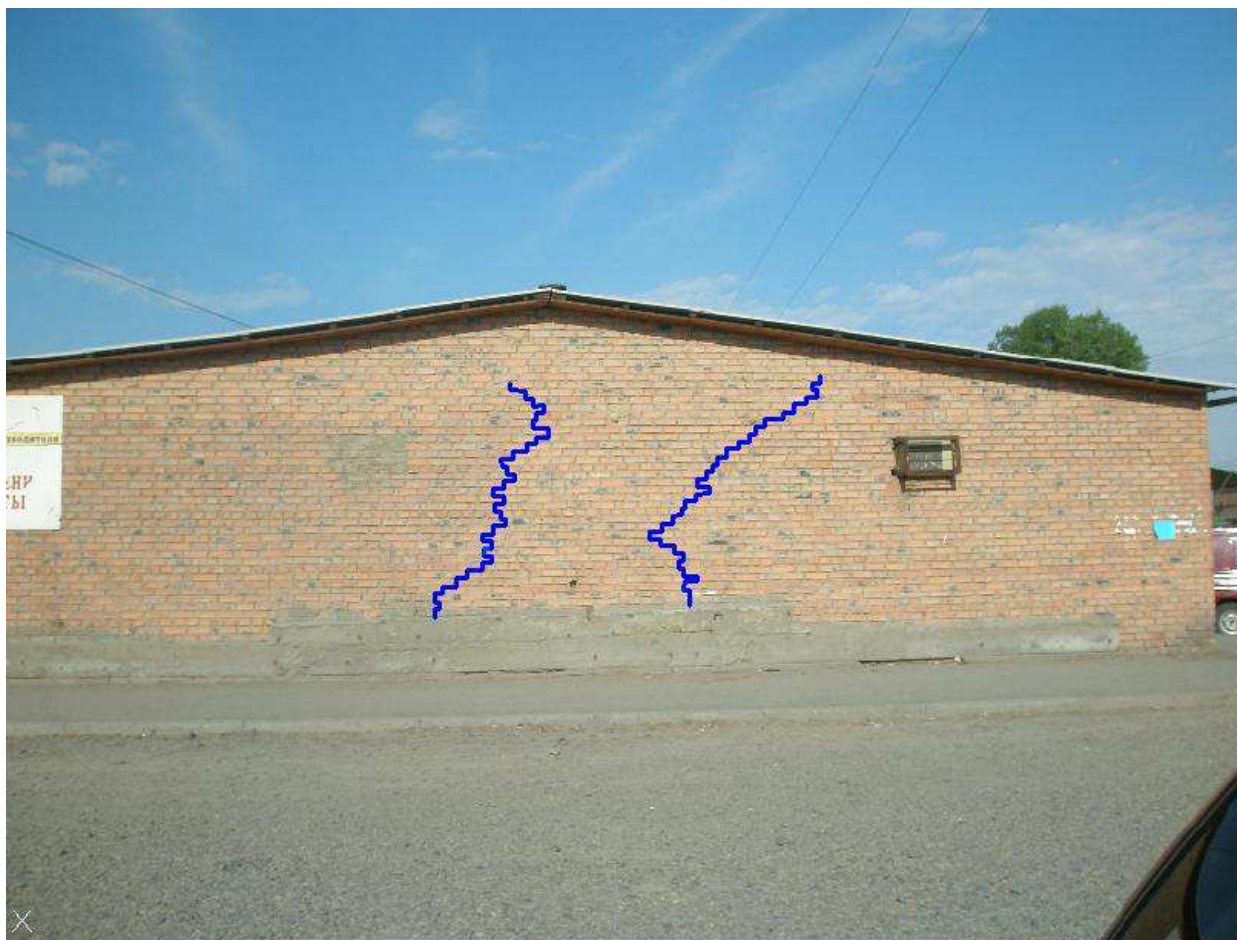


Рисунок 9 – Схема развития трещин

Увеличение раскрытия трещин в середине торцевой стены, представленные на рисунке 9 показывает на подъем в зимний период углов кирпичных стен. Однако при вскрытии фундаментов трещины в нем не были обнаружены. Изгиб балки произошел также без образования в ней трещин. Это связано с тем, что арматура распределила по всей длине деформации растяжения.

Однако в кирпичной кладке арматура отсутствует и это послужило причиной деформации наружных стен. Конечно, угрозу жизни такой дефект не представляет, но внешний вид фасада все же испорчен и что немаловажно отсутствует герметичность стенового ограждения.

Стоит отметить, что морозное пучение также проявляется и при строительстве зданий в период разработки котлована [6,33,34,35]. В связи с тем, что уровень грунтовых вод находится на расстоянии 0.8 м ниже отметки дна котлована, в период строительства могли протекать деформации морозного пучения. Ответ на вопрос почему в период строительства пучение протекает более интенсивно, чем на открытой площадке представлен на рисунках 10,11.

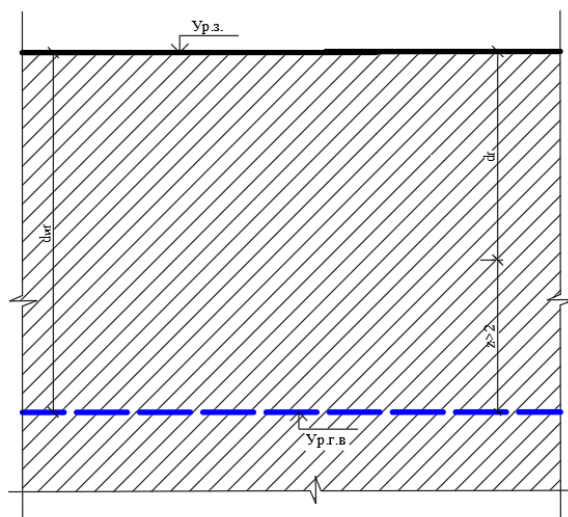


Рисунок 10 – Схема, показывающая изменения z в зависимости от глубины заложения и уровня грунтовых вод до начала работ по разработке котлована

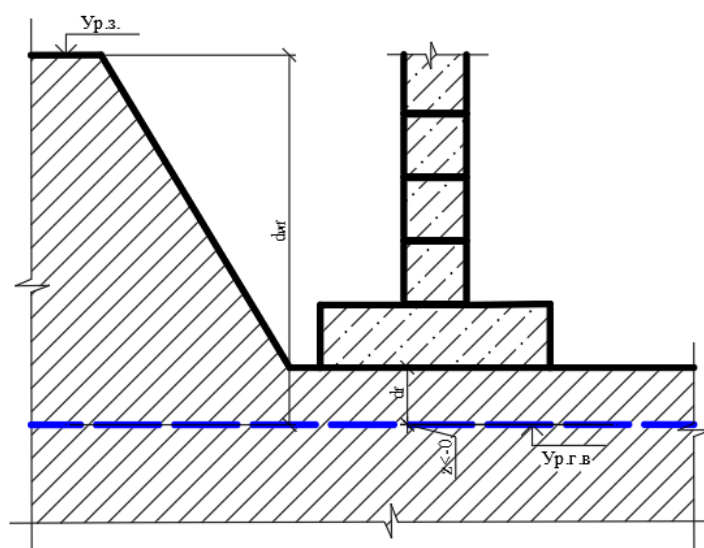


Рисунок 11 – Схема, показывающая изменения z в зависимости от глубины заложения и уровня грунтовых вод в период разработки котлована

Согласно рисунку 10 в до начала работ по разработке котлована зависимость представляет собой $z > 2$, то в этом случае грунт может быть и не пучинистым. Если же рассматривать рисунок 11, то в этом случае происходит морозное пучение из-за близкого расположения уровня грунтовых вод к глубине сезонного промерзания. В этом случае зависимость будет составлять $z < 0$. Таким образом из практически не пучинистого, грунтовое основание может перейти в чрезмерно пучинистое состояние.

Таким образом грунт при промерзании и последующем оттаивании мог перейти в текучее состояние [36], что в итоге привело к недопустимому отклонению несущих стен от вертикали (рисунок 12), а фундаментная плита получила опасный наклон от нормальной оси, что является тревожным показателем того, что возможно, грунты и фундаменты потеряли устойчивость.

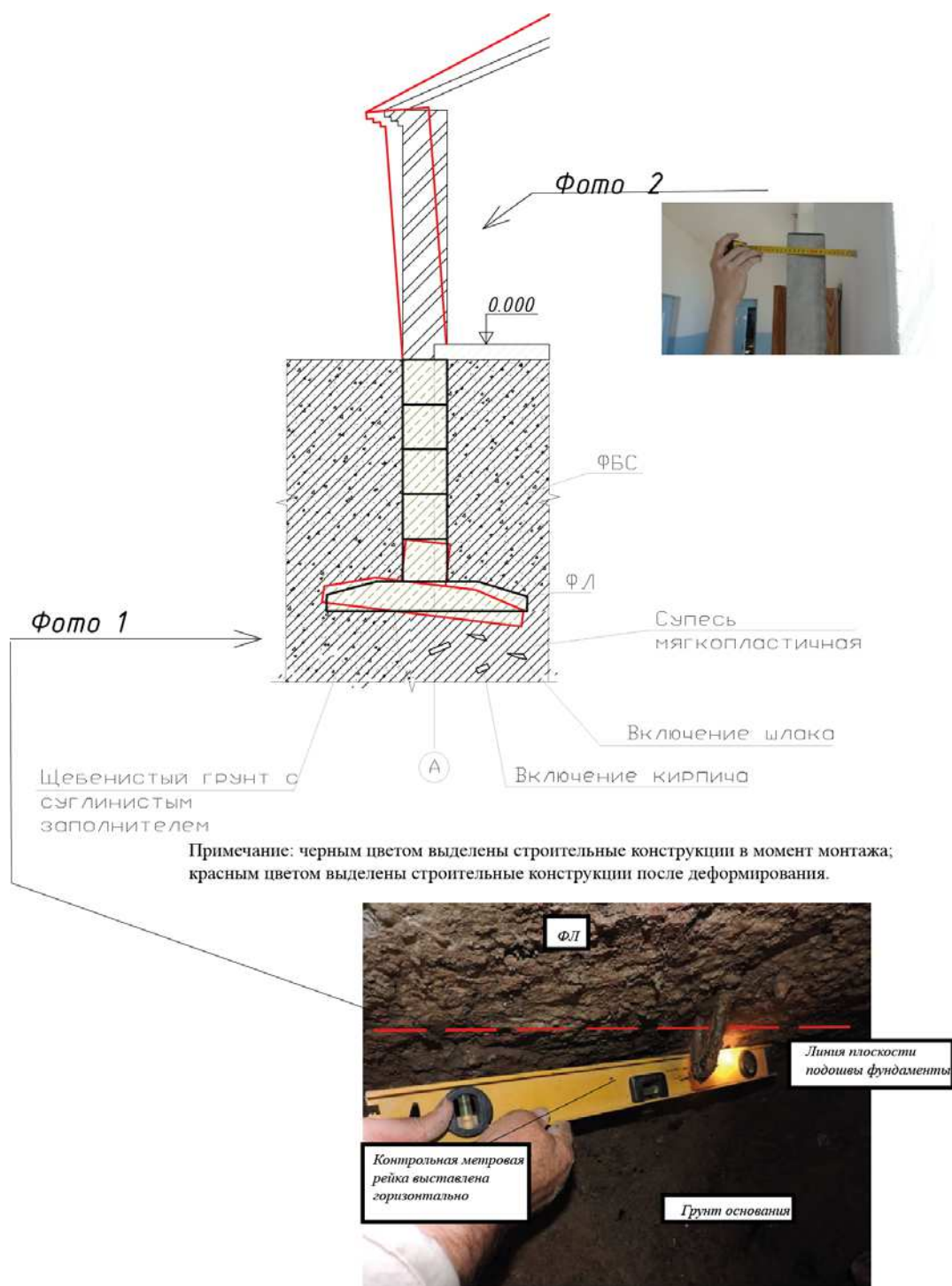


Рисунок 12 – Схема деформирования фундаментов и стен здания

Особенно опасны длительные перерывы в строительстве, так как именно они приводят к интенсивному промерзанию и морозному пучению грунта. Однако в следующем примере перерывы имели более длительный характер.

Рассматриваемый объект расположен в центре Абакана по улице Вяткина (ранее Р. Люксембург). Здание кирпичное, двухэтажное с подвалом и продольными несущими стенами. Согласно проведенным изысканиям было установлено, что с поверхности до глубины 5 м залегает песок пылеватый, а уровень грунтовых вод составляет 3 - 3,5 м.

Фундаменты разработаны ленточные на естественном основании, ширина железобетонной подушки составляет 1,6 м. В первый зимний перерыв вышли с возведением кирпичной кладки по перекрытому подвалу до верха окон. Однако за это время произошло раскрытие трещин в стенах до 20 мм и весной часть кладки была разобрана и возведена заново.

Новый собственник к зиме следующего года закончил возводить первый этаж и перекрыл железобетонными плитами, но проблема проявилась снова – образовались трещины на стенах.

Для выявления причины было принято решение провести обследование грунтов под подошвой фундаментов. Исследование основания показало, что грунт промерз в уровне подвала на 1,5 м и имел слоистую криогенную структуру.

Таким образом основная причина появления трещин стало морозное пучение. Для устранения причин появления трещин были рассмотрены следующие варианты по усилению фундаментов:

- Усиление фундаментов после демонтажа перекрытия и разбор кирпичной кладки;
- Теплозащита мерзлого грунта от неравномерного оттаивания летом;

Проведя тщательный анализ было выбрано решение по утеплению подвала засыпкой керамзитового гравия толщиной 30 см, восполнить дополнительный железобетонный пояс в уровне перекрытий и продолжить кладку 2-го этажа. Здание достроили в 1995 году, а керамзитовый гравий после стабилизации деформации при медленном оттаивании грунта был поднят на чердачное перекрытие. Здание находится в работоспособном состоянии и в настоящее время, деформации от морозного пучения полностью отсутствуют.

В связи с выше перечисленными примерами можно сказать, что применение мелкозаглубленных фундаментов в условиях чрезмерно пучинистых грунтов Республики Хакасии требует более серьезных исследований в этой области.

1.4 Первый опыт строительства фундаментов мелкого заложения

В отличие от традиционных фундаментов, которые закладываются ниже глубины промерзания грунта, фундаменты не глубокого заложения устраиваются в слое сезоннопромерзающего грунта.

При возведении на пучинистых грунтах под фундаментами обязательно устраивают подушки из непучинистого материала. В основном в такой роли используют пески крупные или средней крупности, песчано - гравийные и песчано – щебеночные грунтовые смеси [37].

В настоящее время использование мелкозаглубленных фундаментов вошло в норму, особенно если здание устраивается без подвального помещения. В 1965-1969 годах в г. Первоуральске одной из первых была применена технология с использованием мелкозаглубленных фундаментов.

Там было построено 120 одноэтажных жилых домов, представленных на рисунке 13 с глубиной заложения фундаментов 0,8 м вместо 1,8 м по проекту.



Рисунок 13 – Малоэтажные здания в период строительства с 1965 по 1969 годам.

Подожвы ленточных фундаментов шириной 0,5-0,6 м располагались на песчаной подготовке толщиной 0,2 м [38-40]. Последующие геодезические наблюдения показали, что максимальная осадка углов домов составила всего 10 – 25 мм и не привела к появлению трещин в конструкциях и нарушению нормальной эксплуатации домов. Вскоре (1978-1982 гг.) в ряде областей Нечерноземной зоны было осуществлено экспериментальное строительство нескольких десятков одно- и двухэтажных жилых домов [41], производственных и административных зданий, гаражей, хозяйственных построек и других легких зданий на средне- и сильнопучинистых грунтах с использованием мелкозаглубленных фундаментов [42]. За зданиями в течение 5 лет производился мониторинг.

За весь период наблюдения было установлено, что в зимний период фундаменты подвергаются подъему силами пучения, а в период оттаивания - осадкам. Там же было установлено, что при подъеме фундаментов кирпичных зданий на 2,5-3,5 см в их стенах трещины не образуются. Деревянные здания при подъеме фундаментов на 5-6 см эксплуатируются нормально [43].

Положительный опыт экспериментального строительства мелкозаглубленных фундаментов и результаты собранные за период наблюдения и практических исследований послужили основой для разработки строительных норм и правил строительства и проектирования таких объектов в Московской области.

Большую роль в создании норм проектирования мелкозаглубленных фундаментов сыграл В.С. Сажин. Основываясь на его исследованиях были разработаны одни из первых норм проектирования малоэтажных зданий в пучинистых грунтах [44]. В нормах была проведена оценка пучинистости грунтового основания, рассмотрены конструкции фундаментов, а также предоставлен пример расчета оснований мелкозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах. Располагая подобными нормами организации стали адаптировать под свои геологические условия и широко применять такой тип фундаментов в области строительства в том числе и в Республике Хакасия.

1.5 Инженерно – геологические условия первой площадки

Первая площадка, где проводятся исследования грунтов расположена в поселке Чапаево. Там в большом количестве присутствуют суглинистые и

супесчаные грунты, которые находятся в зоне сезонного промерзания и возможно подвержены морозному пучению.

Поселок Чапаево расположен недалеко от центральной части минусинской котловины, территориально включающую в себя часть территории юга Красноярского края и Республики Хакасия. Котловина, представляет собой большой древний межгорный прогиб, ограниченный с востока Восточным Саяном, с запада Кузнецким Алатау, с юга Западным Саяном, с севера - невысоким хребтом Арга [45].

Отрогами этих хребтов обширная территория котловины делится на отдельные части: Назаровскую, Чулымо-Енисейскую, Сыдо-Ербинскую и Южно-Минусинскую. Природные условия котловины определяются горнокотловинным рельефом и расположением в центральной части Азиатского материка. Высота над уровнем моря составляет 200-700 м.

Для определения основных характеристик грунтового основания на площадке в п. Чапаево было принято решение о проведении изыскательских работ. При проведении исследования грунтового основания преследовались следующие задачи:

1. Изучить инженерно-геологические условия площадки строительства проектируемого жилого дома;
2. Условия залегания литологических разностей и определение их глубины залегания;
3. Гидрогеологические условия;
4. Наличие неблагоприятных физико-геологических процессов и явлений;
5. Состав и физико-механические свойства грунтов;

Работы по разработке шурфов проводились с 30.06.2018 по 01.07.2018 г. На рисунках 14 и 15 представлены общие виды на шурф 1 и 2.



Рисунок 14 – Общий вид шурфа 1



Рисунок 15 – Общий вид шурфа 2

По окончании разработки шурфов были отобраны образцы нарушенной и ненарушенной структуры для определения основных характеристик грунтов в лабораторных условиях.

На основании данных разработки шурфа, полевых методов исследований грунтов, результатов лабораторных исследований грунтов в геолого-литологическом разрезе изысканной площадки выделено 4 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

ИГЭ-1 – почвенно растительный слой. Суглинок легкий, твердый, с остатками корневой системы растений.

ИГЭ-2 – супесь пластичная, слабопросадочная бурого цвета;

ИГЭ-3 – суглинок легкий, твердый, слабопросадочный бурого цвета.

ИГЭ-4 – галечниковый грунт с песчаным заполнителем средней крупности.

Также при проведении инженерно – геологических изысканий было обнаружено, что в шурфе 1 присутствует песчаная прослойка из темно – коричневого песка средней крупности. Его мощность составляет 0,04 м.

Условия залегания выделенных на участке изысканий инженерно-геологических элементов, их распространение и мощности отражены на геологических разрезах, представленных на рисунках 16,17.

№ ИГЭ	Геологический индекс	Абс. отметка, м	Описание породы	Литологический разрез	Состояние грунта	Мощность слоя, м		Глубина залегания слоя, м		Уровень грунтовых вод, м	
						от	до	от	до	появ.	уст.
1		206,67	Почвенно – растительный слой			0,30	0,00	0,30			
2		1	Супесь пластинчатая, бурого цвета								
	tQ ₄	204,67				1,70	0,30	2,00			
		204,63					0,04	2,00	2,04		
4		3	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем средней крупности								
		202,57				2,06	2,04	4,10			3,00 24.07.2018

Рисунок 16 – Инженерно – геологический разрез шурфа 1.

№ ИГЭ	Геологический индекс	Абс. отметка, м	Описание породы	Литологический разрез	Состояние грунта	Мощность слоя, м		Глубина залегания слоя, м		Уровень грунтовых вод, м	
						от	до	от	до	появ.	уст.
1		206,63	Почвенно – растительный слой			0,30	0,00	0,30			
2		1	Суглинок легкий, твердый								
	tQ ₄	204,68				1,65	0,30	1,95			
		202,53					2,15	1,95	4,10		
4		3	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем средней крупности								3,00 24.07.2018

Рисунок 17 – Инженерно – геологический разрез шурфа 2.

ИГЭ-1 – почвенно – растительный слой. Суглинок легкий, твердый, с остатками корневой системы растений. Грунты ИГЭ-1 имеют мощность на площадке строительства до 0,3 м и подлежат удалению при проведении строительных работ. Средняя плотность грунтов ИГЭ – 1 составляет 2,10 – 2,15 г/см³.

ИГЭ-2 - супесь пластичная, слабopосадочная бурого цвета. В нижней границе присутствует песчаная прослойка темно – коричневого песка средней крупности с размерами частиц $d > 0.1$ мм. Процентное соотношение таких частиц составляет 91,42.

ИГЭ-3 – суглинок легкий, твердый, слабopосадочный бурого цвета представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Суглинистый слой ИГЭ – 3.

В нижней границе присутствует песчаная прослойка темно – коричневого песка средней крупности с размерами частиц $d > 0,1$, показанная на рисунке 19. Процентное соотношение таких частиц составляет 91,42.



Рисунок 19 – Песчаная прослойка в шурфах 1,2 в промежутке грунтов ИГЭ – 2, ИГЭ – 3 и ИГЭ 4.

ИГЭ-4 – галечниковый грунт с песчаным заполнителем средней крупности. В составе грунта преобладают крупные компоненты размером более 10 мм (окатанная галька и/или остроугольный щебень), между которыми

присутствует мелкое заполнение песком или другим инертным материалом природного происхождения.

Геолого – литологический разрез исследуемого участка представлен на рисунке 20.

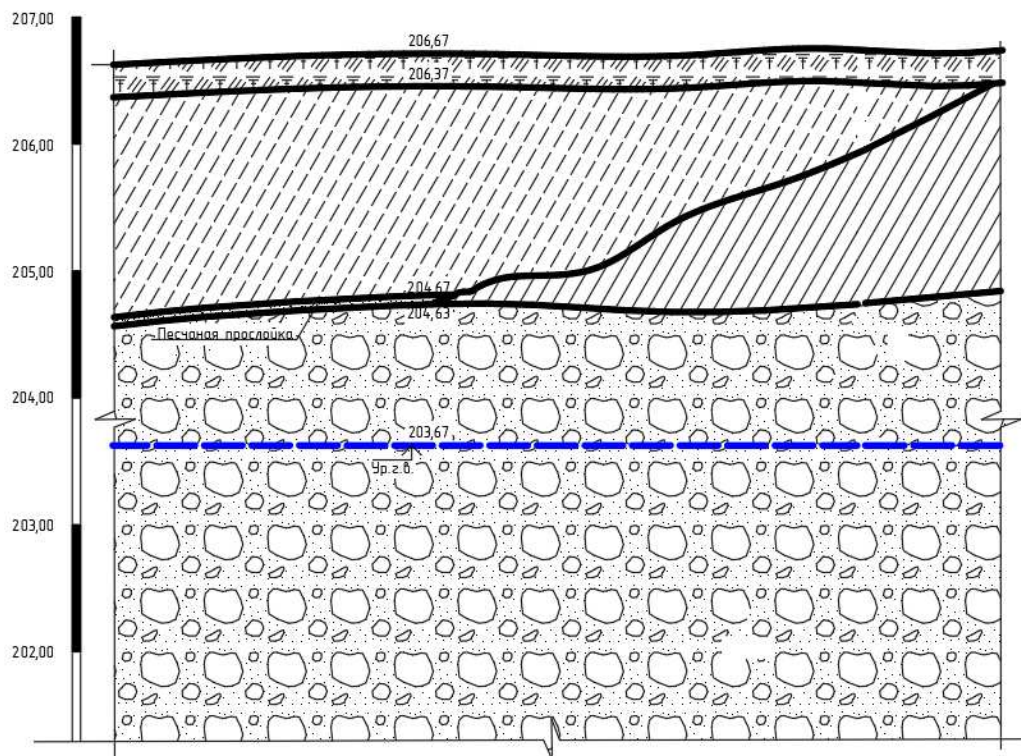


Рисунок 20 – Геолого – литологический разрез участка №1.

В результате анализа пространственной изменчивости характеристик грунтов, определяемых полевыми и лабораторными методами в пределах участка изысканий на разведанную глубину до 4,1 м были получены основные характеристики грунтового основания, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики грунтового основания участка №1.

№	Код выработки	Глубина взятия образца	Структура грунта	Влажность грунта, близкая к естественной W	Плотность грунта г/см ³		Плотность частиц грунта	Коэффициент пористости	Пористость	Степень влажности	Влажность на границе, %		Число пластичности	Показатель текучести	Деформации относительной просадочности при нагрузке
					Естеств. структуры	Скелета грунта					Текучести	Раскатки			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Продолжение таблицы 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ш2	1,4	мо н	12,09	1,75	1,56	2,71	0,73 6	42 ,3 9	0,4 5	24, 31	14,8 1	9,50	-0,29	0,03
2	ш1	1,6	мо н	13,34	1,73	1,47	2,70	0,83 1	45 ,3 9	0,5 6	18, 22	13,7 9	4,43	0,80	0,015

При проведении инженерно – геологических изысканий грунтовые воды были обнаружены на глубине 3,0 м.

Нормативная глубина сезонного промерзания составляет 2,9 м. В зону сезонного промерзания попадают грунты ИГЭ № 1, 2, 3, которые в дальнейшем при замерзании могут подвергаться морозному пучению.

1.6 Инженерно – геологические условия второй площадки

Изначально планировалось провести инженерно – геологические изыскания на исследуемой площадке №1. Однако во время выполнения диссертационной работы было предложено провести полный мониторинг существующих ленточных фундаментов на участке №2. Большой интерес к данному объекту состоял в исследовании поведения грунтового основания согласно 2D модели, а существующие ленточные фундаменты сыграли роль полноразмерной модели.

Похожая черта, объединяющая данные объекты – глубина заложения находится в уровне сезонного промерзания грунта. Примечательно, что фактическая глубина заложения фундаментов относительно уровня земли составляет 1,0 м, а на втором участке 1,2 м. В следствие этого ожидается, что на фундамент будет воздействовать силы пучения и имеется риск его деформации. По этой причине было принято решение о проведении мониторинга за УГВ и деформациями морозного пучения.

Вторым интересным моментом послужило то, что нагрузки на грунтовое основание в двух случаях не превышают 40 Кн. Это объясняется тем, что в период возведение фундаментов на участке №2 они стояли всю зиму не загруженные (в дальнейшем эту ситуацию мы рассмотрим подробнее).

В целом если сравнить объекты двух участков, то можно найти похожие моменты в области нагрузки, глубины заложения, а также, что скорее всего самое важное, проследить динамику морозного пучения на реальном объекте. В следствие выше перечисленных факторов и было принято решение о включении исследования участка №2 в магистерскую работу.

Площадка №2 расположена в городе Абакан. На данном участке возводится 5-ти этажный жилой дом, состоящий из 7 блок-секций со

встроенными нежилыми помещениями, размерами 24x15 м. План расположения блок – секций строящегося дома представлен на рисунке 21.

Принятый тип фундамента всех секций жилого дома – ж/б ленточный. Основная причина в выборе данного объекта заключается в присутствии пучинистых грунтов, которые могут влиять на целостность ленточного фундамента. Особенно тогда, когда строительство ведется в осенне-зимних условиях и часть фундаментного основания, расположенная в зоне пучения грунтов еще не загружена.

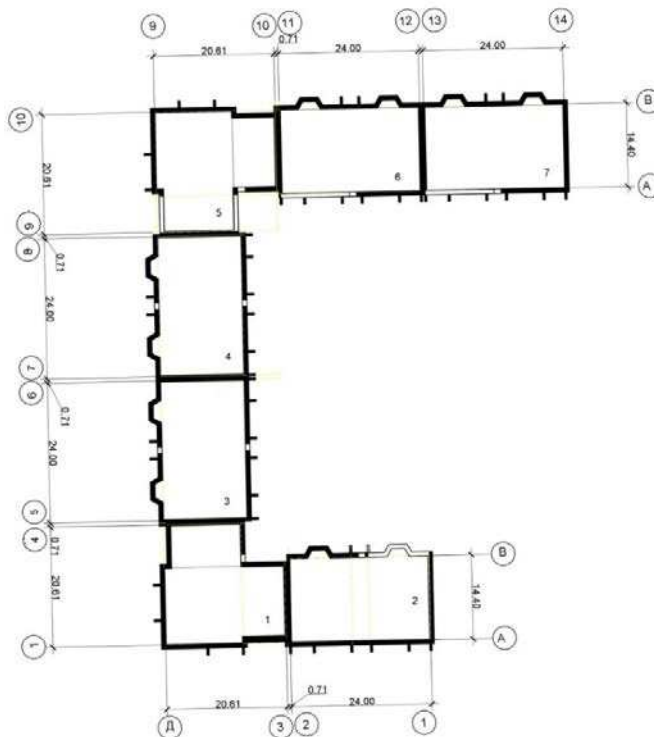


Рисунок 21 – План расположения блок-секций строящегося дома

Климат района резко континентальный с холодной зимой, жарким летом и резкой сменой температур в течение суток.

Географическое положение района в пределах Минусинского межгорного прогиба смягчает климатические условия по сравнению с климатом смежных районов Восточной Сибири. Ограждающие Минусинский межгорный прогиб горные системы Кузнецкого Алатау и Саян защищают территорию, как от вторжения холодных масс воздуха, так и от проникновения холодных осадков.

Недостаток влаги обуславливает засушливое лето и малоснежные зимы.

Количество атмосферных осадков в среднем составляет 288 мм, причем 50-60 % из них выпадает в теплое время года с апреля по октябрь.

Малоснежные зимы влияют на глубину промерзания грунтов, которая составляет до 2,9 м.

В геологическом строении площадки принимают участие современные техногенные и четвертичные аллювиальные отложения. С поверхности площадка покрыта местами маломощным почвенно-растительным слоем и насыпными грунтами.

Ниже по разрезу распространены четвертичные аллювиальные песчано-глинистые и галечниковые грунты. Мощность покровных суглинков изменяется от 0,20-0,40м в северной части до 1,40-2,80м – в южной. Консистенция суглинков твердая, полутвердая и мягкопластичная. Под суглинками в центральной и южной частях площадки встречена линза песка пылеватого, маловлажного. Ниже повсеместно встречены галечниковые грунты с песчаным и супесчаным заполнителем. Вскрытая мощность галечника с песчаным заполнителем варьирует от 4,40 м до 9,60 м, с супесчаным заполнителем от 2,30 м до 2,60 м. Характерной особенностью литологического строения этой площадки является погружение кровли галечника в южном направлении.

На основании данных проведенных инженерно – геологических изысканий и результатов лабораторных исследований грунтов в геолого – литологическом разрезе выделено 4 инженерно – геологических элементов (ИГЭ).

ИГЭ -1 – Суглинок твердый, коричневый.

ИГЭ-2 - Суглинок мягкопластичный серого цвета.

ИГЭ-3 - Песок пылеватый коричневый, маловлажный, рыхлый.

ИГЭ-4 - Галечниковый грунт с песчаным заполнителем от 12,0 до 27,9%.

Места отбора грунтового основания для проведения инженерно – геологических изысканий представлены на рисунке 22.

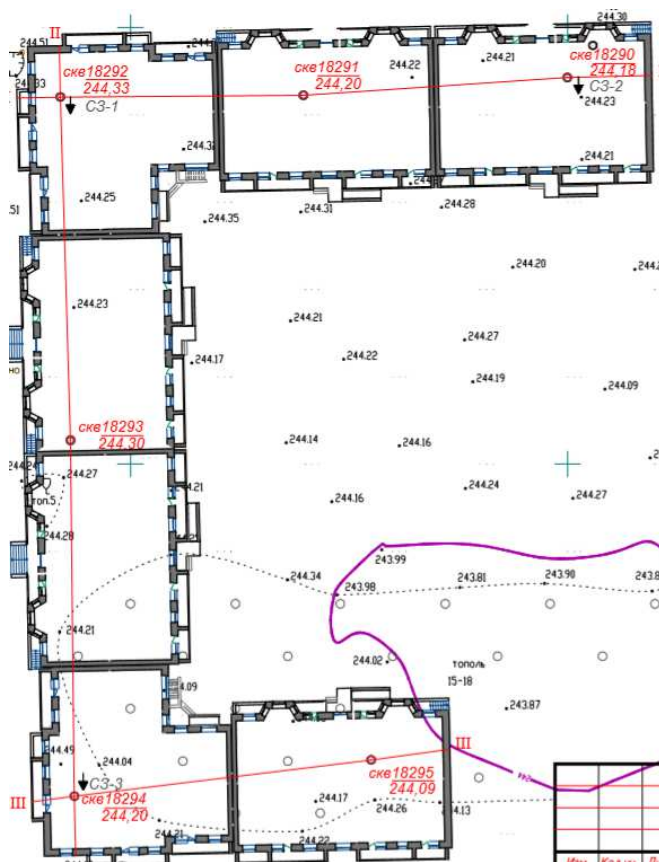


Рисунок 22 – Схема проведения инженерно – геологических изысканий.

Условия залегания выделенных на участке изысканий инженерно – геологических элементов, их распространение и мощности отражены на геологических разрезах, представленных на рисунках 23-25.

№ ИГЭ	Геологический индекс	Абс. отметка, м	Описание породы	Литологический разрез	Состояние грунта	Мощность слоя, м	Глубина залегания слоя, м		Уровень грунтовых вод, м	
							от	до	по яв.	уст.
1	tQ ₄	244,08	Суглинок коричневый, твердый			0,40	0,00	0,40		
3		244,88	Песок пылеватый, коричневый, маловлажный, средней плотности			0,50	0,40	0,90		
4	aQ	1	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем, с глубины 3,05м водонасыщенный. Галька мелкая и средняя из обломков изверженных и метаморфических пород.							
		2								
		3								
		4								
		5								
		239,88				5,00	0,90	5,90		

Рисунок 23 – Инженерно – геологический разрез шурфа 1.

№ ИГЭ	Геологический индекс	Абс. отметка, м	Описание породы	Литологический разрез	Состояние грунта	Мощность слоя, м	Глубина залегания слоя, м		Уровень грунтовых вод, м	
							от	до	по яв.	уст.
1		243,05	Суглинок коричневый, твердый			1,25	0,00	1,25		
3		241,25	Песок пылеватый, коричневый, маловлажный, средней плотности			1,80	1,25	3,05		
3	aQ	1	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем, с глубины 3,24м водонасыщенный. Галька мелкая и средняя из обломков изверженных и метаморфических пород.							
		2								
		3								
		238,40				2,85	3,05	5,90		

Рисунок 24 – Инженерно – геологический разрез шурфа 2.



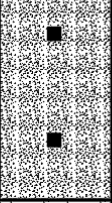
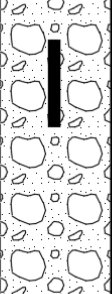
№ ИГЭ	Геологический индекс	Абс. отметка, м	Описание породы	Литологический разрез	Состояние грунта	Мощность слоя, м	Глубина залегания слоя, м		Уровень грунтовых вод, м	
							от	до	появ.	уст.
		243,89	Насыпной грунт			0,20	0,00	0,20		
1		242,99	Суглинок коричневый, твердый			0,90	0,20	1,10		
2	aQ	241,09	Песок пылеватый, коричневый, маловлажный, средней плотности			1,90	1,10	3,00	3,00	
3		238,19	Галечниковый грунт с песчаным заполнителем, с глубины 3,24м водонасыщенный. Галька мелкая и средняя из обломков изверженных и метаморфических пород.			2,90	3,00	5,90		28.08.2018

Рисунок 25 – Инженерно – геологический разрез шурфа 3.

ИГЭ -1 – Суглинок твердый, коричневый. Грунты залегают под почвенно-растительным слоем до глубины 0,30-1,40 м. Мощность суглинков варьирует от 0,20 м до 1,40 м. Данный грунт в естественном состоянии является непучинистым однако при дополнительном увлажнении до состояния полного водонасыщения у суглинков пучинистые свойства могут усилиться. Стоит отметить также, что территория находится в зоне постоянного подтопления в естественных условиях. В связи с этим есть вероятность увеличения пучинистости данного слоя грунта.

ИГЭ-2 – Суглинок мягкопластичный серого цвета, с частыми маломощными (1-3см) прослойками песка. Грунт вскрыт в южной части площадки. Его мощность составляет 1,90м. В естественном состоянии грунт располагается в зоне сезонного промерзания. В связи с этим подвержен морозному пучению.

ИГЭ-3 – Песок пылеватый коричневый, маловлажный, рыхлый. Залегает в интервале 0,50-3,05м слоем мощностью от 0,20 до 1,80 м. В естественном состоянии данные грунты в зоне сезонного промерзания могут являться как пучинистыми, так и непучинистыми.

ИГЭ-4 – Галечниковый грунт с песчаным заполнителем от 12,0 до 27,9%. Грунт влажный и водонасыщенный. Галька мелкая и средняя представлена обломками изверженных и метаморфических пород. Данные грунты занимают преимущественное положение в нижней части разреза. Кровля галечника вскрыта в интервалах глубин от 0,40 – 3,50 м до 7,40 – 10,0 м. Вскрытая

мощность элемента составляет 4,40 – 5,9 м. При сезонном промерзании грунт непучинистый.

Геолого – литологический разрез исследуемого участка представлен на рисунке 26.

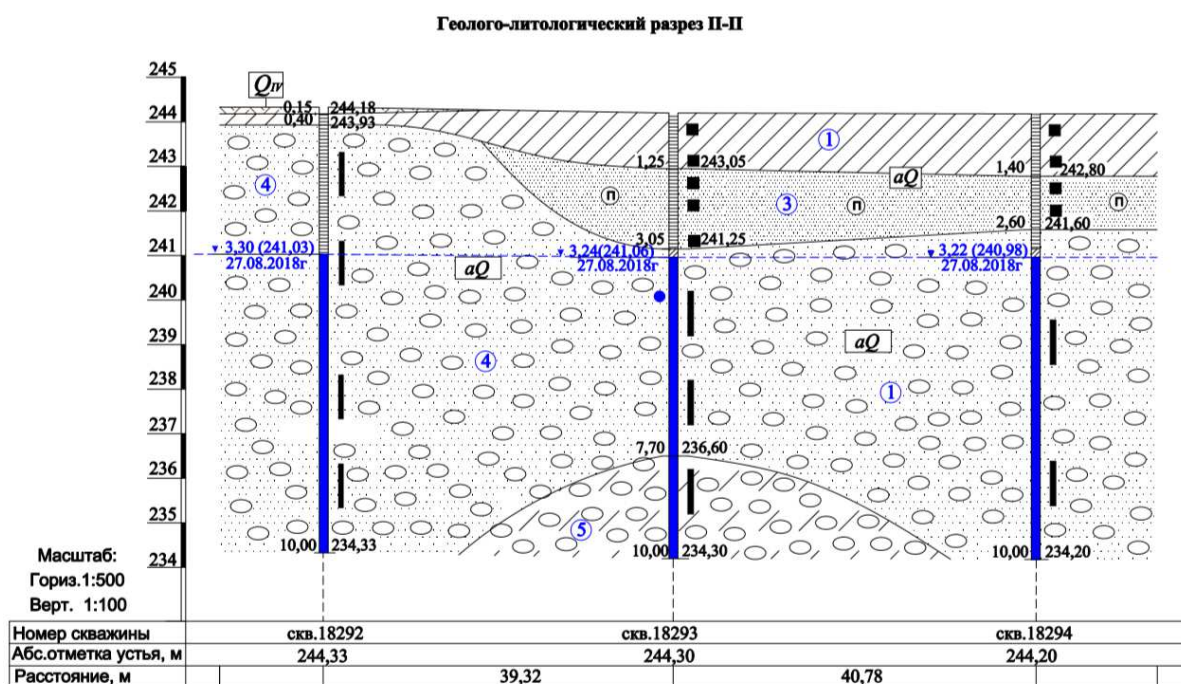


Рисунок 26 – Геолого – литологический разрез участка №2.

Также в лабораторных условиях были получены основные характеристики, физических свойств грунтового основания на исследуемом участке №2 и представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Ведомость физических свойств грунтов участка №2.

Наименование грунта и номер ИГЭ	Естественная влажность, д. ед.	Влажность на границе текучести, д. ед.	Влажность на границе раскатывания, д. ед.	Число пластичности, д. ед.	Показатель текучести, д. ед.	Коэффициент Водонасыщения, д. ед.	Плотность, м ³			Коэффициент пористости, д. ед.	Модуль общей деформации, МПа	Сцепление, в естественном состоянии, МПа	Угол внутр. трения, в естественном состоянии, град.
							минеральной части, т/м ³	грунта, т/м ³	скелета грунта, т/м ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Суглинок твердый и полутвердый, ИГЭ 1	0,192	0,35	0,24	0,11		0,54	2,71	1,65	1,38	0,964	11	0,019	20
Суглинок мягкопластичный, ИГЭ 2	0,299	0,33		0,10	0,69	0,91	2,71	1,86	1,43	0,895	6	0,014	14
Песок пылеватый, маловлажный, ИГЭ 3	0,127		0,23			0,30	2,66	1,60	1,46	0,822	4	0,001	22

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Галечниковый грунт с песчаным заполнителем, ИГЭ 4	0,063							2,10			47	0,000	43
Галечниковый грунт с супесчаным заполнителем, ИГЭ 5	0,096	0,19	0,15	0,04				2,08			42	0,002	42

В результате анализа пространственной изменчивости характеристик грунтов, определенного полевыми и лабораторными методами в пределах участка изысканий на разведанную глубину до 5,9 м были получены основные характеристики грунтов.

Подземные воды были обнаружены на глубине около 3,0 м. По степени морозной пучинистости в зоне сезонного промерзания располагаются все типы грунтов, расположенные на глубине выше 2,9 м. Однако стоит отметить, что галечниковые грунты, входящие в зону промерзания являются непучинистыми.

Особое внимание следует уделить песку пылеватому, который может являться пучинистым грунтом. Особенно если учесть, что строительство блок – секции проводится в зимнее время, когда силы морозного пучения могут быть сильны, а фундаменты в пучинистом грунте не загружены. В связи с этим есть большая вероятность деформаций фундаментов, расположенных на песчаном основании. Для определения воздействия пучения на фундамент была разработана 2D модель, позволяющая отследить усилия пучения исследуемых грунтов на двух участках.

2 Обзор исследований взаимодействия сезоннопромерзающих пучинистых грунтов и оснований фундаментов.

2.1 Анализ существующих методов расчета фундаментов на промерзающих пучинистых грунтах.

Основные процессы, вызванные сезонным промерзанием и оттаиванием, могут определять общую надежность и устойчивость принятых проектировщиком фундаментов. Проектирование на подобных грунтах фундаментов неотрывно связано с оценкой, несущей способности элементов конструкций, которые будут возникать при неравномерных деформациях основания.

Основными основоположниками по проведению исследований совместной работы фундаментов на промерзающих пучинистых грунтах были Р.Ш. Абжалимов, В.Д. Карлов, В.И. Пусков, Б.М. Кассахун, Н.С. Штеренфельд, В.С. Сажин, О.Р. Голли.

Например, в работе Н.С. Штеренфельда [46] рассмотрен расчет совместной работы пучинистого основания со столбчатыми фундаментами, объединенными в верхней части фундаментной балкой. Решения данной задачи было представлено двумя методами.

В первом методе расчетная плита была принята как неразрезная балка с жесткими стрелками, которые в свою очередь присоединялись шарнирно к балке и основанию. В таком случае неравномерные деформации от морозного пучения в основном моделируются под одним из столбчатых фундаментов с большой податливостью грунта. Усилия в балке в данном случае определяются как при расчете балки на упругом основании.

Во втором методе, кинематическое воздействие пучинистого грунта было заменено на силовое. Решение задачи в данном случае сводится к расчету стержневой системы на упругоподатливых опорах. Результаты зависят от предполагаемой формы деформации поверхности основания. Если следует найти наиболее невыгодную форму деформации, то следует провести моделирование с приложением нормальных сил морозного пучения к каждой опоре. Таким образом следует предположение, что с увеличением жесткости гибкого фундамента уменьшается неравномерность пучения.

Недостатком на мой взгляд является то, что в каждом конкретном случае значение коэффициента пропорциональности, характеризующей величину пучения следует определять отдельно. Также не учитываются прочностные характеристики мерзлого слоя основания.

В работе В.И. Пускова исследовано взаимодействие стены здания, которая представлена в виде балки, опертой на столбчатые фундаменты. Акцент расчета в данном случае сделан на неравномерные перемещения основания, которые определяются через неравномерную глубину промерзания [47]. Расчет давления грунта определяется до тех пор, пока деформации пучения не достигнут величины, удовлетворяющей исходному уравнению равновесия.

При решении задач в данном случае было принято, что в период действия морозного пучения основные деформации возникают на концах ленточного фундамента. Основным достоинством решения данным способом является то, что учитываются такие параметры как интенсивность, глубина и неравномерность деформаций морозного пучения. Данный способ решения задачи наиболее лучше отображает характер взаимодействия пучинистых грунтов и фундаментов. Однако присутствуют и недостатки. Одним из них, является то, при расчете данным методом следует каждый раз определять максимальные значения величины морозного пучения, а это слишком трудоемко. Также при определении напряжения фундаментов не учитываются прочностные свойства, которые могут существенно повлиять на распределение напряжений.

В.С. Сажин [48] в качестве расчетной модели фундаментов и грунтов подверженных морозному пучению рассматривает систему предварительно сжатых упругих пружин, которые позволяют моделировать зависимость сил морозного пучения от степени стесненности фундамента согласно аналогии пружины. Аналогия заключается в том, что происходит уменьшение восстанавливающей силы при распрямлении пружины. Характер распределения сил морозного пучения задается из самых неблагоприятных условий. Самые максимальные усилия возникают в ленточном фундаменте при заземлении его концов в поперечных стенах.

При расчете данным методом строится очень много вспомогательных графиков, что очень сильно упрощает расчет. Данное условие можно считать важнейшим достоинством. Однако присутствуют и недостатки. К ним можно отнести, то что распределение усилий может не зависеть от приведенной жесткости фундаментов. Также расчетом может не обеспечиваться устойчивость, так как в реальных условиях может наблюдаться подъем торцевой и продольной стен здания. Затрудняет также практическое использование методики то, что очень сложно экспериментально определить зависимость между интенсивностью морозного пучения и передаваемым на него давлением.

В методике О.Р. Голли [49] рассматривает монолитный столбчатый фундамент с обвязочной балкой в виде неразрезной балки, не заземленной в центре, а на концах. Характер распределения усилий морозного пучения задается параболической функцией, а их величина определяется от степени стесненности деформаций фундамента. Основным недостатком данного метода является то, что в реальных условиях наблюдается подъем торцевой стены здания. В расчетной схеме максимальные силы возникают в центре фундаментов, где наименьшая стесненность фундаментов при условии ограничения в конце.

Для расчета гибкого фундамента В.Д. Карлов [50] использовал методику проектирования схожую с расчетом фундаментов на просадочных грунтах. Для расчета основных усилий следует заменить коэффициент неравномерности замоченного основания на коэффициент неравномерности морозного пучения

[51]. Данное решение позволило более точно отобразить работу фундаментов в реальных условиях. Основным недостатком этого метода будет являться то, что может произойти различие коэффициентов экстремальной величины реактивного давления по длине фундамента и неравномерности пучения, что в дальнейшем может вызвать завышение значений последнего.

В методике расчета Б.М. Кассахуана [52] выполнено исследование совместной работы грунтов, подвергшихся морозному пучению по системе «фундамент – стена». В данном случае в качестве расчетной схемы фундаментов была принята пластина с вырезами, лежащая на упругом основании, а основные силы деформации моделируются снизу фундамента.

Достоинством данного метода является то, что учитывается вся пространственная работа здания, а также происходит варьирование величины сил пучения в зависимости от пучинистости грунта. Недостаток является в том, что заложенное силовое воздействие в модель является линейным по подошве фундаментов нормальных сил морозного пучения, а это не позволяет отследить реальный характер взаимодействия стен с пучинистым грунтом. Кроме того, необходимо экспериментальное определение величин нормальных сил морозного пучения.

В работе Р.Ш. Абжалимова для решения задачи взаимодействия фундамента с пучинистым грунтом была предложена гипотеза о том, что все силы морозного пучения, действующие на границе твердомерзлого и талого грунтов, обратно пропорциональны напряжениям внешней нагрузки [53]. Основным достоинством данного метода можно отнести учет прочностных характеристик грунтов, подвергшихся морозному пучению. К недостаткам – расчетную схему, которая практически соответствует механическому взаимодействию фундамента с равномерно пучинистыми грунтами.

При проведении анализа методик расчета фундаментов было принято решение о разработке таблицы 3 по полноте учета факторов, связанных с морозным пучением.

Таблица 3 – Учет данных используемых при расчете фундаментов на пучинистых грунтах.

Исходные данные для расчета фундаментов	Авторы, использовавшие модель грунтового основания						
	Штеренфельд Н.С. [46]	Пусков В.И. [47]	Сажин В.С. [48]	Голли О.Р. [49]	Карлов В.Д. [50]	Кассахун Б.М. [52]	Абжалимов Р.Ш. [53]
	Наличие рассматриваемого фактора в методике						
Исходные данные при расчете фундаментов:							
• Сечение принятого фундамента	да	да	да	да	да	да	да
• Жесткость фундамента	да	да	да	нет	нет	да	да
Виды передаваемой нагрузки на фундамент:							
• Равномерно распределенная	да	да	да	нет	да	да	да
• Сосредоточенная	да	да	нет	нет	нет	да	нет

Механические характеристики свойств грунта:							
• Угол внутреннего трения	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
• Коэффициент Пуассона	нет	нет	нет	нет	нет	нет	да
• Модуль деформации	нет	нет	нет	нет	нет	нет	да
Характеристики грунта при морозном пучении:							
• Глубина промерзания	да	да	да	да	да	да	да
• Интенсивность	да	да	да	да	да	да	да
• Неравномерные деформации	нет	да	да	да	да	нет	нет
Механические характеристики свойств оттаявшего грунта:							
• Угол внутреннего трения	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
• Коэффициент Пуассона	да	да	да	нет	да	да	да
• Модуль деформации	да	да	да	нет	да	да	да

Проанализировав используемые факторы расчета фундаментов на пучинистых грунтах можно сказать, что для отражения реального характера взаимодействия пучения и фундаментов следует учитывать определенные данные. Они включают в себя следующие факторы: глубину промерзания, интенсивность и неравномерность пучения грунтов, основные механические характеристики грунтового основания, вид нагрузки и жесткостные характеристики здания. Стоит отметить также, что «да» или «нет» означает учитываются или не учитываются рассматриваемые факторы в методике расчета.

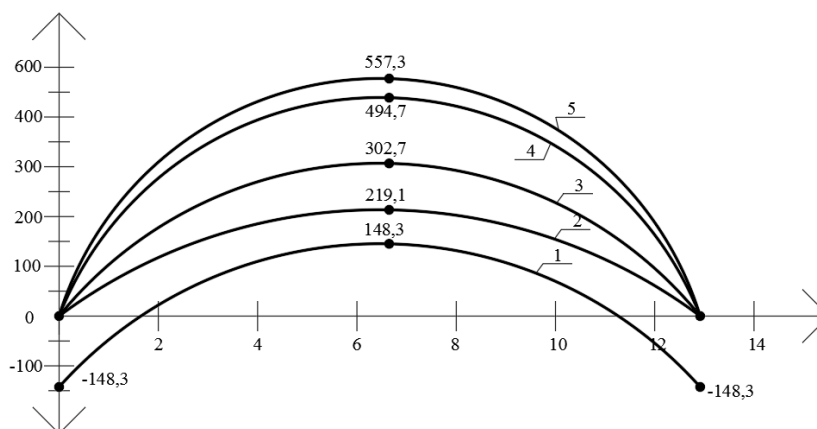
В настоящее время в Республике Хакасия при строительстве малоэтажных зданий в основном используется вариант свайно - ростверкового фундаменты. Особенно данный тип актуален для пучинистых грунтов с применением противопучинных мероприятий. Однако если сравнить выше перечисленные примеры, то можно сделать вывод, что если малоэтажное здание без подвала, то также можно использовать и ленточные фундаменты в пучинистых грунтах.

В связи с этим было принято решение о проведении сравнительного расчета двух типов фундаментов в программном комплексе SCAD Office: свайно – ростверковый и ленточный фундаменты с учетом действующих методик расчета представленными выше согласно ВСН 29-85 [44] и программном комплексе SCAD Office [54-56]. В дальнейшем по итогам полученных результатов мы примем самый оптимальный вариант фундаментов. Более подробно подбор вариантов рассмотрим в следующей главе.

Для расчета фундаментов следует задаться исходными данными. К ним относятся: длина и ширина ленты фундаментов и приведённая жесткость. На фундамент также приложена равно распределённая нагрузка с интенсивностью 37,4 кН/м.

Глубина промерзания грунта измеряется линейно по всей длине фундаментов. Наименьшее значение представлено в середине, а наибольшее по краям ленточных фундаментов.

Просчитав с помощью различных методик расчета, предоставленных выше, и в программном комплексе SCAD Office различие полученных результатов составило в 3,4 раза при одинаковых грунтовых условиях. График эпюр моментов рассчитанным по методикам расчета представлен на рисунке 27.



1- Методика расчета по О.Р. Голли; 2- Методика расчета по В.С. Сажину; 3- Методика расчета по В.Д. Карлову; 4- Методика расчета по В.И. Пускову; 5- Методика расчета в SCAD Office.

Рисунок 27 – График эпюр моментов рассчитанным по различным методикам.

Такая большая разница обусловлена несовершенством существующих методик расчета учета морозного пучения. В основном все результаты зависят от способов определения нормальных сил морозного пучения. Однако если использовать несовершенные данные о максимальных силах морозного пучения используя схемы, в которых полностью не учитывается возможные деформации при его промерзании, то тогда в расчетах основания будут присутствовать большие погрешности.

Таким образом анализ по различным методикам проектирования ленточных фундаментов на промерзающих грунтах показал:

1. При расчете ленточных фундаментов нормальные силы морозного пучения определяются согласно подбору наиболее неблагоприятных условий работы основания. Данное решение позволяет учитывать совместную работу системы «фундамент – здание».

2. В связи с тем, что расчет основания с учетом морозного пучения довольно сложен, то расчет по кинематическим напряжениям (неравномерные перемещения, вызванные морозным пучением) заменен на силовое воздействие. Поэтому в настоящее время можно выделить два направления расчета. К первому относятся методики, учитывающие кинематические воздействия на основания. Стоит отметить, что в настоящее время данное направление хорошо развито в геотехнических программных комплексах, которые позволяют отследить неравномерные деформации морозного пучения при промерзании основания. Ко второму относится силовое воздействие (нормальные силы морозного пучения).

3. Расчеты, основанные на перемещениях зданий при морозном пучении,

лучше отражают реальное воздействие морозного пучения. Однако в таком случае возникают трудности расчета если учитывать совместную работу «основание – здание». Это объясняется тем, что в таком случае следует учитывать прочностные и деформационные свойства грунтового основания, отрыв подошвы фундамента от основания, а также исследование появления закономерностей морозного пучения. Следует заметить, что в работе [47] данные обстоятельства не были учтены.

2.2 Основные явления и процессы при оттаивании грунтовых оснований и взаимодействие их с фундаментами зданий и сооружений.

Основные вопросы, посвященные изучению влияния процесса оттаивания на механические свойства грунтов, были рассмотрены в работах В.Ф. Жукова, В.Д. Карлов, М.Ф. Киселева, Л.Т. Роман, Г.М. Пахомовой, В.Д. Пономарева, А.М. Пчелинцева, Л.Н. Хрусталева, Ю.К. Зарецкого, В.К. Иноземцева, А.Л. Миндича, М.Н. Гольштейна, С.В. Арефьева, Н.И. Солтыкова и др.

При оттаивании основные прочностные и деформационные характеристики грунтов сильно снижаются и остаются ослабленными на протяжении определенного времени. Величина и основные физические характеристики оттаивающих грунтов зависят от его состава и общего состояния до промерзания, криогенной текстурой, пористостью, наличием влаги, уровня грунтовых вод и характером выделения льда в промерзших грунтах. Все это связано между собой и проявляется одновременно, а изменение свойств грунтовых условий зависит от цикла промерзания и оттаивания определяемое совокупностью действия факторов, влияющие на физические характеристики свойств грунтового основания.

Резкое ослабление связей в период оттаивания приводит к возникновению на месте оттаявшего льда плоскостей, пониженного сопротивления сдвигу [57,58]. Стоит отметить, что у глин и суглинков происходит большее снижение прочности, чем к примеру, у супеси. Это объясняется тем, что у глинистых грунтов присутствуют явно выраженные структурные связи, которые влияют на прочностные характеристики при их оттаивании [59,60]. Так же если грунты различной плотности подвергнуть попеременному замораживанию и оттаиванию, то тогда они приблизятся к малоуплотненным образцам. В следствие этого грунт, подвергнутый оттаиванию, является средой с малой распределительной способностью, который способен воспринимать только вертикальные сжимающие напряжения [61].

Осадка, протекающая в период оттаивания, происходит при постоянном давлении на влажный грунт и в связи с этим её можно отнести к фильтрационной в процентном соотношении в сильно льдистых 95%, а мало льдистых 85%. Процесс уплотнения в подобных грунтовых условиях протекает равномерно по мере оттаивания и в определенный момент на каждый промежуток времени наступает плотность близкая к стабилизированному состоянию. Однако это возможно только в том случае, если грунтовые условия

под подошвой фундаментов однородные и имеют примерно одинаковые физические характеристики грунтов. Если данное условие не выполняется, то осадка будет неравномерной, что может сказаться на целостности здания или сооружения. Пористость грунта в момент оттаивания остается практически неизменной по всей высоте оттаявшего слоя и в связи с этим сжимаемость грунтового основания остается практически постоянной. Таким образом можно сказать, что при малых нагрузках на грунтовое основание характер уплотнения почти не зависит от их величин [62].

Сезоннопромерзающий грунт на стадии оттаивания имеет неоднородное сложение и в связи с этим поверхность его деформируется неравномерно. Неоднородность основания зависит от переменности модуля деформации оттаивающего слоя, связанного с процессами снижения прочности грунта непосредственно у границы оттаивания и упрочнения в вышерасположенных слоях от консолидации и восстановления структурных связей, а также переменностью температур в промерзающем слое [63]. В настоящее время общая неравномерность осадки оттаивающего основания оценивается с учетом конфигурации границы оттаявшего грунта под зданием и определяется основными характеристиками грунтовых условий [64]. При этом в отношении оценки неравномерности деформирования основания грунта в условиях сезоннопромерзающих грунтов нет каких-либо рекомендаций.

В основном неравномерность деформаций из-за оттаивающего слоя грунта может привести к изменению усилий грунтового основания зданий как в большую, так и в меньшую сторону. При этом если осадки имеют большее значение, то давление на грунт может либо уменьшиться, либо быть равным нулю за счет концентрации давлений на участках, где осадка будет меньше [65]. Таким образом при расчете усилий в конструкциях зданий необходимо предполагать каким образом формируются нагрузки, превосходящие среднее расчетное давление.

Было проведено исследование по соотношению глубины оттаивания к ширине подошвы фундамента и приведены расчетные сопротивления оттаивающего основания [66-69]. Согласно полученным данным при малой глубине оттаивающего слоя $\lambda = \frac{h_{th}}{b} \leq 1$ значение несущей способности получилось больше, чем результаты несущей способности основания в виде полупространства, сложенного таким же грунтом, что и оттаивающий. В связи с этим при увеличении λ до 1 значения предельного давления на слои основания становится меньше, достигая минимального значения. При увеличении глубины происходит повышение несущей способности за счет упрочнения грунтового основания в связи оттаиванием грунта. Таким образом при использовании сезоннопромерзающих грунтов в качестве основания следует принимать такое давление, которое будет равно расчетному сопротивлению оттаивающего слоя грунтового основания.

При деформации сезоннопромерзающего основания фундаментов при промерзании и оттаивании проявляются специфические особенности. К

примеру, при многократном промерзании-оттаивании грунта под нагрузкой может происходить нарастание осадок в каждом следующем цикле. В работах [70 - 73] были проведены натурные наблюдения по окончании которых было установлено, что наибольшее нарастание дополнительных осадок при оттаивании наблюдается в первых циклах промерзания и оттаивания. В дальнейшем происходило уплотнение и осадки уменьшались. Прочность грунта подверженного морозному пучению после многократных циклов промерзания-оттаивания под уплотняющим давлением увеличивается [74].

В связи с этим можно сказать, что промерзающий грунт очень сильно похож на трехслойный «пирог», где первый слой состоит из оттаивающего мерзлого грунта, средний – мерзлого, нижний – талого. Мощность верхнего слоя со временем способна возрасти в связи с оттаиванием мерзлого грунта и последующего соединения с талым. Если происходит неравномерное оттаивание, то такое основание можно рассматривать в виде слабого грунта с твердыми включениями и подстилаемые талым грунтом.

Также в процессе оттаивания может формироваться неоднородное основание, которое обусловлено тем, что способно перемещаться в границах между оттаивающим и мерзлым слоем грунта, а также и изменить свои механические свойства.

При оттаивании грунтового основания происходит значительное снижение его деформационных и прочностных характеристик на протяжении определенного времени из-за консолидации. В связи с этим основные прочностные и деформационные характеристики грунта можно приближенно принять постоянными по всей высоте оттаявшего слоя. По этой причине давление на грунт следует принимать уже на основании пониженных прочностных и деформационных характеристик грунта в оттаивающем состоянии [75]. При этом если давление не превышает расчетное сопротивление оттаивающего основания при циклическом промерзании, то тогда осадка после 5 или 6 циклов становится равной величине морозного пучения.

2.3 Взаимодействие фундаментов с сезоннопромерзающим основанием на стадии оттаивания.

В настоящее время различные методики расчета разработаны недостаточно хорошо, особенно для ленточных фундаментов на сезоннопромерзающих грунтах. В связи с этим были рассмотрены методики расчета на вечномерзлых грунтах. Основным отличием сезоннопромерзающих от вечномерзлых при их оттаивании заключается в образовании чаши оттаивания в основании зданий ограниченной толщиной промерзающего слоя.

В таком случае при расчете усилий в элементах конструкций зданий из-за неравномерной осадки при оттаивании вечномерзлых грунтов здание рассматривается как балка, лежащая на основании грунта, поверхность которой искривлена из-за уплотнения грунтов в связи воздействия на них собственного

веса балки. В основном деформации обусловлены величинами осадок, которые в свою очередь зависят от очертания чаши оттаивания.

Под действием нагрузок от конструкций здания образуются дополнительные осадки, которые находятся путем решения системы совместности деформаций в системе «здание-основание». При решении подобной задачи рассматривается возможность образования трех различных зон по длине подошвы фундамента [76]:

1. Нулевые реакции, где условие совместности деформаций не соблюдается и подошва отрывается от основания;
2. Реакции, зависящие от деформаций, где перемещение фундаментов следует за осадкой основания;
3. Предельные реакции, которые не зависят от деформаций основания. Они повторяют перемещения подошвы фундамента, ограниченное жесткостью конструкций здания;

Величина соотношений этих зон при определенной жесткости здания определяется грунтами, подверженными деформационным воздействиям превосходящих расчетное давление [77,78]. При развитии данной теории совместных деформаций сооружения и основания ограничение давления по предельным значениям вместо линейной зависимости осадки от нагрузки при давлениях больше расчетного привело бы к значительному снижению расчетных усилий в зданиях [79].

Однако если давление больше расчетного, то и деформативность будет выше из – за того, что к действующим деформациям уплотнения добавляются сдвиговые усилия. В связи с этим имеет смысл провести дальнейшее совершенствование расчетов учитывая данное явление, которое привело бы к существенному уменьшению зоны нулевых реакций и соответственно уменьшило бы зону изгибающих моментов и перерезывающих сил в конструкциях фундаментов.

Самой распространенной схемой в практике проектирования является расчетная схема «здание – оттаивающее основание» в виде балки, нагруженной от собственного веса и покоящейся на упругом линейном основании. В качестве расчетной модели в основном принимают модель упругого основания Винклера с переменным коэффициентом постели. В тоже время модель линейно – деформируемого пространства применяется реже.

При расчете совместной модели фундамента и неравномерно оттаивающего основания основные сложности заключаются в том, что нельзя подобное основание рассматривать как идеальное упругое. Данное решение связано с тем, что осадки в подавляющем большинстве по величине будут остаточными, то есть неупругими с переменными, которые не зависят от величины внешнего давления.

Одним из основных примеров могут послужить натурные испытания на оттаивающих основаниях А.А. Колесова [80]. Они показали, что реактивный отпор основания при оттаивании в какой-то мере пропорционален осадкам уплотнения грунта. Таким образом реакция оттаявшего грунта зависит от

разности между полной осадкой мерзлого грунта при оттаивании и осадкой оттаивания, то есть осадки за счет ледяных включений, не зависящей от величины внешнего давления [81].

Характер деформирования здания зависит от температурного режима в основаниях, сложенных сезоннопромерзающими грунтами. Таким образом деформация прогиба может формироваться только при положительной температуре здания из-за образования чаши протаивания. В неотопливаемых зданиях появляются деформации выгиба в связи с тем, что грунт не успевает оттаять в весенний период. В связи с этим в зданиях возникают дополнительные усилия.

Величина подобных усилий, возникающих в конструктивных элементах здания, будет зависеть от характера распределения неравномерности осадков оттаивающего грунта по всему периметру фундаментов. При этом важно знать основные усилия, действующие с окончанием процесса оттаивания сезоннопромерзающего грунта. Таким образом к основным усилиям относят не только величину, а также характер распределения максимальных расчетных усилий и момент возникновения при процессе оттаивания грунтового основания.

П.И. Сальников [82] предлагает производить расчет фундаментов на оттаивающем основании как балки на упругом полупространстве с пониженным модулем деформации, определенным из условия равенства осадки оттаивания величине морозного пучения. Однако в данном решении имеются и недостатки. Одним из них является то, что не учитываются неравномерные деформации при оттаивании основания, а также неоднородности сложения грунта, как по длине, так и по глубине фундаментов [83].

При рассмотренных характерах взаимодействия фундаментов с основанием подверженными деформациями были проанализированы методы проектирования зданий и сооружений на просадочных грунтах представленные в работах Д.Н. Соболева, Е.А. Сорочана, И.А. Розefeldы, В.И. Крутова, П.П. Шагина, А.А. Мустафаева и др.

В связи с тем, что невозможно учесть все факторы, влияющие на возникновение просадки и набухания, то исследователи создали различные схемы для описания закономерностей изменения жесткости [84,85]. При этом они предлагают выполнять расчет с учетом самого наихудшего очага расположения величины просадки под фундаментами. Также были разработаны методики, которые позволяют учитывать работу конструкций, расположенных над фундаментами [86,87].

Стоит отметить, что на момент оттаивания просадочного грунта под фундаментами образуются неравномерные деформации, связанные с морозным пучением, которые также усугубляются неравномерным оттаиванием основанием. При оттаивании возникают дополнительные усилия, которые в свою очередь зависят от характера распределения неравномерности осадки по всему периметру фундаментов. Стоит отметить, что важно знать не только величину усилий, но и ее характер так как момент их возникновения не всегда

может совпадать с окончанием процесса оттаивания слоев грунта. Следует учесть и то, что в грунтах присутствует пониженная сжимаемость оттаявшего грунтового основания. Она в свою очередь выравнивает эпюры реактивного давления грунтового основания по подошве фундаментов.

2.4 Анализ влияния гидрогеологических источников увлажнения на пучение грунтового основания.

Морозное деформирование грунтов обусловлено их осенним увлажнением и основной причиной этого является круглогодичный цикл изменение влажностного режима, который в свою очередь зависит от климатических и гидрогеологических условий. К основным источникам увлажнения грунтов подверженных сезонному промерзанию в природных условиях служат погодные осадки и подземные грунтовые воды особенно те, которые залегают на достаточно близком расстоянии от поверхности грунта. В связи с этим для определения количества осадков, выпадающих в осенний период следует проанализировать долгосрочные прогнозы гидрометеослужбы. Если уровень подземных вод находится достаточно глубоко, то тогда основным источником увлажнения грунтов могут быть атмосферные осадки, выпадающие в весенне-летний период [88].

Однако в России существуют районы, где в осенний период может выпасть достаточно большое количество осадков. Например, в средней полосе и северной части. Таким образом грунты непосредственно перед промерзанием становятся водонасыщенными, а это в свою очередь обуславливает сильное морозное пучение в зимний период до момента полной стабилизации грунта [89].

В засушливых районах, где уровень грунтовых вод расположен ниже глубины промерзания и граница промерзания не достигает каймы капиллярного поднятия криогенная миграция может осуществляться за счет парообразной влаги, содержащейся в грунтовом основании. Стоит отметить, что в таком случае пучение грунтов будет ощутимее тем, чем меньше паропроницаемость слоя грунта [90].

Самым распространенным путем увлажнения грунтов, подверженных морозному пучению является капиллярное передвижение воды в пределах толщины грунтового основания от уровня грунтовых вод. Изменение грунтовых вод влечет за собой соответствующее перемещение капиллярного поднятия, зона которой может меняться в зависимости от состава и сложения грунтового основания [91].

Капиллярное поднятие также влияет на принятие глубины заложения фундаментного основания. При расчете глубины заложения согласно [92] с учетом промерзания грунтового основания по расчету она должна составлять 2,88 с учетом таблицы 4 или доходить до непучинистых грунтов.

Таблица 4 – Глубина заложения от уровня грунтовых вод согласно [92].

Грунты под подошвой фундаментов	Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод d_w , м при	
	$d_w \leq d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
Скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности	Не зависит от d_f	Не зависит от d_f
Пески мелкие и пылеватые	Не менее d_f	То же
Супеси с показателем текучести $I_L < 0$	То же	«
То же, при $I_L > 0$	«	Не менее d_f
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при показателе текучести грунта или заполнителя $I_L \geq 0,25$	«	То же
То же, при $I_L < 0,25$	«	Не менее $0,5 d_f$

В данной таблице рассмотрена зависимость глубины заложения при промерзании с учетом уровня грунтовых вод. Более подробно рассмотрим ситуацию $d_w \leq d_f + 2$ для песчаных грунтовых оснований. Согласно таблицы 12 при расчете глубину заложения следует принимать не менее d_f . Однако в таком случае фактическая глубина заложения если смотреть от отметки чистого пола составляла бы около 5 метров, что являлось бы не целесообразным решением.

Таким образом появилась идея о проведении исследований на содержание влаги в грунтовом основании на разных глубинах в период промерзания на площадках №1 и № 2 с последующим определением коэффициента водонакопления. Коэффициент водонакопления – отношение влажности после промерзания к влажности до промерзания. Стоит отметить, что результатами коэффициента водонакопления послужили многолетние исследования в этой области лабораторией О.З. Халимова. Более подробно о коэффициенте водонакопления рассмотрено в работе [93].

На экспериментальных участках были проведены полевые исследования послойной влажности грунтового основания при промерзании по следующей методике.

Отбор грунта на участке №1 осуществлялся с глубин 30, 50, 80 см. На участке №2 с глубин 80, 130, 280, 320 см. Для отбора грунта с глубин было принято решение отогреть его. После оттаивания грунта на нужную глубину промерзания происходила выборка талого и выдалбливание с извлечением пластично – мерзлого грунта, представленного на рисунке 28. Для того, чтобы предотвратить промерзание основания в месте отбора грунта было принято решение об его утеплении пенопластом с внутренней стороны и верхней части выемки.



Рисунок 28 – Образец грунта для определения содержания влаги.

Дальше отобранные образцы отвозились в лабораторию, где определялось процентное соотношение содержания влаги в грунте. Основная цель данного исследования заключалась в определении процента содержания влаги в грунтовом основании. Процент содержания влаги представлен в таблице 5 [94].

Таблица 5 – Процентное содержание влаги в отобранных грунтах в период промерзания.

№	Дата отбора грунта, ч.м.г.	Наименование отобранного грунта	Глубина отбора, м	Процентное содержание влаги в грунте после промерзания %	Коэффициент водонакопления, $K_{воднкп}$
1	04.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	15,12	1,10
2	07.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	13,70	
3	10.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	10,44	
4	17.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	14,86	
5	19.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	16,62	
6	24.03.2018	Супесь	0,2;0,3;0,8	17,66	

Примечание: Среднее процентное содержание влаги в грунте до промерзания составляет 13,34 %.

В целом полученные результаты показали, что процентное содержание влаги в грунте невелико в частности из-за того, что грунтовые воды расположены ниже глубины промерзания. При этом коэффициент согласно полученной влажности будет составлять 1,10. В связи с этим влияние $K_{воднкп}$ на грунтовое основание минимально, то есть грунт практически не пучинистый.

В тоже самое время проведения подобного исследования занимает длительное время, но в тоже время предоставляет истинные значения морозного пучения. По степени морозоопасности все пучинистые грунты подразделяются на пять групп, приведенных в таблице 39 [95]. Для определения принадлежности грунтового основания к одной из групп следует рассчитать параметр R_f , определяемый по формуле:

$$R_f = 0,012 \cdot (\omega - 0,1) + \left[\omega \cdot (\omega - \omega_{cr}) \right] / (\omega_L \cdot \omega_p \cdot \sqrt{M_0}), \quad (1)$$

где ω , ω_L , ω_p - влажности в пределах слоя промерзающего грунта, соответствующие природной, на границах;

ω_{cr} - расчетная критическая влажность, ниже значения которой прекращается перераспределение влаги в промерзающем грунте;

M_0 - безразмерный коэффициент, численно равный при открытой поверхности промерзающего грунта абсолютному значению среднезимней температуры воздуха;

Рассчитав по формуле 1 параметр R_f равен 0,0034. Сопоставив полученное значение с таблицей 39 было установлено, что исследуемый грунт является слабопучинистым.

Однако в нашем случае согласно проведенным исследованиям, полученный коэффициент водонакопления равен 1,10 и 1,14 и более точнее отражает полную картину в отличии от значения полученных расчетом по формуле 1. Также данное утверждение подтверждается в дальнейшем с помощью моделирования и определения степени пучинистости грунтов.

Также подобные исследования также были проведены на участке №2 и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Процентное содержание влаги в отобранных грунтах в период промерзания.

№	Дата отбора грунта, ч.м.г.	Наименование отобранного грунта	Глубина отбора, м	Процентное содержание влаги в грунте после промерзания %	Коэффициент водонакопления, $K_{воднкп}$
1	23.03.2019	Суглинок	0,8	34,61	1,14
2	23.03.2019	Песок	1,3	14,52	
3	23.03.2019	Песок	2,8	13,30	
4	23.03.2019	Песок	3,2	5,24	

Примечание: Среднее процентное содержание влаги в грунте до промерзания составляет 12,70 %.

Влияние $K_{воднкп}$ на пучинистость грунтов составляет:

$K_{воднкп} = 1,1 - 1,2$ – грунт практически не пучинистый.

$K_{воднкп} = 1,2 - 1,3$ – грунт слабопучинистый.

$K_{воднкп} = 1,3 - 1,5$ – грунт среднепучинистый.

$K_{воднкп} = 1,5 - 2,0$ – грунт сильнопучинистый.

$K_{воднкп} = 2,0$ – грунт чрезмернопучинистый.

Согласно проведенным исследованиям влажности грунтового основания на участке №2 было установлено, что коэффициент водонакопления составляет 1,14. В связи с этим влияние коэффициента водонакопления на грунтовое основание также минимально, то есть грунт, как и на участке №1, практически не пучинистый.

Проанализировав результаты исследований на двух участках было установлено, что грунт в обоих случаях является практически не пучинистым. Намокание грунтового основания на участке №1 происходит в основном за счет атмосферных осадков, а на участке №2 обусловлено низменной частью

расположения и в связи с этим дождевые воды собираются и замерзают, образуя ледяные кристаллики льда в грунтовом основании почвенно-растительного слоя, что и было обнаружено при отрывании шурфа.

Бывают случаи, когда интенсивность пучения может повышаться при условии, если подземные воды располагаются в зоне сезонного промерзания грунтового основания или очень близко расположены к ней. Однако при увеличении предзимней влажности на глубине интенсивность пучения приближается к равномерной или же может незначительно возрастать по мере продвижения границы промерзания, но только в том случае если грунтовые основания являются однородными. При равномерном увлажнении однородного грунта в условиях или и глубокого залегания грунтовых вод или их отсутствии интенсивность пучения снижается [96].

Однако условия могут меняться, особенно когда подземные воды не оказывают влияние на увлажнение основания сезоннопромерзающего слоя. Однако минимальное расстояние между полной глубиной сезонного промерзания и положением УПВ в начале зимнего периода, при котором эти воды не оказывают влияние на увлажнение грунтового основания представлены в таблице 7 [97].

Таблица 7 – Влияние УПВ на увлажнение промерзающего грунта.

№ п.п.	Наименование грунтов	Минимально безопасное для увлажнения промерзающих грунтов расстояние от их подошвы до УПВ, м
1	Глины с монтмориллонитовой и иллитовой основой	3,5
2	Глины с каолининовой основой, суглинки, в том числе пылеватые	2,5
3	Супеси, в том числе пылеватые	1,5
4	Пески мелкие и пылеватые	1,0

Обычно уровень колебания грунтовых вод имеет следующий характер. В весенний период уровень вод при таянии снега с гор повышается и достигается максимального положения. Однако данная ситуация происходит непродолжительное время в связи протаиванием грунтового основания.

Ближе к летне-весеннему сезону происходит постепенное снижение УГВ, сопровождаясь кратковременным поднятием или замедлением спада грунтовых вод в связи возможностью выпадения осадков. С наступлением осени, когда начинается сезон дождей уровень грунтовых вод начинает подниматься и в зависимости от осадков он может достигать высоких отметок. Однако в зимний период при промерзании происходит понижение вплоть до достижения своей минимально отметки ближе к концу зимы.

В связи с этим было принято решение о проведении мониторинга на двух исследуемых участках для установки динамики грунтовых вод с октября по июнь, что в будущем позволит отследить ситуацию влияния морозного пучения

при определенном уровне грунтовых вод. Мониторинг за УГВ осуществлялся с помощью пьезометрической скважины и длинного провода с засечками через каждый метр длины. При измерении провод опускается во внутрь скважины до тех пор, пока не погрузится полностью до крайней засечки. Далее его доставали и рулеткой измеряли положение УГВ.

Существенную роль в формировании современного рельефа сыграла эрозионно-аккумулятивная деятельность реки Абакана. Река имеет хорошо разработанные ассиметричные долины шириной 20-22 км с пойменной и двумя надпойменными аллювиальными террасами, расположенными на их левобережной части. Правый берег обеих реки высокий, обрывистый, сложен скальными породами.

Река Абакан, омывающая город с юга и востока, образует здесь довольно широкую долину с большим количеством проток и островов. Первая надпойменная терраса распространяется от поймы реки до реки Ташеба, где примерно на расстоянии 3,6 км расположен первый исследуемый участок в поселке Чапаево. От левого берега реки Ташеба к северо - западу распространяется вторая надпойменная терраса. Поверхность обеих террас относительно ровная с элементами микрорельефа в виде ложбин и блюдец от древних стариц реки Абакан, имеет общий уклон на восток-северо-восток. В ложбинах и блюдцах часто наблюдается заболоченность, обусловленная близостью грунтовых вод. Стоит отметить, что в геоформологическом отношении участок, расположенный по ул. Авиаторов также приурочен к надпойменной террасе р. Абакан [98].

Ландшафт описываемого района открытый, степного характера со слабым травянистым покровом. Толща пород палеозоя перекрыта четвертичными отложениями современных и древних террас. Мощность их колеблется от 10 до 50 м. Представлены четвертичные отложения гравийно-галечниковой толщей и песчано-глинистым покровным слоем.

Гравийно-галечниковая толща имеет двухслойное строение. Верхняя часть аллювиальной толщи сложена молодыми гравийно-галечниковыми отложениями рек: галькой, гравием, валунами с песчаным заполнителем. Облик породы свежий, без следов выветривания, цвет в целом серый и темно-серый. Мощность отложений 10-20 м, реже до 30 м [99].

Нижняя часть гравийно-галечниковой толщи сложена древнеаллювиальными отложениями реки Абакан. Литологически они представлены галькой, гравием, валунами с супесчаным заполнителем. Галька, гравий, валуны несут следы выветривания, цвет породы красновато-бурый. Мощность древнего аллювия 10-15 м. На пойменных террасах рек древнеаллювиальные отложения отсутствуют. Гравийно-галечниковая толща перекрывается песчано-глинистым чехлом, мощность которого колеблется от 0,0 (поймы рек) до 1-2 м. Лишь на отдельных участках мощность покровного слоя увеличивается до 3-х и более метров.

В связи с тем, что на исследуемых участках на уровень грунтовых вод влияют две крупные реки (р. Абакан и р. Енисей), обходящие город с двух

сторон, то это также послужило на решение исследования влияния морозного пучения на фундаменты с учетом мониторинга за уровнем грунтовых вод на двух исследуемых участках.

В целом подобная работа уже проводилась ранее на другом объекте [100] и при сравнении результатов была обнаружена схожая динамика грунтовых вод с участком строительства жилого дома. Однако в работе рассматривался лишь определенный цикл наблюдений с апреля по май. По этой причине было принято решение провести наблюдение за УГВ начиная с августа и заканчивая июнем следующего года. Графики динамики промерзания и УГВ на двух исследуемых участках представлены на рисунках 29,30.

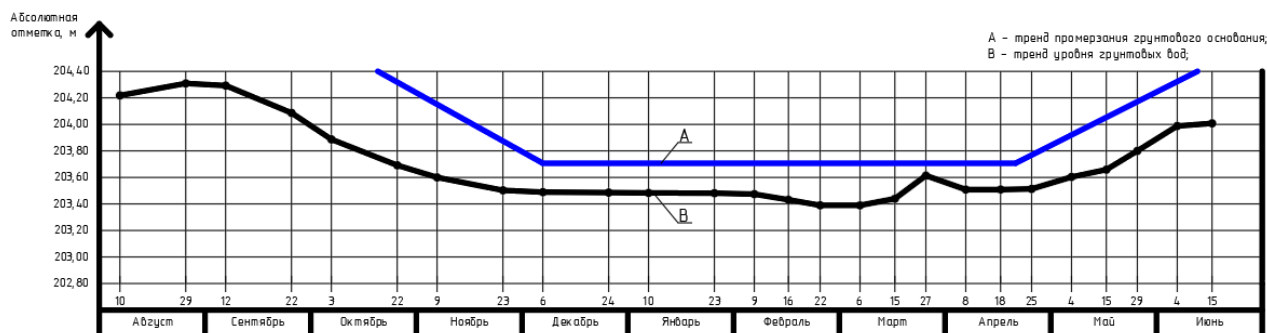


Рисунок 29 – График динамики промерзания и УГВ на участке №1.

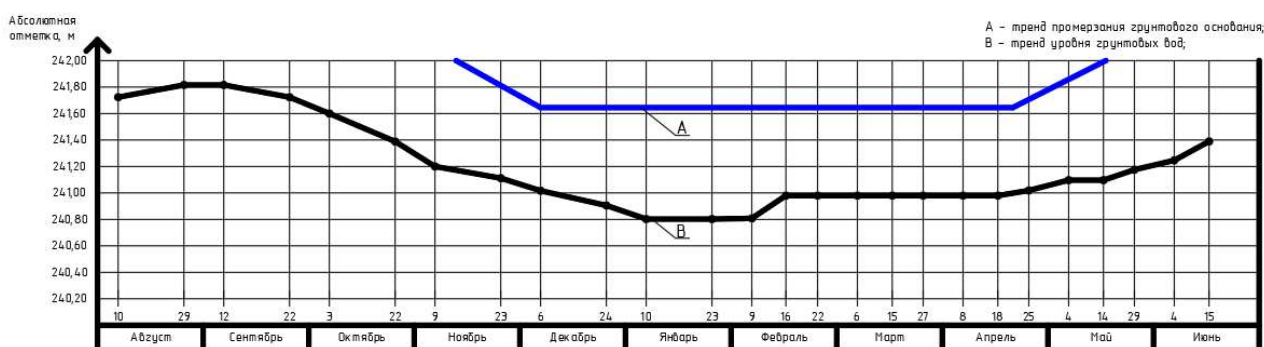


Рисунок 30 – График динамики промерзания и УГВ на участке №2.

Все результаты наблюдения за УГВ представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Мониторинг за УГВ на исследуемых участках в п. Чапаево и г. Абакана.

№ п.п	Дата измерения грунтовых вод	Абсолютная отметка, м	Относительная отметка УГВ на участке №1 в п. Чапаево	Абсолютная отметка	Относительная отметка УГВ на участке №2 в г. Абакан
	1	2	3	4	5
1	10.08. 2018	204,22	2,40	241,72	2,76
2	29.08.2018	204,32	2,28	241,84	2,64
3	12.09.2018	204,30	2,32	241,84	2,64
4	22.09.2018	204,15	2,48	241,74	2,74
5	03.10.2018	203,87	2,76	241,60	2,88
6	22.10.2018	203,68	2,94	241,39	3,09
7	09.11.2018	203,60	3,02	241,20	3,48
8	23.11.2018	203,51	3,12	240,96	3,52

Продолжение таблицы 8.

	1	2	3	4	5
9	06.12.2018	203,48	3,15	240,83	3,65
10	24.12.2018	203,48	3,15	240,70	3,78
11	10.01.2019	203,48	3,15	240,61	3,87
12	23.01.2019	203,48	3,16	240,61	3,87
13	09.02.2019	203,42	3,20	240,67	3,81
14	16.02.2019	203,38	3,24	240,78	3,70
15	22.02.2019	203,38	3,24	240,78	3,70
16	06.03.2019	203,38	3,24	240,78	3,70
17	15.03.2019	203,42	3,14	240,78	3,70
18	27.03.2019	203,68	2,99	240,78	3,70
19	08.08.2019	203,54	3,08	240,78	3,70
20	18.04.2019	203,54	3,08	240,78	3,70
21	25.04.2019	203,58	3,04	240,87	3,61
22	04.05.2019	203,62	3,00	240,93	3,55
23	15.05.2019	203,68	2,95	240,98	3,50
24	29.05.2019	203,80	2,82	240,95	3,38
25	04.06.2019	203,92	2,42	241,10	3,25
26	15.06.2019	204,07	2,64	241,19	3,16

Проанализировав полученные результаты можно сказать, что уровень грунтовых вод в августе на исследуемом участке в п. Чапаево был самый высокий и составлял 2,28 м. Измерение УГВ производилось с помощью скважины, представленной на рисунке 31.



Рисунок 31 – Измерение УГВ в пьезометрической скважине.

В последующие месяцы происходило постепенное снижение до минимального значения в феврале. При дальнейшем мониторинге было установлено, что уровень грунтовых вод проходит зону глубины промерзания (2,9 м в Республике Хакасия) к концу октября. Постепенная динамика подъема подземных вод была зафиксирована к концу апреля.

При ведении мониторинга на участке №2, расположенном в г. Абакане было установлено, что пик уровня грунтовых вод пришелся на конец августа и начало сентября, и находился на отметке 2,64 м. В дальнейшем происходило

понижение уровня грунтовых вод вплоть до конца декабря. В середине января был зафиксирован самый низкий уровень УГВ. Также при ведении наблюдений было установлено, что подземные воды проходят зону глубины промерзания примерно в промежутке с 5 по 22 октября.

Проанализировав динамику грунтовых вод в период промерзания грунтового основания было выявлено, что на участке №1 морозное пучение выражено слабо так как грунтовые воды при подъеме не затрагивают выше лежащие слои грунтового основания, а вся динамика происходит в уровне галечникового грунта. Однако на участке №2 грунтовые воды располагаются в песчаном слое до начала октября. В связи с этим при глубине промерзания 2,9 м уровень грунтовых вод на 03.10.2018 составляет 2,88. Таким образом в грунтовом основании возможно проявление сил морозного пучения и если учесть, что фундаментное основание не нагружено то возможны проявления деформаций от морозного пучения, а также осадочные трещины. В связи с этим было принято решение о ведении мониторинга за секцией №4.

На основании выполненных исследований взаимодействия сезоннопромерзающих пучинистых грунтов и оснований фундаментов можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены основные исследования существующих работ в области совместной работы фундаментов и основания по итогам которых была выбрана модель расчета в виде балки, нагруженной от собственного веса и покоящейся на упругом основании.
2. Были проанализированы работы, посвященные изучению влияния процесса оттаивания на механические свойства грунтов. При оттаивании основные прочностные и деформационные характеристики грунтов снижаются на протяжении определенного времени. Резкое ослабление связей в период оттаивания приводит к возникновению осадок. Если же грунтовые условия неоднородны, то и осадка будет неравномерной.
3. Под действием нагрузок от конструкций здания на стадии оттаивания грунтов образуются дополнительные осадки, которые находятся путем решения системы совместности деформаций «здание – основание». Также рассмотрены возможности образования трех различных зон по длине подошвы фундаментов. Величина соотношений этих зон при определенной жесткости здания определяется грунтами подверженными деформационным воздействиям.
4. Проведены исследования на содержание влаги в грунтовом основании на разных глубинах в период промерзания на исследуемых участках №1 и №2. Согласно полученным результатам наибольшее количество влаги было обнаружено на участке №2. Полученные результаты обусловлены низменной частью расположения и скоплению с последующим замерзанием дождевых вод. Также был проведен мониторинг за динамикой грунтовых вод с августа по июль. Согласно полученным результатам был установлен период прохождения грунтовых вод относительно зоны глубины промерзания грунтового основания.

3 Расчетная модель взаимодействия фундаментов с сезоннопромерзающими грунтами основания.

3.1 Общая расчетная модель взаимодействия фундаментов с грунтами, подвергшимися морозному пучению в Республике Хакасия.

В связи с появлением и широким использованием в практике геотехники и проектирования быстродействующих компьютеров совместный расчет является в настоящий момент наиболее целесообразен, чем раньше. Это связано с тем, что основные задачи решаются численными методами. Одним из основных, используемых при расчете полноценных объектов является метод конечных элементов (МКЭ). Данный способ позволяет варьировать жесткостями и формой пространственных конструкций выше фундаментных конструкций, так и различными слоями оснований ниже подошвы фундаментов.

Основные моменты по использованию методами МКЭ рассмотрены в работах С.Б. Ухова [101], О.К. Зенкевича [102], Л.А. Рогозина [103], А.Б. Фадеева [104]. Конечно – элементный анализ напряженно деформируемого состояния, промерзающего пучинистого грунтового основания при взаимодействии фундаментов, использовался в расчетных работах И.И. Сахаровым, В.И. Пусковым, А.Ф. Кимом, А.Б. Фадеевым и другими деятелями, которые рассматривали совместную работу конструкций в различных условиях. Реализация МКЭ также легла в основы разработки программных комплексов по расчету напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений, а также их оснований и фундаментов, наиболее распространенными являются: SCAD Office, Лира, PLAXIS, GEO5, SOFiSTiK и др.

Таким образом на основе анализа теоретических моделей исследования совместной работы зданий с неоднородными грунтами была разработана расчетная модель совместной работы фундамента сезоннопромерзающими грунтами с помощью МКЭ. При постановке задачи расчета совместной работы фундаментов и грунтового основания с в период промерзаний может включать в себя определенные допущения, которые в свою очередь делятся на процессы [105,106].

К первому процессу к системе «Ленточный фундамент – сезоннопромерзающее основание» можно отнести расчет основания методом местных деформаций с переменным коэффициентом постели, представленным на рисунке 32. При решении задачи подобным методом представим, что ленточный фундамент – это балка с постоянным сечением по длине и свободно лежащая на упругом винклеровском основании. В связи с этим при ведении расчета в условиях одинаковых характеристик основания ординаты на эпюрах примут примерно нулевые значения [107,108]. Это объясняется тем, что в модели Винклера при постоянном коэффициенте жесткости упругого основания и при равномерно - распределенной нагрузке вертикальные перемещения будут одинаковы, так что изгибающий момент также будет примерно равен нулю. В нашем случае изгибающие моменты получились также меньше нуля и составляют $-0,18 \text{ кН/м}^2$ [109].

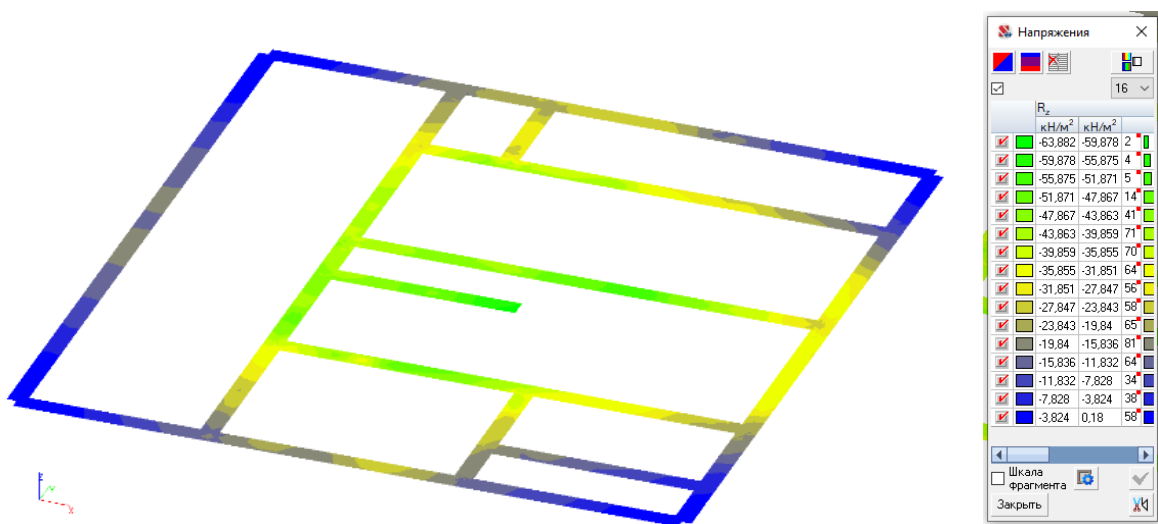


Рисунок 32 – Расчетная модель взаимодействия ленточных фундаментов с сезоннопромерзающим грунтовым основанием с переменным коэффициентом постели.

Во втором случае рассмотрим другой распространенный тип фундаментного основания в Республике Хакасия – свайно – ростверковый, разработанный под строительство малоэтажного дома [110]. В этом случае также была разработана модель к системе «Ленточный фундамент – сезоннопромерзающее основание», представленная на рисунке 33.

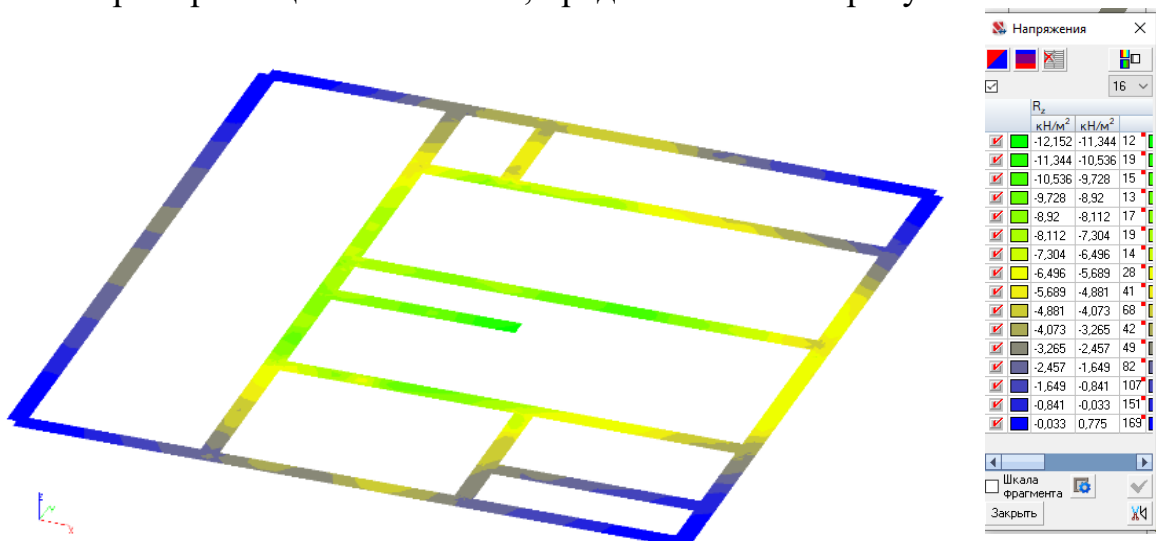


Рисунок 33 – Расчетная модель взаимодействия верхней части свайно – ростверкового фундамента с сезоннопромерзающим грунтовым основанием с переменным коэффициентом постели.

Сравнив полученные результаты моделей было установлено, что в первом случае коэффициент постели ленточных фундаментов составляет 63,882 кН/м², а во втором 12,152 кН/м². Такое большое отличие заключается в глубине заложения выбранных вариантов. В первом случае они составляет -1,650 мм, а во втором -0,550 мм. Данное решение объясняется тем, что во втором случае нужно было проверить влияние промерзающего грунтового основания на монолитный ростверк фундаментного основания.

Также была рассчитана осадка рассматриваемых типов фундаментного

основания, представленная на рисунках 34,35.

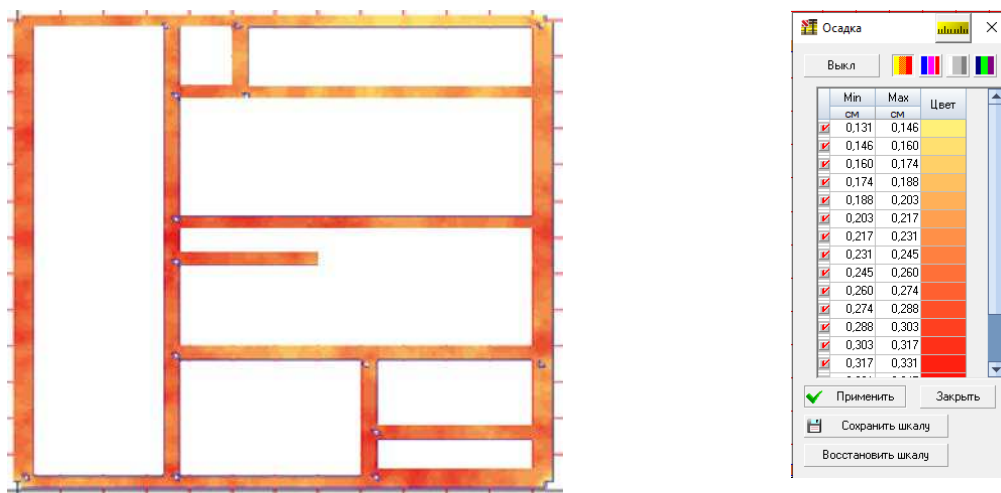


Рисунок 34 – Осадка ленточного фундаментного основания.



Рисунок 35 – Осадка свайно - ростверкового фундаментного основания.

При сравнении полученных результатов осадка ленточных фундаментов составила 2,8 см, а верхней части свайно – ростверковых 1,4 см при нормативном значении 10 см т. Е1. [92]. Проанализировав полученные результаты было принято решение выбрать ленточный вариант фундаментного основания, так как он менее сверхнадежен чем второй вариант, но при этом условия надежности выполняются в полной мере.

Геометрические размеры моделей выбираются с учетом удаления границ от зоны контакта фундамента и основания до такой степени, при которой на основания не оказывали существенного влияния напряженно-деформируемого основания. Величина области основания принимается с учетом дальнейших при расчете усилий в гибком фундаменте. Полученные значения не превышали больше одного процента к предыдущему усилию [111]. Глубину сжимаемой

толщи H можно определить в зависимости от упругой характеристики ленточного фундамента выразив ее из соотношения [111]:

$$H \geq 3L, \quad (2)$$

где H - глубина сжимаемой толщи;

L - упругая характеристика ленточного фундамента;

При этом для определения сжимаемой толщи нужно определить упругую характеристику ленточного фундамента по формуле [111]:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2(1 - \nu_0^2) \cdot E_i \cdot J}{b \cdot E_0}}, \quad (3)$$

где E_i - модуль упругости ленточного фундамента;

J - момент инерции ленточного фундамента;

b - ширина фундаментов;

E_0 - модуль деформации на стадии сезонного промерзания грунтового основания;

ν_0 - коэффициент Пуассона на стадии сезонного промерзания грунтового основания;

В тоже самое время для определения упругой характеристики ленточного фундамента нужно рассчитать осредненные значения модуля деформации и коэффициента Пуасона по формулам [111]:

$$E_0 = \frac{\sum H_i \cdot \sigma_i}{\sum \frac{H_i \cdot \sigma_i}{E_i}}, \quad (4)$$

где H_i - толщина i -го слоя грунтового основания;

σ_i - среднее давление нормальных напряжений для данного слоя на вертикальной оси под центром конструкции при равномерно распределенной единичной нагрузке;

E_i - модуль деформации i -го слоя грунтового основания;

$$\nu_0 = \frac{1}{H_c} \sum \nu_i \cdot h_i, \quad (5)$$

где H_c - граница сжимаемой толщи грунтового основания;

В особенности данные формулы используются для решения задач в пространственной постановке при использовании теории местных деформаций с переменным коэффициентом постели. В этом случае основание моделируется конечными элементами Винклера и Пастернака. В основном при решении задачи с учетом коэффициентов постели методами Винклера и Пастернака используется программное обеспечение SCAD Office, ЛИРА и SOFiSTiK.

При определенных пределах каждый конечный элемент деформационных и прочностных характеристик постоянен, но все же может меняться в результате промерзания и последующего оттаивания в зависимости от его температуры. Таким образом в зависимости от рассматриваемой стадии расчета грунт основания может быть двухслойным или трехслойным [112].

Вертикальные и горизонтальные перемещения по контуру основания, кроме верхней границы принято равным нулю. При контакте фундаментов с грунтовым основанием принято условие с возможностью его отрыва. Также граничные условия грунтового основания предусматривают его полное отсутствие проскальзывания и непрерывность функций перемещений.

К входным данным расчетной модели можно отнести неравномерность пучения, прочностные характеристики мерзлого грунтового основания и геометрические параметры подземной и надземной части фундаментов.

При промерзании неравномерные деформации грунтового основания приводят перераспределению сил гибкого фундамента, действующих в системе. В связи с этим контактные напряжения изменяются и стремятся к конечной форме [113], соответствующей нового положения равновесия. При этом возникает разность между начальной и конечной эпюрой грунтового основания с системой дополнительных сил действующей на фундамент. Подобные условия и определяют решение нелинейной упругопластической задачи взаимодействия системы «гибкий фундамент – промерзающий слой грунтового основания».

Для решения поставленной задачи в пространственной подстановке может быть использована теория местных деформаций с переменным коэффициентом постели для ленточных фундаментов, представленных на рисунке 36.

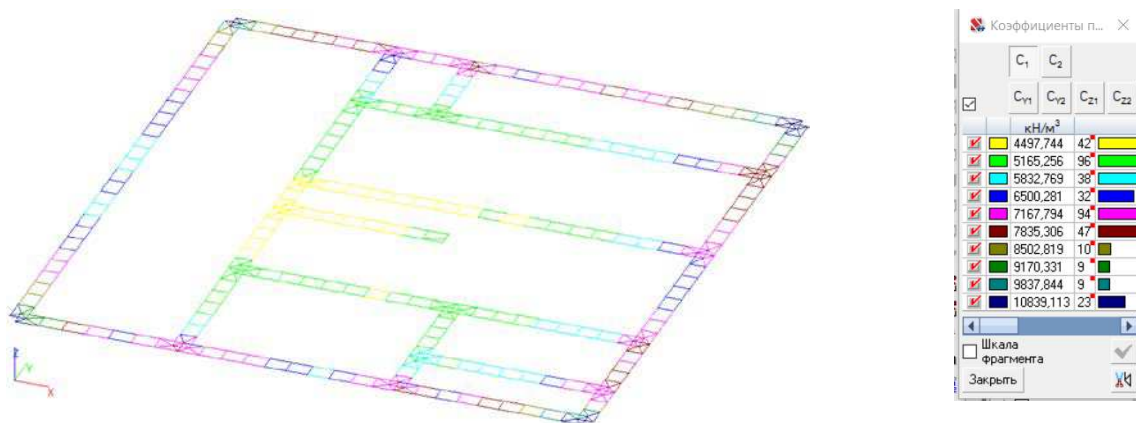


Рисунок 36 – Расположение коэффициентов постели в ленточных фундаментах.

Согласно полученным результатам можно сказать, что при воздействии морозного пучения рассчитанной ширины ленты фундамента достаточно для восприятия нагрузок на грунтовое основание. Стоит отметить, что основные характеристики грунтов взяты из таблицы 1 для участка №1. Также при изучении грунтового основания на содержания влаги было установлено, что процент ее был небольшой, к тому же уровень грунтовых вод не контактирует в период промерзания с грунтами возможно подверженными морозному пучению. При расчете использовались основания характеристики модуля деформации, коэффициента Пуассона, сопротивление грунта сдвигу, угла внутреннего трения). Согласно выше рассмотренной расчетной модели и задаются неравномерные деформации при промерзании грунтового основания.

3.2 Основные закономерности неравномерных деформаций морозного пучения грунтового основания.

При взаимодействии фундаментов с грунтовым основанием, подверженным морозному пучению имеет смысл производить прогнозирование за деформируемостью на стадии промерзания грунтового основания.

В настоящий момент нет общепринятой методики, которая бы позволила произвести оценку неравномерности морозного пучения, а также рассмотреть характер его распространения по длине.

Научные исследования в полевых условиях Н.Ф. Пыщев [114], В.Д. Карлов [115], Н.С. Штеренфельд [116], В.О. Орлов [117], О.Р. Голли [118], Б.Н. Мельников [119], Алексеев А.Г. [120] показали, что морозное пучение действует на фундаментное основание неравномерно. Также было установлено, что величина неравномерности пучения изменяется в процессе промерзания грунтов.

Динамика определяется распределением морозного пучения по глубине, характеризуемым эпюрами интенсивности морозного пучения [121]. Определить расчетом интенсивность неравномерности на основании пучения практически невозможно, поскольку изменение последней по глубине промерзающего слоя в каждом конкретном случае имеет свои особенности, зависящие от определенных факторов [122, 123].

Таким образом при проведении экспериментальных данных было установлено, что наибольшая неравномерность пучения начинает проявляться в верхних слоях грунтового основания [124, 125, 126]. Однако при увеличении мощности грунтового основания промерзающего слоя грунта неравномерность деформирования становится менее интенсивной. В целом величина пучения может меняться в 1,5 – 2 раза и более, то характер пучения площадки в течении нескольких лет может измениться незначительно [127]. Результаты натурных наблюдений указывают на периодичность проявления морозного пучения на исследуемых площадках [117]. Также было установлено [129], что при статистической изменчивости грунтового основания и природой пучения происходит удаление от точек максимального пучения. Она может уменьшаться при повышении интенсивности, а при снижении увеличиваться, что и показано в исследовательских работах [119,121,122,125,128,130] в таблице 9.

Таблица 9 – Зависимость расстояния между точками максимального пучения от степени пучинистости грунтового основания в исследовательских работах.

Наименование грунтового основания	Степень пучинистости грунта	Расстояние между точками максимального морозного пучения, м	Источник данных
1	2	3	4
Супесь	Среднепучинистый	6 ÷ 10	Михайлов Г.Д.
Суглинистые пылеватые грунты	Среднепучинистые	6 ÷ 10	

1	2	3	4
Суглинок	Черезмернопучинистый	6,0	Бредюк Г.П.
Глина	Среднепучинистый	12,0	
Пылеватые супеси	Среднепучинистый	5 ÷ 10	Вострецов О.К.
Пылеватые супеси и суглинки	Сильнопучинистые	5 ÷ 10	Невечеря В.Л.
Тугопластичные элювиальные суглинки	Сильнопучинистый	4 ÷ 6	Мельников Б.Н.
Пылеватые супеси и суглинки	Сильнопучинистый	2 ÷ 6	Пыщев Н.Ф.

На основании выше рассмотренных работ по анализу полученных экспериментальных и полевых исследований за деформированием основания фундаментов было выявлено разделение на две составляющие в зависимости от их происхождения.

Первая из них заключается в статической неравномерности, обусловленной неоднородностью свойств грунтового основания и природой морозного пучения.

Вторая заключается в детерминированной неравномерности, которая определяется глубиной и скоростями промерзания грунтового основания.

В связи с полученными результатами и различной их интерпретации в настоящее время существует несколько методик определения коэффициента неравномерности деформации грунта.

Например, данный коэффициент согласно методике В.Д. Карлова [115] предложено определять в зависимости от соотношения максимальной и минимальной расчетных величин грунта, подвергшегося морозному пучению. Согласно его методике максимальные значения величин определяются по показателю точности оценки среднего значения. На его основании была установлена динамика изменения данного коэффициента в меньшую сторону с увеличением глубины промерзания. Причиной такой динамики объясняется выравниванием неравномерности пучения промерзшим верхним слоем, обладающим достаточной высокой механической прочностью и жесткостью, способным перераспределить морозное пучение, возникающее в нижних слоях грунтового основания.

В работе В.О. Орлова [131] коэффициент статической неравномерности морозного пучения грунта был определен через отношение разности пучения двух близ лежащих точек к расстоянию между ними. При анализе этого параметра было установлена неоднородность для одной и той же площадки, но в разное время. Так, с увеличением расстояния между рассматриваемыми точками значение коэффициента снижается. Данная методика позволяет оценить значения допустимых величин неравномерности пучения для разного типа сооружений в соответствии с их конструктивными особенностями.

Р.Ф. Пыщевым [114] для сравнения неравномерности пучения на различных участках был введен коэффициент статической неравномерности. Он позволяет определить отношение разности экстремальных величин

морозного пучения к удвоенной величине среднего значения. Данный коэффициент является не что иным, как точностью оценки среднего значения величины. При его анализе было выявлено снижение деформаций с увеличением глубины промерзания.

В работе О.Р. Голли [118] также оценивает этот же коэффициент, однако уже через отношение максимальной разности и средней величины пучения грунтового основания определяемой методом наименьших квадратов. Таким образом величина морозного пучения находится при обработке методом наименьших квадратов значений больших средней величины. При этом коэффициент морозного пучения уменьшается с увеличением глубины промерзания. Также на основании выше изложенных методик была составлена таблица оценки неравномерности морозного пучения, представленная в таблице 10.

Таблица 10 – Оценка неравномерности морозного пучения грунтового основания согласно выше рассмотренным методикам.

Автор научно - исследовательской работы	Основной параметр, влияющий на оценку неравномерности грунтового основания	Формула расчета коэффициента неравномерности морозного пучения	Полученный коэффициент неравномерности морозного пучения
В.Д. Карлов	$d_f = 1,0$ м $d_f = 1,7$ м	$\eta_{f_{\Delta}} = \frac{f_{f_{\max}}}{f_{f_{\min}}}$	$\eta_{f_{\Delta}} = 1,25$ $\eta_{f_{\Delta}} = 1,1$
В.О. Орлов	$L = 3$ м $L = 6$ м	$\eta_{f_{\Delta}} = \frac{\Delta f_f}{L} \cdot 100\%$	$\eta_{f_{\Delta}} = 1,33\%$ $\eta_{f_{\Delta}} = 0,63\%$
Р.Ф. Пыщев	$d_f = 0 \div 0,5$ м $d_f = 0,5 \div 1,5$ м $d_f > 1,5$ м	$\eta_{f_{\Delta}} = \frac{f_{f_{\max}} - f_{f_{\min}}}{2 \cdot \overline{f_f}}$	$\eta_{f_{\Delta}} = 1,1 \div 1,05$ $\eta_{f_{\Delta}} = 0,5 \div 0,2$ $\eta_{f_{\Delta}} = 0,2 \div 0,18$
О.Р. Голли	Сильнопучинистые Среднепучинистые Слабопучинистые	$\eta_{f_{\Delta}} = 1 + \frac{\Delta f_{f_{\max}}}{f_{\max 1}}$ $\Delta f_{\max} = f_{f_{\max 2}} - f_{f_{\max 1}}$	$\eta_{f_{\Delta}} = 1,2 \div 1,25$ $\eta_{f_{\Delta}} = 1,15$ $\eta_{f_{\Delta}} = 1,1$
Примечание: d_f - глубина промерзания грунтового основания; $\eta_{f_{\Delta}}$ - коэффициент неравномерности пучения; $f_{f_{\max}}$, $f_{f_{\min}}$ - расчетные максимальные и минимальные величины пучения; L - расстояние между рассматриваемыми точками; $\overline{f_f}$ - средняя величина пучения; $f_{f_{\max 1}}$, $f_{f_{\max 2}}$ - максимальное значение пучения на осредненной и максимальных кривых пучения методом наименьших квадратов.			

При просмотре различных работ - максимальную величину статистической неравномерности пучения предлагают принимать как среднее значение от величины пучения. Например, А.П. Шалагин [132] предлагает принимать неравномерные деформации пучения в зависимости от площади и глубины промерзания около 1,0 м. В таком случае коэффициент неравномерности морозного пучения будет составлять 2/3 от величины морозного пучения f_f , а при глубине более 1,0 м следует принимать 1/2 от f_f .

Также согласно исследованиям [133,134,135] глубина промерзания изменяется по длине ленточного фундамента и концентрируется в углах здания. Также она может меняться в зависимости от ориентации строящегося объекта по сторонам света и климатических условий. В связи с этим была установлена зависимость: чем континентальнее климат, тем сильнее будет проявляться пучение грунта.

Согласно статистическим данным [134] известно, что с северной и северо-восточной стороны промерзание составляет больше, чем южной примерно на 20%. Если здание имеет сложную форму, то и характер неравномерности пучения усложняется.

В настоящее время недостаточно исследованы закономерности глубины промерзания грунтового основания при строительстве фундаментов в зоне сезонного промерзания в Республике Хакасия. Приводимая в работах научная литература и единичные примеры не позволяют более подробно рассмотреть процесс морозного пучения [136,137,138]. Также стоит отметить, что основная часть примеров по деформациям от морозного пучения рассмотрена для западной части России.

Процессы неравномерного промерзания сезоннопромерзающего грунтового основания выполнены с помощью численного моделирования. Основная цель решения задачи была в определении динамики промерзания длин участка в области расположения возводимого здания.

Однако до начала работ по моделированию совместной работы грунтового основания с подземными конструкциями следует определиться с глубиной заложения фундаментного основания. Данный расчет выполняется согласно [139,64]. При расчете глубины заложения следует учитывать определенные факторы такие как, рельеф местности, состав грунтового основания, конструктивные особенности строящегося дома, глубина промерзания и уровень грунтовых вод. При этом если глубина промерзания $d_{fn} > 2,5$ то в этом случае согласно п. 5.5.3 [139] ее следует определять теплотехническим расчетом в п. 6.2 [64]. Таким образом при расчете глубины заложения согласно нормативным документам следует провести натурные наблюдения за грунтовыми условиями для определения глубины сезонного промерзания, что в свою очередь в реальных условиях при строительстве выполнить проблематично в виду ограничений по времени и финансовых затрат. Таким образом нормативную глубину промерзания грунтового основания вычисляем по формуле [139]:

$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t}, \quad (6)$$

Где d_0 - величина, принимаемая равной для суглинков и глин 0,23 м;

M_t - безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год в данном районе принимаемых согласно т. 5.1 [140];

$$d_{fn} = 0,23 \cdot \sqrt{158} = 2,88 \text{ м}$$

После определении нормативной глубины промерзания вычисляют расчетную согласно формулы [139]:

$$d_f = k_n \cdot d_{fn}, \quad (7)$$

где k_n - коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения, принимаемый для наружных фундаментов отапливаемых сооружений согласно г. 5.2;

d_{fn} - нормативная глубина промерзания грунтового основания;

$$d_f = 1,0 \cdot 2,88 = 2,88 \text{ м}$$

Грунтовые воды на участке составляют 3,0 м и располагаются в уровне галечникового грунтового основания. В связи с этим их уровень не влияет на рассчитанную глубину заложения фундаментов, но в нашем случае закладывать фундаментное основание на полученную глубину является нецелесообразным решением, так как проектируемый дом без подвала. При этом многие дома без подвалов, построенные в пос. Чапаево близ исследуемого участка №1 закладываются на глубину 2,0 м, так как на этой глубине присутствуют галечниковые грунты. Таким образом возникают несколько вопросов. Первый из них заключается в целесообразности уменьшения глубины заложения фундаментов с определением величины морозного пучения. Второй в моделировании условий поведения, когда возводимый фундамент находится в зоне сезонного промерзания.

Поставленные задачи были решены с помощью программного комплекса PLAXIS [140], в частности при использовании расширения The Frozen and Unfrozen Soil Model. Используемая модель расчета представляет собой модель почвы, реализованной в PLAXIS, способную описывать механическое поведение грунтов подверженных промерзанию в зависимости температуры и процента содержания влаги в грунтовом основании.

При расчете грунтового основания применялись следующие параметры расчета: ширина фундамента – 0,3 м; глубина заложения – 1,65 м; модуль деформации – 22 МПа; нагрузка на фундамент – 37,4 кН; температура – (-25⁰С); процент содержания влаги в грунтовом основании – 15,12 %. В силу симметрии ленточного фундамента было принято решение о рассмотрении лишь части исследуемой области. Схема модели ленточного фундамента и грунтового основания в программном комплексе представлена на рисунке 37.

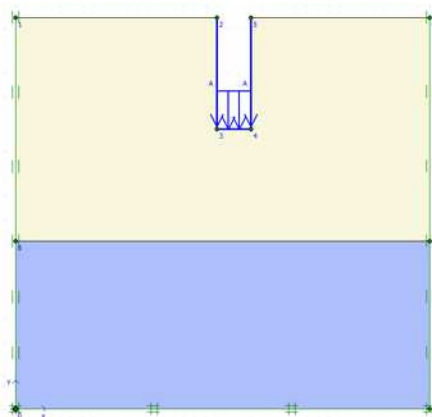


Рисунок 37 – Схема модели ленточного фундамента и грунтового основания в программном комплексе PLAXIS.

На начальном этапе грунтовое основание в зимний период промерзает равномерно. При промерзании грунт увеличивается в объёме за счет влаги в грунтовом основании и в связи с этим может произойти пучение грунтового основания. Обращая внимания на вышеперечисленные факторы была разработана модель поведения грунтового основания, представленная на рисунке 38.

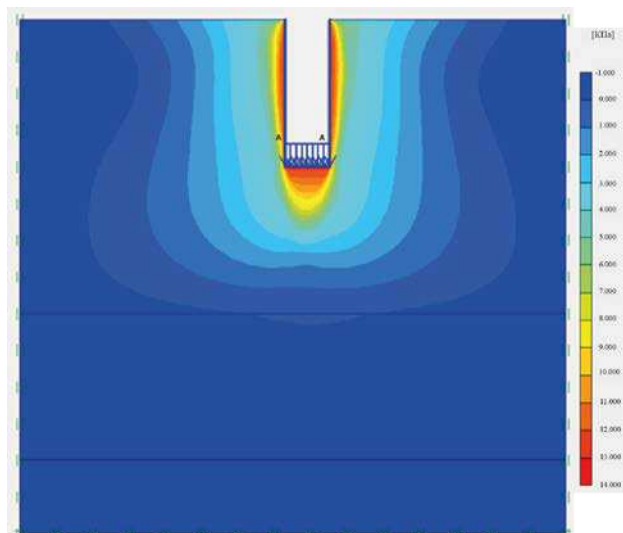


Рисунок 38 – Модель влияния напряжения пучения на ленточный фундамент.

Данная модель показывает совместное влияние касательных и нормальных сил пучения грунтового основания на ленточный фундамент. Минимальное напряжение грунта составляет 1,0 кН, а максимальное 14,0 КПа. На данной модели основные напряжения представлены в виде изополей различной цветовой гаммы. При проведении анализа было выявлено скопление их в нижних и боковых поверхности фундаментов. Это объясняется тем, что внутренние напряжения грунта взаимодействуют с поверхностью фундаментного основания. Также путем моделирования были получены эффективные напряжения, представленные на рисунке 39.

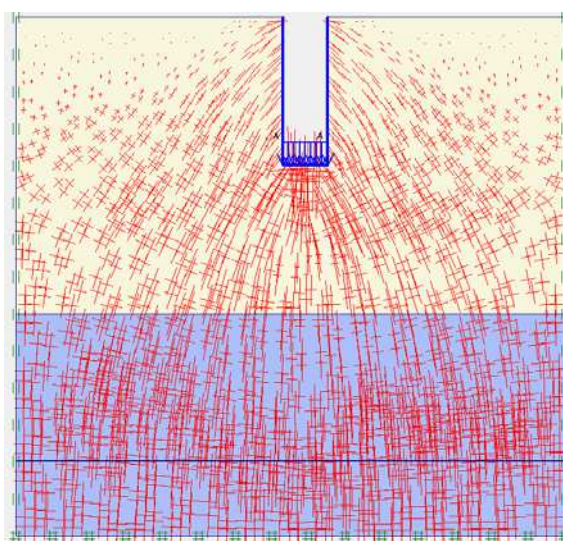


Рисунок 39 – Эффективные напряжения грунтового основания под подошвой ленточных фундаментов.

Данный рисунок показывает эффективные напряжения грунтового основания с учетом осадки и совместной работы касательных и нормальных сил. В нормальном состоянии они сконцентрированы в нижней части грунтового основания. В месте, где примыкает фундаментное основание они искажаются, что и как раз дает концентрацию напряжений по всей поверхности ленточного фундамента. Таким образом при нагрузке 37,4 кН согласно полученной модели нормальные и касательные силы в суглинистом основании составляют 14,0 КПа. В следствии этого на исследуемом участке №1 присутствует морозное пучение, но оно ниже нагрузок на фундаменты.

Также была смоделирована ситуация поведения грунтового основания в следствии осадки ленточного фундамента, представленная на рисунке 40.

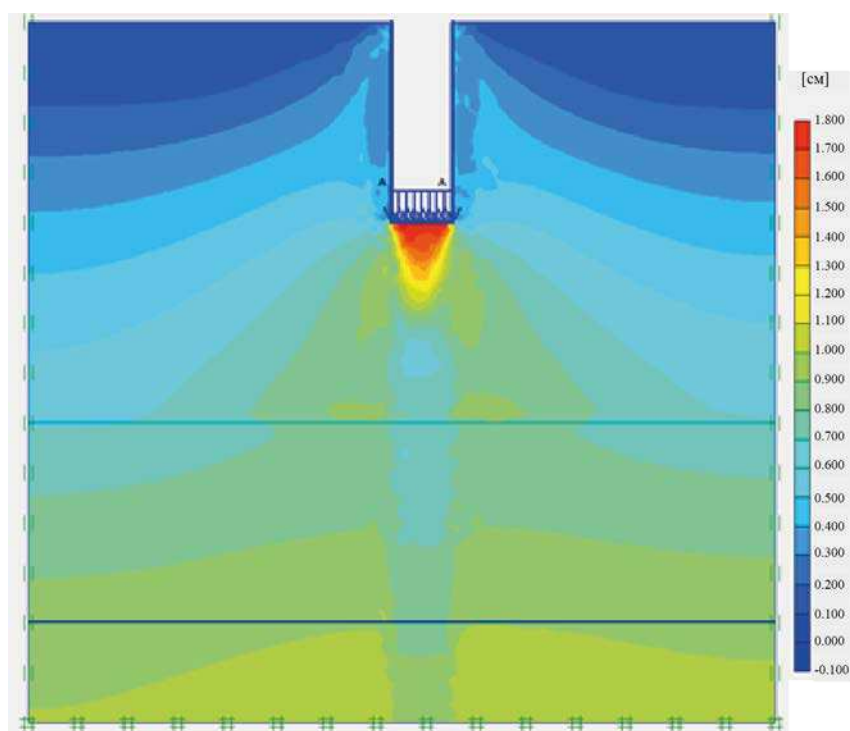


Рисунок 40 – Осадка ленточного фундамента.

Согласно полученным результатам основные усилия от осадки сконцентрированы в нижней части ленточного фундамента. Таким образом согласно полученной модели поведения грунтового основания под нагрузкой осадка ленточного фундамента составила 1,8 см при нормативном значении 10 см [92]. В следствии этого условие осадки выполняется.

При проведении анализа полученных моделей можно сказать, что все условия надежности выполняются. В следствии этого данный тип фундаментов актуален в выборе строительства на площадке №1, чем предложенный ранее свайно – ростверковый фундамент.

На основании выполненных исследований взаимодействия сезоннопромерзающих, пучинистых грунтов и оснований фундаментов можно сделать следующие выводы:

1. Представлена общая расчетная модель взаимодействия фундаментов с грунтами, подвергшимися морозному пучению в Республике Хакасия.

Изначально расчет модели производился методом местных деформаций с переменным коэффициентом пастели. Рассмотрен вариант строительства ленточного и свайно – ростверкового фундаментов и на основании результатов моделирования был принят вариант ленточного фундаментов.

2. Рассмотрены основные закономерности неравномерных деформаций морозного пучения грунтового основания. Проведен анализ научно-исследовательских работ по исследованию морозного пучения. На основании экспериментальных данных в рассмотренных работах было выделено две составляющие деформативности основания. Первая заключается в статистической неравномерности, обусловленной неоднородностью свойств грунтового основания и природой морозного пучения. Вторая заключается в детерминированной неравномерности, которая определяется глубиной промерзания грунтового основания и также рассмотрены методики определения коэффициента неравномерности деформации грунта.
3. Построена модель поведения грунтового основания сил морозного пучения на ленточный фундамент согласно которой минимальное напряжение составило 1,8 кН, а максимальное 25,2 кН. Также путем моделирования были получены эффективные напряжения с учетом совместных напряжений грунта. Полученные модели позволили установить характер влияния сил грунтового основания на возводимый ленточный фундамент.

4 Оценка взаимодействия грунтового основания и фундаментов на примере строящегося объекта на участке №2 в г. Абакан

4.1 Анализ ведения мониторинга за воздействием сил морозного пучения на существующие фундаменты

Изучение деформационных процессов грунтового основания является одной из важнейших задач в геодезии и включает в себя наблюдение за деформациями строительных конструкций. Данные полученные от подобных наблюдений позволяют определить ее характер и сделать выводы о дальнейшем поведении сооружений. Особую актуальность информация приобретает при получении данных для своевременного устранения и предупреждение критических деформаций [142,143].

В настоящее время существует несколько видов систематического контроля за состоянием строительными конструкциями и основаниями [144,145,146].

- Контроль измерений геометрических параметров здания и конструкций;
- Визуальный и инструментальный контроль параметров выявленных дефектов и повреждений;
- Анализ динамики изменения технического состояния конструкций;
- Инструментальный контроль характеристик материалов основных несущих элементов;
- Разработка отчета по устранению выявленных дефектов;

Основные инженерно – геологические процессы развиваются в период строительства и эксплуатации. Они могут накладываться на естественные геологические процессы и могут активизировать их или способствовать затуханию. Стоит также обратить внимание, что любое возведенное здание дает нагрузку на основание, которая в свою очередь вызывает значительные напряжения в грунтовой зоне особенно в зимнее время в период строительства [147,148,150,151]. Разумеется, что по мере уплотнения грунта осадки постепенно снижаются. При этом скорость осадки может зависеть только от типа грунтового основания. Также здание может перемещаться в горизонтальной плоскости. Сильное развитие деформаций может привести к разрушениям несущих конструкций или же затруднению его эксплуатации.

В летнее время перед строительством на участке копаний ООО «Хакастисиз» были проведены инженерно – геологические изыскания под ленточные фундаменты. Таким образом на основании изысканий было установлено, что блок секции 5, 6, 7 находятся на надежном галечниковом грунтовым основании. Остальные блок - секции расположены на песчаном грунте с возможным морозным пучением.

Работы такого рода наблюдения проводятся в основном с применением метода геодезии. Так к примеру [152] в состав геодезических работ, выполняемых на строительной площадке, входят и геодезические измерения за

деформациями несущих конструкций, тем более это предусмотрено органами надзора.

Измерение деформаций фундаментов проводят в течении всего периода строительства до достижения условной стабилизации грунтового основания. В особенности если учесть, что в период строительства в зимнее время фундаменты были не загружены, то возможны появления деформаций морозного пучения. Общий вид строящегося объекта представлен на рисунке 41.



Рисунок 41 – Общий вид на строящийся объект в период 22.12.2018 года.

Также на рисунке 42 представлена фотография уже построенных блок – секций жилого дома.



Рисунок 42 – Общий вид на строящийся объект в период 18.05.2019 года.

Изначально были опасения, что в связи с небольшой глубиной заложения фундаментов произойдет сильное морозное пучение, которое в последующем окажет негативное воздействие на ленточные фундаменты. Хотя на данном объекте грунтовые воды были на достаточном расстоянии от подошвы, но общая влажность грунтового основания все же присутствовала.

Тем более подобный прецедент уже происходил при строительстве перенантального центра в городе Абакан. Основным отличием от предыдущего примера заключалась в том, что грунтовые воды были расположены достаточно близко от дна котлована и грунты под основанием состояли из суглинков. В связи с этим пришлось делать гравийную подсыпку в осеннее и весеннее время для беспрепятственного перемещения сваебойных установок.

С наступлением отрицательных температур данная проблема была решена. Грунтовое основание замерзло и по нему можно было перемещаться. Однако при устройстве котлована грунтовые воды оказались в зоне сезонного промерзания и появилась опасность сильного морозного пучения, а проектное решение в виде песчаной подготовки было недостаточным для предотвращения морозного пучения. Для минимизации этих сил было принято решение о устройстве противопучинного зазора. Устройство противопучинного зазора представлено на рисунке 43.

Однако на самом участке морозное пучение не прекратилось. Так к примеру, в ноябре для возведения ростверка на проектную глубину приходилось выдалбливать грунтовое основание на 10 см. В январе силы пучения приподняли грунтовое основание уже на 28 см, что полностью нарушило планировочную отметку дна котлована.

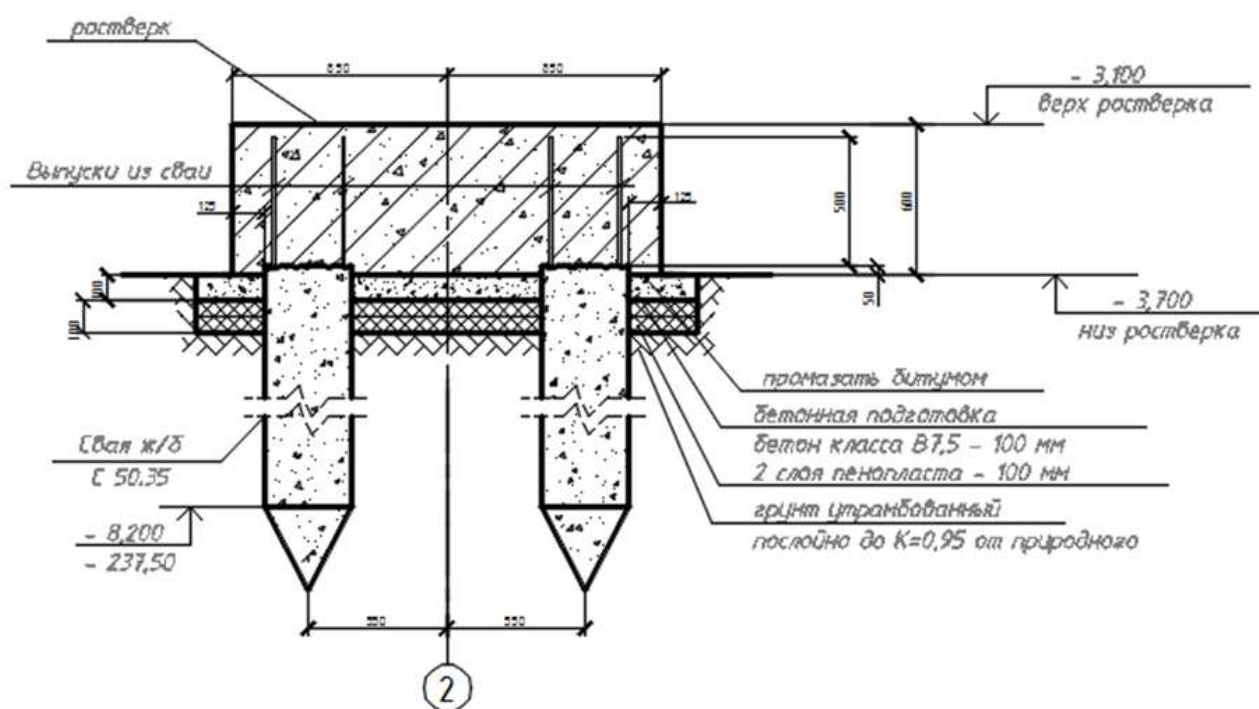


Рисунок 43 – Устройство противопучинного зазора в монолитном ростверке.

Таким образом для того, чтобы не допустить развитие подобной ситуации на начальном этапе следовало бы провести кроме изысканий – мониторинг грунтового основания во время строительства в зимнее время [152]. Подобное решение позволило бы выявить малейшие деформации грунтового основания, его температуру и тд. Особенно это важно при строительстве на грунтовых основаниях подверженных морозному пучению при ведении строительства в

зимнее время. Геотехнический мониторинг основан на комплексном подходе к прогнозированию и управлению устойчивым состоянием грунта и фундаментов.

Основная его задача заключается в предотвращении на начальных стадиях аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации зданий. В целом геотехнический мониторинг делится на две части: геодезический и геофизический мониторинг. Геодезический мониторинг подразумевает слежение за изменениями в геометрии зданий и сооружений, а геофизический позволяет вести наблюдение за динамикой изменения в структуре, физико – механических характеристиках и тд. В случае возникновения внештатной ситуации при строительстве в зимнее время из – за недопустимых деформаций или изменение температурных и гидрологических параметров, принимаются решения по устранению нарушений и стабилизацию геосистем. Стоит также отметить, что для корректного ведения мониторинга разрабатывается программа, которая должна отвечать следующим требованиям [153]:

- Фиксация контролируемых параметров должна выполняться для наиболее опасных и характерных участков конструкций, вновь возводимых (реконструируемых) сооружений, их оснований и окружающей застройки;
- Выбранные методы и точность измерения должны обеспечивать достоверность получаемых результатов и быть согласованы с точностью заданных проектных значений и результатов геотехнического прогноза;
- Все проводимые наблюдения и измерения должны быть указаны между собой во времени и привязаны к этапам выполнения строительных работ;
- Периодичность наблюдений должна определяться интенсивностью и длительностью протекания процессов деформирования конструкций сооружений и их основания;

Таким образом включение программы мониторинга за пучением грунтового основания на объекте позволило бы разработать комплекс мероприятий по минимизации влияния сил морозного пучения на основания и фундаменты. Однако на перенантальном центре этого не сделали и после возникновения подобных проблем пригласили геотехника, который разработал мероприятия по уменьшению сил морозного пучения путем утепления фундаментов.

Данное решение помогло предотвратить дальнейшее развитие деформаций. Однако этого всего можно было избежать, пригласив геотехника на весь период ведения зимнего строительства и разработать заранее программу мониторинга за грунтовым основанием и фундаментов.

4.2 Мониторинг за воздействием сил морозного пучения существующего фундаментного основания

Для предотвращения подобной ситуации было принято решение о проведении мониторинга геодезическим способом за осадкой и воздействием сил морозного пучения незагруженного ленточного фундамента строящегося

здания. Для ведения мониторинга была установлена реперная и марочная системы. Это нужно для обеспечения точности отслеживания вертикальных перемещений здания. Репером является геодезический знак, высотное положение которого является неизменным на протяжении всех работ по проведению мониторинга.

Деформационные марки устанавливаются для определения вертикальных перемещений. Марки располагались в местах образования трещин в швах фундаментных блоков. Маркой является геодезический знак, который неподвижно закреплен на конструкции здания, и он может менять свое высотное положение вследствие осадки фундаментов. Способы установки таких марок могут быть различны. Например, в кирпичной кладке выбивается гнездо глубиной 100 мм, которое в последующем заполняется цементно – песчаным раствором, а в него втапливается стальной уголок, направленный вверх. На железобетонных колоннах вскрывается арматура и к ней приваривается уголок. На сваи устанавливается анкер с приваренной к нему реперной головкой, для постановки на нее нивелирной рейки. Также в качестве осадочных марок могут быть использованы стальные дюбели [154]. В каждой производственной фирме свой опыт мониторинга за деформациями осадок и морозного пучения [155]. Однако в нашем случае в качестве обозначения деформационной марки использовались марки из раствора.

При проведении мониторинга отметка реперов Rp1 и Rp2 были установлены на блок – секции № 5 и 6 возведенных на галечниковом грунтовом основании. Марки устанавливались на остальных блок – секциях по периметру всего здания согласно рисунку 44. Мониторинг осуществлялся с начала октября и до конца декабря в период возможного проявления морозного пучения. Порядок работ заключался в снятии показаний с нивелирной рейки со всех точек деформационных марок и сравнений результатов с реперной системой.

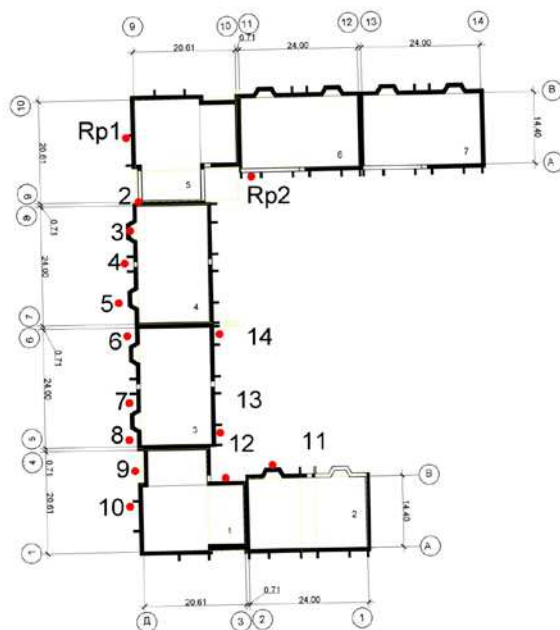


Рисунок 44 – Схема установки марок для ведения мониторинга за деформациями морозного пучения.

По итогам работ по проведению мониторинга за весь период были получены неравномерные деформации фундаментов, представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты за весь период мониторинга за деформациями ленточных фундаментов.

№ установленной марки	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	Δ13	Δ14
Осадка фундаментов блок - секций	4,2 см	0,8 см	0,5 см	1,2 см	1,4 см	0,5 см	0,7 см	1,6 см	3,2 см	0,2 см	0,8 см	0,7 см	0,6 см

Таким образом наиболее сильные деформации фундаментного основания были обнаружены на фундаментах блок – секций под номерами 4, 3 и 1. Согласно полученным результатам марок Δ9, Δ10 в секции №1 присутствуют деформации от неравномерной осадки в следствии нахождения части здания на галечниковом грунте в осях Д и 1 на рисунках 45, 46. Также стоит отметить, что в осях Д и 1 при проведении инженерно – геологических изысканий был обнаружен небольшой участок галечникового грунта в зоне возведения фундаментов. Под остальной частью секции в зоне заложения фундаментов расположен грунт слабо подверженный морозному пучению.



Рисунок 45 – Образование трещин в фундаментном основании с внутренней части блок – секций



Рисунок 46 – Трещина в фундаментном основании с внутренней части блок – секции.

Подобная ситуация произошла и на блок – секции №4. Там в следствии деформации грунтового основания на фундаенты в середине зимы была обнаружена трещина с внешней стороны здания, представленная на рисунке 47.

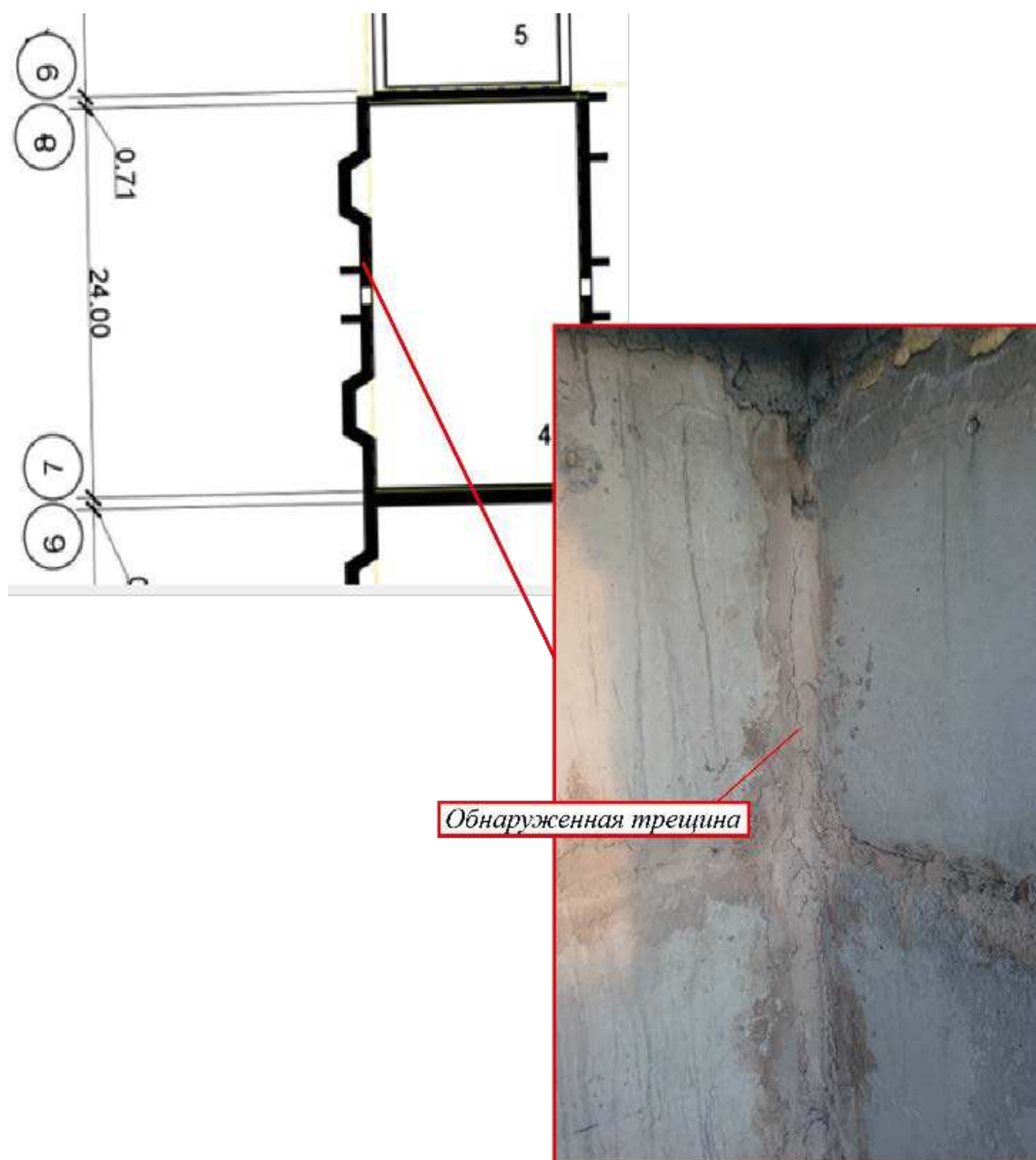


Рисунок 47 – Трещина на внешней стороне ленточного фундамента.

Ширина ее раскрытия составляла 0,1 мм. В дальнейшем ее ширина не значительно увеличилась до 0,3 мм. В связи с этим было принято решение о наблюдении за динамикой раскрытия трещины с помощью марок. С наступлением теплой погоды в феврале были установлены марки. Места их установки показаны на рисунке 48.



Рисунок 48 – Места установки марок для ведения мониторинга.

В качестве марочного раствора был использована высокопрочная отделочная мастика. Спустя 2 недели марки были проверены на целостность. Установленные марки представлены на рисунках 49,50,51.



Рисунок 49 – Оценка состояния установленных марки №1.



Рисунок 50 – Оценка состояния установленных марки №2.



Рисунок 51 – Оценка состояния установленных марки №3.

При первичном осмотре целостность марки была не нарушена. В заключении можно сделать вывод, что динамика раскрытия трещины на данный момент отсутствует.

Общий мониторинг велся в течении четырех месяцев и по итогам, которых можно сказать, что дальнейшего развития наблюдаемая трещина не получила. Стоит также отметить, что в период возведения фундаментов также устраивался монолитный железобетонный пояс, который возможно способствовал к восприятию сил деформации грунтового основания. Однако при геодезическом мониторинге были обнаружены деформации, которые никак не повлияли на целостность фундаментного основания. Таким образом было принято решение уточнить полученные значения на исследуемой блок – секции с помощью программного моделирования.

4.3 Создание модели поведения грунтового основания на исследуемом объекте №2 в г. Абакане

На начальном этапе строительства грунтовое основание, прилегающее к фундаменту, промерзает равномерно, так как отсутствует отопление и остов здания. Однако в зимнее время наблюдается незначительная деформация грунтового основания в особенности в месте расположения блок – секции №4. Максимальная глубина промерзания зафиксирована в феврале. В следствие

того, что фундамент здания является не отапливаемым, то промерзание основания происходит равномерно. Грунтовое основание оттаивает полностью в середине мая.

Для определения напряжений от действия грунтового основания на тело фундамента было принято решение о создании такой модели в программном комплексе PLAXIS [156,157,158] с использованием расширения The Frozen and Unfrozen Soil Model. Полученная схема модели ленточного фундамента и грунтового основания представлена на рисунке 52.

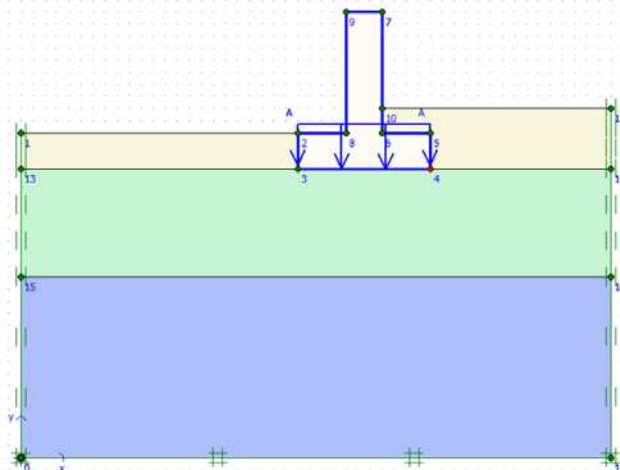


Рисунок 52 – Схема модели ленточного фундамента и грунтового основания в программном комплексе PLAXIS.

Согласно полученной схемы производим расчет грунтового основания, влияния грунтовых вод на фундаменты с процентным содержанием влаги при промерзании грунта. Учитывая все ранее рассмотренные факторы была разработана модель поведения грунтового основания, представленная на рисунке 53.

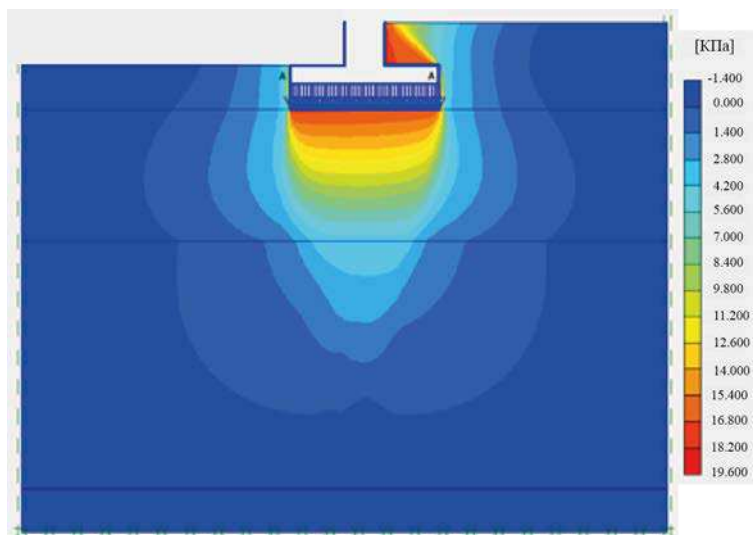


Рисунок 53 – Модель влияния напряжение пучения на ленточный фундамент.

Данная модель показывает влияние сил пучения грунтового основания на ленточный фундамент. Минимальное напряжение грунта составляет 1,4 кПа, а максимальное 19,6 кПа. Касательные силы полностью отсутствуют. На данной модели основные напряжения представлены в виде изополей различной

цветовой гаммы. Красным цветом обозначены максимальные напряжения возникающие в следствии проявления сил деформации грунтового основания. При проведении анализа было выявлено скопление напряжений в нижней части подошвы фундаментов. В верхней части подошвы фундаментов сконцентрированы остаточные напряжения в следствии возможных осадок до начала промерзания грунтового основания. Также путем моделирования были получены эффективные напряжения, представленные на рисунке 54.

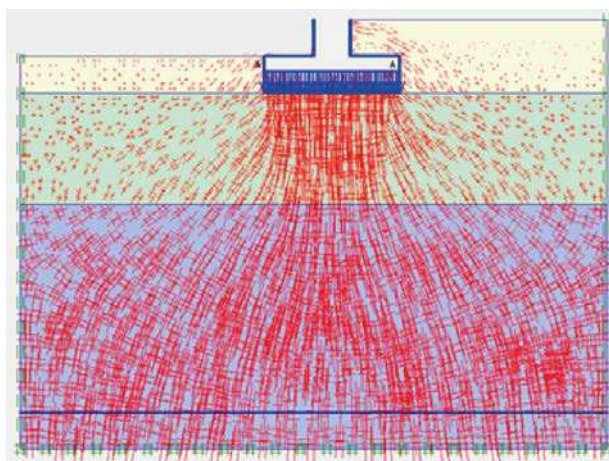


Рисунок 54 – Эффективные напряжения грунтового основания под подошвой ленточных фундаментов.

Данный рисунок показывает эффективные напряжения грунтового основания с учетом осадки и нормальных сил. В нормальном состоянии они сконцентрированы в нижней части грунтового основания. В месте где примыкает фундаментное основание они искажаются, что и как раз дает концентрацию напряжений по всей поверхности ленточного фундамента. Таким образом при нагрузке 26,47 кН согласно полученной модели нормальные и касательные силы составляют 19,6 кН. Согласно полученным значениям на исследуемом участке №2 деформаций от морозного пучения не наблюдается. В связи с этим песчаный грунт под подошвой фундаментов является слабо пучинистым. Также была смоделирована ситуация поведения грунтового основания в следствии осадки ленточного фундамента, представленная на рисунке 55.

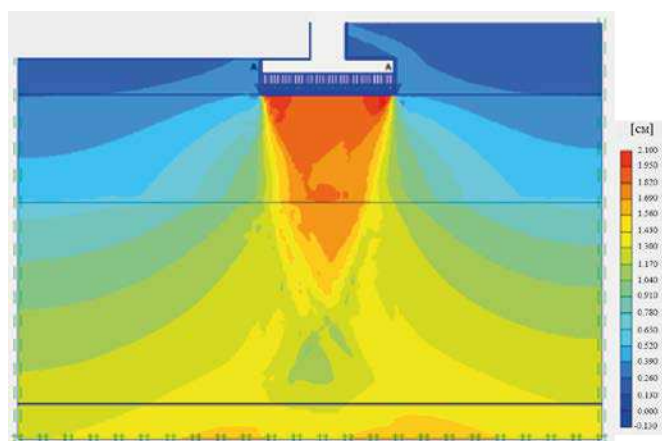


Рисунок 55 – Осадка ленточного фундамента.

Согласно полученным результатам основные усилия от осадки сконцентрированы в нижней части ленточного фундамента. Таким образом согласно полученной модели поведения грунтового основания осадка составила 2,1 см. Результат, полученный с помощью построения модели равен результату, который был получен согласно расчету осадки ленточных фундаментов (Приложение А).

Проанализировав ситуацию можно сделать вывод, что основные деформации ленточных фундаментов были вызваны незначительным морозным пучением. Также при ведении наблюдения за установленными марками с февраля и в течении всего периода строительства данного объекта деформаций обнаружено не было.

Проанализировав полученные модели можно сказать, что все условия надежности по усадке и морозном пучении выполняются. В следствие этого можно сказать, что песчаный грунт, служащий как основание является не пучинистым и в данном случае глубина заложения фундаментов полностью оправдана.

На основании выполненных исследований взаимодействия сезоннопромерзающих пучинистых грунтов и оснований фундаментов можно сделать следующие выводы:

1. Произведен общий анализ ведения мониторинга за взаимодействием сил морозного пучения на существующие фундаменты. Рассмотрены виды систематического контроля за состоянием строительных конструкций. Приведен пример влияния сил морозного пучения на существующие фундаменты.

2. Произведен мониторинг существующих фундаментов на участках №2 за воздействием сил пучения с помощью создания реперной системы и марок. По итогам исследования были обнаружены не значительные деформации существующих фундаментов блок – секций. Также в связи обнаружением трещины в шве фундаментного блока было принято решение об установке трех марок для ведения мониторинга по итогам, которых видимых деформаций за период наблюдения обнаружено не было.

5 Обоснование целесообразности выбора глубины заложения фундаментов при промерзании грунтового основания в Республике Хакасия.

В Республике Хакасия существуют несколько параметров которые влияют на глубину заложения фундаментов.

К первому параметру можно отнести тип грунтового основания сезонно - промерзающего слоя. Для определения глубины заложения фундаментов важен тип грунта, т.к. это определяет пучинистый ли грунт или нет. Степень пучинистости зависит и от других факторов, например, от влажности. Однако при её определении непосредственно в лабораторных условиях было обнаружено, что ее процент на исследуемом участке в пос. Чапаево составляет 15,12 %, а в г. Абакан – 26,52%. В связи с этим в суглинистых грунтах исследуемого участка №1 присутствуют нормальные и касательные силы морозного пучения, которые составляют 25,2 кН при нагрузке на фундамент 37,4 кН на глубине -1,65 м при этом расчетная глубина заложения согласно расчетам [133] составляет 2,88 м. Однако стоит учесть, что на глубине 2,0 м. находится галечник. Таким образом расчетная глубина заложения ограничится 2,0 метрами.

Проанализировав полученные значения можно сказать, что силы морозного пучения присутствуют, но они никак не повлияют на целостность ленточного фундамента. Таким образом заглубляться на расчётную глубину не целесообразно, так как условия надежности выполняются и на данной глубине заложения. Также стоит отметить, что в прошлом году не успели загрузить столбчатый фундамент с монолитным ростверком, и он простоял весь зимний период. При его последующем обследовании в весеннее время деформаций обнаружено не было. Обследование монолитного ростверка представлено на рисунке 56.



Рисунок 56 – Обследование монолитного ростверка на наличие возможных деформаций.

Обследование проводилось с помощью уровня по всему монолитному ростверку, а также отдельно стоящих колонн. Во всех случаях уровень

показывал нормально допустимое значение. Различных трещин и сколов обнаружено не было.

На исследуемом участке №2 деформаций обнаружено не было. В следствие этого можно сказать, что динамика раскрытия трещины отсутствуют за весь период наблюдений за существующими фундаментами. Обследование монолитного фундамента представлено на рисунке 57.



Рисунок 57 – Обследование монолитного фундамента на динамику раскрытия трещины.

Ко второму параметру, который следует учитывать при проектировании - глубина промерзания. В этом случае согласно действующим нормам исследуемые если грунты находятся в зоне промерзания и не относятся к гарантированно не пучинистым, то в первую очередь следует выбрать глубину до подошвы фундамента так, чтобы она была больше максимальной расчетной глубины промерзания грунта. Если это условие не выполнить, то на фундамент будут воздействовать лобовые силы морозного пучения, а это будет означать

почти гарантированный перекося фундаментов (в той или иной степени) в зимний период со всеми вытекающими последствиями.

В нашем случае при проведении инженерно - геологических изысканий выяснилось, что грунты непосредственно под фундаментами подвержены слабому пучению. Однако при непосредственном моделировании ситуации и последующим наблюдением за существующими фундаментами было установлено, что они никак не влияют на их целостность на данной глубине их заложения.

К третьему параметру относится уровень грунтовых вод. Сами по себе они не являются такой уж проблемой для железобетонной конструкции – если опустить ее в чистую воду, то бетон и арматура будет чувствовать себя даже лучше, чем на открытом воздухе.

Опасность грунтовых вод заключается в том, что они делают большинство грунтов сильнопучинистыми. Причем не только ниже уровня грунтовых вод (УГВ) грунты приобретают такие свойства, но и в некоторой толще над УГВ – в пределах капиллярной (морозоопасной) каймы толщиной до 3-3,5 м. Именно эта ситуация и учитывается при расчете глубины заложения фундаментов.

Однако мониторинг показал, что уровень грунтовых вод проходит отметку промерзания 2,9 м в октябре в связи с этим он никак напрямую не влияет на морозное пучение.

В основном это определяется еще тем, что постоянный уровень подземных вод в зимнее время на исследуемых участках проходит в галечниковом грунтовом основании. Однако незначительно влияет на целостность фундаментов, и повышенная влажность грунтового основания в следствии содержания в ней капиллярной влаги.

Проанализировав полученные результаты было установлено, что морозное пучение на глубинах заложения фундаментов исследуемых участков проявляется очень слабо, что также подтверждается согласно таблице 12.

Таблица 12 – Степень пучинистости грунтов т. 3.39 [95].

Наименование грунта по степени морозной пучинистости	Предел положения z, (м) уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания грунта у фундамента				
	Песок мелкий	Песок пылеватый	Супесь	Суглинок	Глина
1	2	3	4	5	6
Сильнопучинистый	-	-	$z \leq 0,5$	$z \leq 1$	$z \leq 1,5$
Среднепучинистый	-	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2,0$
Слабопучинистый	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2,5$	$2,0 < z \leq 3,0$
Практически не пучинистый	$z > 0,5$	$z > 1$	$z > 1,5$	$z > 2,5$	$z > 3,0$

Примечание:

1. Уровень грунтовых вод должен приниматься с учетом прогноза его изменения согласно требованиям пп. 3.17 – 3.20 настоящей главы.
2. Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, содержащим в своем составе более 30% по весу частиц размером менее 0,1 мм, при положении уровня грунтовых вод

ниже расчетной глубины промерзания более чем на 1 м должны относиться к среднепучинистым грунтам, а менее 1 м должны относиться к сильнопучинистым.

Данная таблица позволяет определить степень пучинистости грунтового основания в зависимости от глубины промерзания и уровня грунтовых вод. Также на рисунке 58 представлена схема фактической глубины заложения фундаментов на участке №2.

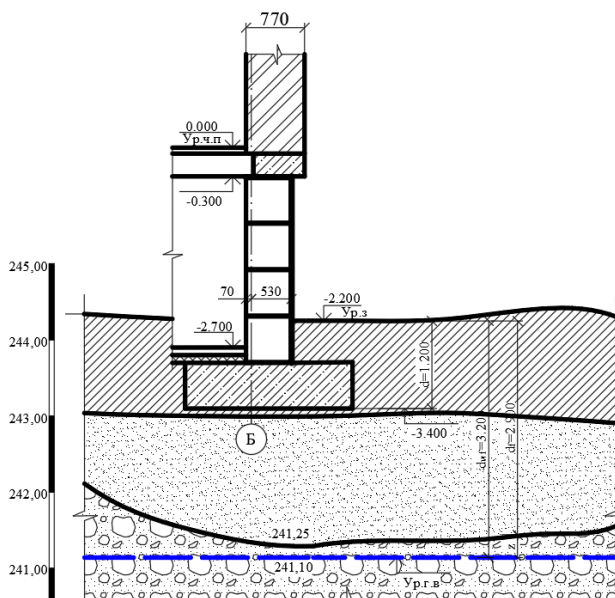


Рисунок 58 – Схема фактической глубины заложения фундаментов на участке №2.

На данном рисунке представлена схема заложения фундаментного основания с глубиной промерзания d_f и уровнем грунтовых вод d_{wf} , представленными на момент проведения инженерно - геологических изысканий с величиной z . Согласно [153] величиной z называют разность между глубиной залегания уровня грунтовых вод и расчетной глубины промерзания грунта.

Данное значение определяется по формуле:

$$z = H_0 - H, \quad (8)$$

где H_0 - расстояние от планировочной отметки до залегания уровня грунтовых вод;

H - расчетная глубина промерзания;

Полученное значение подставляют в таблицу 11 в зависимости от типа грунтового основания и получают степень его пучинистости. Однако стоит учесть, что в осенний и зимний периоды происходит падение грунтовых вод. В связи с этим при проведении мониторинга за УГВ на участке №1 было выявлено, что величина z согласно рисунку 59 будет составлять примерно 0,32 м. Соответственно супесчаные грунты согласно таблицы 11 могли быть пучинистыми, если бы УГВ проходил в этих грунтах. Однако в нашем случае УГВ и максимальная глубина промерзания на участке №1 в зимний период проходит в галечниковом грунтовом основании. В следствии этого сильная динамика морозного пучения отсутствует. Однако в тоже время за счет содержания влаги в грунтовом основании присутствует слабое пучение, которое никак не влияет на целостность несущих конструкций.

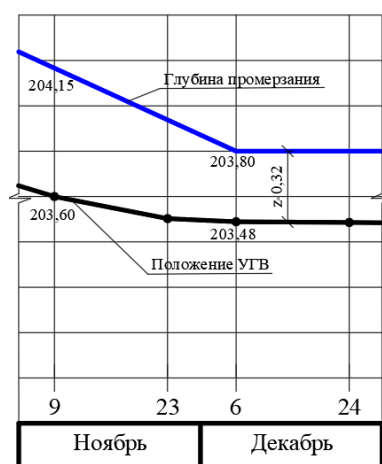


Рисунок 59 – Фрагмент графика динамики промерзания и УГВ в зимний период на участке №1

Подобная ситуация наблюдается и на участке №2. В следствие мониторинга было обнаружено, что величина z согласно рисунку 60 будет составлять примерно 0,60 м.

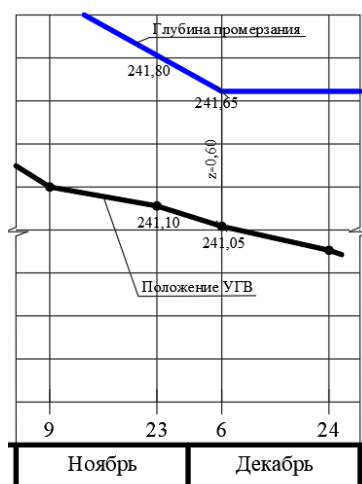


Рисунок 60 – Фрагмент графика динамики промерзания и УГВ в зимний период на участке №2

Соответственно пески пылеватые согласно таблицы 11 получаются слабопучинистыми, что также подтверждается полученными коэффициентами водонакопления. Однако, как и в предыдущем случае УГВ в зимний период сконцентрирован в галечниковом грунте. В следствии этого динамика морозного пучения за счет уровня грунтовых вод отсутствует. Однако в тоже время за счет выпадения осадок в осенний период происходит незначительное замачивание грунтового основания. В следствие этого присутствует незначительное пучение, которое никак не влияет на целостность фундаментов.

Таким образом по степени морозной пучинистости грунт на рассматриваемых участках будет подходить к категории слабопучинистый. Однако небольшое пучение под фундаментным основанием все же присутствует в следствии замачивания грунтового основания осадками в осеннее время, так как фактическая глубина заложения составляет 1,20 м. В следствие этого представленная таблица очень важна, так как позволяет

определить предварительную степень пучинистости грунтового основания, но при создании новых норм проектирования основания ее не включили, что в конечном счете влияет на принятие объективного решения при проектировании фундаментов.

Подобная проблема существует и при принятии глубины заложения фундаментного основания. В особенности если фундаменты находятся в зоне сезонного промерзания грунтового основания. На основании результатов моделирования и коэффициента водонакопления на участке №1 достаточно заглубить фундаменты на отметку 1,65 м для нормального восприятия сил пучения. То же самое применимо к существующим фундаментам на участке №2. Согласно проведенным исследованиям также было принято решение о введении усовершенствованной нормы при расчете глубины заложения фундаментов на песчаных пылеватых грунтах малой влажности в таблице 13.

Таблица 13 – Предложенный вариант таблицы глубины заложения от уровня грунтовых вод.

Грунты под подошвой фундаментов	Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод d_w , м при	
	$d_w \leq d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
1	2	3
Скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности	Не зависит от d_f	Не зависит от d_f
Пески мелкие и пылеватые	Не зависит от d_f	То же
Супеси с показателем текучести $I_L < 0$	То же	«
То же, при $I_L > 0$	«	Не менее d_f
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем при показателе текучести грунта или заполнителя $I_L \geq 0,25$	«	То же
То же, при $I_L < 0,25$	«	Не менее $0,5 d_f$

Данное изменение при зависимости $d_w \leq d_f + 2$ позволяет принимать глубину заложения не зависимо от глубины промерзания в особенности если уровень грунтовых вод находится ниже глубины заложения фундаментов. Также основываясь на картине морозного пучения при данной зависимости надежность фундаментов не нарушается. В связи с этим выбранная глубина заложения в песках пылеватых (фактическая 1,20 м от уровня земли) на участке №2 при данной зависимости выбрана верно, что обосновано мониторингом за состоянием подземных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе поднята и рассмотрена тематика морозного пучения, касающаяся многие регионы России, а также непосредственно Республики Хакасия. Более подробно рассмотрено влияние морозного пучения на фундаменты, основные процессы пучения с примерами существующих зданий и сооружений, где основные деформации произошли в следствии сил морозного пучения. Также был проведен анализ влияния влажности грунтового основания с учетом наблюдения за уровнем грунтовых вод на исследуемых площадках, что в дальнейшем позволило определить степень пучения грунтового основания.

Благодаря наблюдением за динамикой грунтовых вод было установлено, что ее уровень в зимний период находится в гравелистом грунтовом слое и никак не влияет на морозное пучение. В следствие этого было установлено, что основная влага, содержащаяся в грунтовом основании, появилась в связи с осадками дождя или снега.

На основании результатов инженерно - геологических изысканий, а также проведенных исследований по содержанию влаги в грунтовом основании была разработана расчётная модель взаимодействия ленточного фундамента с грунтовым основанием. Фундамент в двух случаях рассматривался как неразрезная балка, лежащая на неравномерно деформирующем упругом основании. В дальнейшем была разработана модель взаимодействия грунтового основания с сооружением, а также напряжением непосредственно под подошвой фундаментов.

В соответствии с разработанной моделью взаимодействия «основание – здание», используя численный метод анализа – МКЭ, установлены силовые факторы, определяющие напряженно – деформированное состояние системы «промерзающее основание – ленточных фундамент», а также основные нагрузки и усилия.

Проведен мониторинг за состоянием существующих ленточных фундаментов с последующим созданием модели поведения при деформациях грунтового основания. В последующем благодаря полученным результатам было установлено, что силы морозного пучения не превышают нагрузки на фундамент и в связи с этим деформации ленточных фундаментов были вызваны осадкой в осенний или зимний период наблюдения в связи с теплой погодой в эти месяцы. Однако при ведении наблюдения за установленными марками в феврале в течении всего периода строительства данного объекта деформаций осадки обнаружено не было.

Благодаря проведенным исследованиям была обоснована глубина заложения фундаментов на участке №2 и разработана новая зависимость глубины промерзания в песках пылеватых. Она позволяет заглублять фундаменты с рассмотренными грунтовыми условиями в зоне сезонного промерзания. Согласно [92] заглублять фундаменты с данными характеристиками нужно не ниже промерзания грунтового слоя.

В дальнейшем для продолжения данной работы следует изучить морозное пучение в лабораторных условиях и сравнить полученные результаты. Также построить экспериментальную модель фундаментного основания малоэтажного здания и провести мониторинг за действием сил морозного пучения с помощью установленных на тело фундаментов датчиков в песчаном основании. Это позволит полноценно подтвердить зависимость, выявленную нами в песчаном грунтовом основании. В целом данная работа подтверждает правильность выбора глубин заложения на исследуемых участках №1 и №2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сажин В. С. Не зарывайте фундаменты в глубину / В. С. Сажин. – М.: АКАпринт, 2003. – 47 с.
2. Невзоров А. Л. Фундаменты на сезонно промерзающих грунтах: учеб. пособие для вузов / А. Л. Невзоров. – М.: изд – во АСВ, 2000. – 153 с.
3. Чернышева И. А. К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения / И. А. Чернышева, А. В. Мащенко // Строительство и архитектура. – 2016. – С. 39 – 46.
4. Тишков Е. В. Промерзание оснований фундаментов зданий и сооружений: причины и последствия / Е. В. Тишков, Ю. Е. Пономаренко, С. С. Роскошный, М. В. Мосин // Строительство. Строительные материалы и изделия. – 2015. - №5. – С. 93 – 99.
5. Кроник Я. А. Противопучинная мелиорация грунтов для повышения надежности и безопасности оснований зданий и сооружений / Я. А. Кроник // Вестник: МГСУ. – Москва, 2010. – Т. 10, № 4. – С. 284 – 292.
6. Халимов О.З. Метод физико-химической противопучинной стабилизации оснований в период строительства при высоком залегании подземных вод: дис. ... канд. технич. наук: 05.23.02: защищена 20.06.89: утв. 23.04.89 / Халимов О.З. – Москва, 1989. – 246 с.
7. Дудзинский В. А. Обзор экспериментальных данных о характере и условиях формирования морозного пучения / В. А. Дудзинский // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2014. - № 6. – С. 400 – 402.
8. Стрельников Д.А. Анализ проведения мелкозаглубленных фундаментов в условиях пучинистых грунтов / Д.А. Стрельников, Д.Г. Портнягин //LXVI Студенческая международная научно – практическая конференция. -2018. - №6. – С. 42 – 55.
9. Горцев А.В. Воздействие касательных сил морозного пучения грунтов в период строительства: дис. ... канд. тех. наук: 05.24.03: защищена 29.06.96: утв.12.11.96 / Горцев Анатолий Владимирович. – Томск, 1998. – 200 с.
10. Сафронов Ю. В. Морозное пучение грунтов и методика полевого определения касательных сил пучения: дис. ... канд. тех. наук: 04.00.07: защищена 26.05.85: утв. 8.10.85 / Сафронов Ю. В. – Москва, 1985. – 185 с.
11. Матвеева М.В. Разработка алгоритма численного исследования морозного пучения грунтов: дис. ... канд. физ - мат. наук: 05.13.18: защищена 10.06.85: утв. 05.11.85 / Матвеева Майя Васильевна. – Якутск, 2009. – 102 с.
12. Голли О. Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02: защищена 14.04.00: утв. 20.10.00 / Голли Ольга Ростиславовна. – Санкт - Петербург, 2000. – 375 с.
13. Медведев С.Н. Технология устройства оснований и фундаментов зданий на сезоннопромерзающих грунтах: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.08: защищена 12.03.06: утв. 15.09.06 / Медведев С. Н. – Москва, 2006. – 200 с.

14. Парамонов М. В. Напряженно-деформированное состояние системы "основание - сооружение" при неоднородном промерзании грунтов: дис. ... кан. тех. наук: 05.23.02: защищена 12.05.13: утв. 20.11.13 / Парамонов Максим Владимирович. – Санкт - Петербург, 2013. – 130 с.
15. Бартоломей И. Л. Прогноз несущей способности основания составного плитного фундамента: дис. ... кан. тех. наук: 05.23.02: защищена 12.05.13: утв. 20.11.13 / Бартоломей И. Л. – Волгоград, 2013. – 166 с.
16. Захаров А.В. Анализ взаимодействия энергоэффективных конструкций фундаментов с грунтовым массивом: дис. ... кан. тех. наук: 05.23.02: защищена 11.05.11: утв. 20.11.11 / Захаров А. В. – Пермь, 2011. – 166 с.
17. Бартоломей Л. А. Прогноз осадок сооружений с учетом совместной работы основания, фундамента и надземных конструкций: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02: защищена 11.05.11: утв. 20.11.11 / Бартоломей Л. А. – Пермь, 2003. – 260 с.
18. Simon Dumai One-dimensional large-strain thaw consolidation using nonlinear effective stress – void ratio – hydraulic conductivity relationships / Simon Dumai, Jean-Marie Konrad // Canadian Geotechnical Journal. – 2017. – 55(3). – P. 301 – 312.
19. Луценко А. К. Экспериментальное моделирование работы фундаментов и выбор проектных решений с помощью экспертных систем: дис. ... кан. тех. наук: 05.23.02: защищена 12.05.11: утв. 20.11.11 / Луценко А. К. – Новочеркасск, 2003. – 210 с.
20. Барменкова Е. В. Напряженно-деформированное состояние здания, фундамента и основания с учетом их совместной работы: дис. ... кан. тех. наук: 05.23.17: защищена 20.05.11: утв. 28.11.11 / Барменкова Е. В. – Москва, 2011. – 138 с.
21. Hideo Inaba Experimental study on thermal properties of frozen soils / Hideo Inaba // Cold Regions Science and Technology. – 2006. – V. 8, Issue 2, P. 181-187.
22. Криворотов А. П. Оценка взаимодействия фундаментов с грунтом и совершенствование методов их проектирования: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02: защищена 20.06.02: утв. 01.12.02 / Криворотов А. П. – Пермь, 2002. – 404 с.
23. Кудрявцев С. А. Расчетно-теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях, промерзающих пучинистых грунтов: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02: защищена 20.05.04: утв. 28.11.04 / Кудрявцев С. А. – Санкт - Петербург, 2004. – 344 с.
24. Абжалимов Р.Ш. Деформирование сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в основаниях малоэтажных зданий и подземных сооружений: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02: защищена 20.05.07: утв. 28.11.07 / Абжалимов Р. Ш. – Томск, 2007. – 381 с.

25. Карлов В. Д. Прогноз величины морозного пучения глинистых оснований фундаментов / В. Д. Карлов, З. Биндэръяа, Б. Батхуяг // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2008. - № 6. – С. 325 – 402.
26. Кудрявцев С.А. Численное моделирование процесса морозного пучения и оттаивания в зависимости от скорости промерзания грунтов / А. Р. Кудрявцев, А. В. Кажарский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. - № 2. – С. 105 – 110.
27. Крамаренко В. В. О структурной прочности слабых грунтов и новых нормативных документах по определению характеристик их механических свойств / В. В. Крамаренко // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2012. - № 3. – С. 242 – 252.
28. Павлов А. Р. Численное моделирование динамики морозного пучения грунта / А. Р. Павлов, М. В. Матвеева // Arctic Environmental research. – 2008. - № 7. – С. 79 – 84.
29. Гробцов Д. Н. Теоретический анализ теплового режима фундаментов и грунтов оснований / Д. Н. Гробцов // Записки Горного института. – 2009. – Т. 181. – С. 20 – 21.
30. Ядовина К. С. О практическом значении определения теплофизических свойств сезоннопромерзающих грунтов / К. С. Ядовина, А. В. Мащенко // Строительство и архитектура. – 2017. – С. 81 – 88.
31. Oleg Khalimov Geotechnical consulting at the stages of design and full repair: a case study of village school in Minusinsk Region, Russia / Oleg Khalimov, Dmitry Strelnikov // AIP Conference Proceedings. – 2017. - № 1899. – С. 20 – 29.
32. Wang T. L. Vibration characteristics of frozen soil under moving track loads / T. L. Wang, Z. R. Yue, T. C. Sun, and J. C. Hua // Sciences in Cold and Arid Regions. – 2015. Vol. 7. С. 407– 413.
33. Вольский В. Инженерно-геологические изыскания площадок строительства для геотехнических и экологических целей / В. Вольский, М. Липинский // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2007. - №11. – С. 165 – 190.
34. Карлов В.Д. Сезоннопромерзающие грунты как основания сооружений: дис. ... доктор тех. наук: 05.3.02: защищена 18.06.98: утв. 19.10.98 / Карлов В. Д. – Санкт – Петербург, 1998. – 349 с.
35. Тугуров Ш.С. Оценка взаимодействия гибкого ленточного фундамента с сезоннопромерзающим пучинистым грунтом основания: дис. ... канд. технических наук: 05.23.02: защищена 17.06.06: утв. 18.10.06 / Тугуров Ш.С. – Санкт – Петербург, 2006. – 149 с.
36. Халимов О.З., Стрельников Д.А. Проведение штамповых испытания в селе Прихольмье / О.З. Халимов // Сборник статей по материалам LXII международной научно – практической конференции / Технические науки – от теории к практике. – Новосибирск, 2016. – Т. 57, № 9. – С. 97 – 108.

37. Кутафин Р. И. Анализ типов фундаментов для малоэтажного строительства в условиях Восточной Сибири / Р. И. Кутафин // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. - № 3. – С. 51 – 58.
38. Горбов А.С. Фундаменты. Стены. Фасады: учеб. / А.С. Горбов. –М.: из – во АСТ, 2008. – 192 с.
39. Платонова А.А. Облегченные фундаменты для малоэтажного жилищного строительства / А.А. Платонова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2013. №1. – С. 42 – 44.
40. Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах: учеб. Пособие / В.А. Ковалев, А.С. Ковалев. – М.: АСВ, 2013. – 515 с.
41. Афанасьев А.А. Современные технологии малоэтажного строительства / А.А. Афанасьев // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. - № 2. – С. 148 – 152.
42. Полищук А.В. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий: научно-практическое пос. / А.В. Полищук. –М.: Ассоциации строительных вузов, 2016. – 104 с.
43. Пилягин А.В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. / А.В. Пилягин. – М.: АСВ, 2011. – 312 с.
44. ВСН 29-85. Проектирование мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных сельских зданий на пучинистых грунтах. - М.,1985 - 47с.
45. Котляков, В.М. Опыт физико-географического районирования Минусинской котловины / В.М. Котляков // Земледелие. – 1963. - №6. – С. 57 – 71.
46. Штеренфельд, Н.С. Исследование влияния морозного пучения на незаглубленные малонагруженные фундаменты под электрооборудование подстанций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1977. - 24 с.
47. Пусков, В.И. Расчет стены неотопливаемого здания с незаглубленными фундаментами на неравномерное поднятие ее морозным пучением грунтов / В.И. Пусков // Инженерно-геологические условия и особенности фундаментостроения при транспортном строительстве в условиях Сибири. — Новоси-бирск, 1977. - С.35 - 44.
48. Сажин В.С. Расчет фундаментов по деформациям пучения/ В.С. Сажин, В.В. Борщев, А.В. Сажин // Совершенствование конструкций и теплотехнических характеристик зданий сельскохозяйственного назначения. - М., 1982. -С. 78-85.
49. Голли, О.Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ВНИИГ им. Веденеева Б.Е. - СПб., 2000. - 45 с.
50. Разработка рекомендаций, позволяющих обеспечить повышение надежности эксплуатаций объектов производственного объединения «Тюментрансгаз» на промерзающих пучинистых грунтах: отчет о НИР/ ЛИСИ:

рук. [и исполн.] Далматов Б.И., Карлов В.Д., Кушнир И.Н. и др. - Л., 1985. - 172с.

51. Карлов, В.Д. О неравномерности морозного пучения грунтов и ее оценке / В.Д. Карлов // Механика грунтов, основания и фундаменты. - Л., 1977. - С. 121 - 130.

52. Кассахун, Б.М. Эффективные фундаменты мелкозаглубленных фундаментов для малоэтажных зданий в условиях Московской области: дис. ... канд. техн. наук. - М., 2004. - 241 с.

53. Абжалимов, Р.Ш. Гипотеза о распределении нормальных сил морозного пучения по подошве твердомерзлого слоя грунта под фундаментами / Р.Ш. Абжалимов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2004. - №1.- 54 с.

54. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения; введ. 01.07.2015. – М.: ОАО НИЦ «Строительство», 2015. – 14 с.

55. Якубсон В.М. Расчет и проектирование конструкций в среде SCAD Office / В.М. Якубсон // Инженерно – строительный журнал. – 2011. - № 6. – С. 3 – 4.

56. Карпиловский В.С. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++: учеб. пособие для вузов/ В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов. – М.: СКАД СОФТ, 2015. – 848 с.

57. Захаров, Н.К. Исследование сопротивления грунтов сдвигу при оттаивании: автореф. дис.. канд. техн. наук.-М., 1951.-12 с.

58. Суханов, Б.И. Исследование прочностных свойств мерзлых грунтов с оттаиванием в полевых условиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Свердловск, 1975. -28 с.

59. Аверочкина, М.В. К вопросу о прочности грунтов при оттаивании / М.В. Аверочкина // Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномёрзлых грунтах: тез. докл. всесоюз. науч.-техн. совещ. - М., 1975. - Т. 2 — С.54 -56.

60. Гольдштейн, М.Н. Деформации земляного полотна и оснований сооружений при промерзании и оттаивании /Гольдштейн М.Н. - М., 1948. - 212 с.

61. Карлов, В.Д. О прочности мерзлого грунта в процессе его оттаивания / В.Д. Карлов, А.В. Дерендяев // Актуальные проблемы прочности материалов и конструкций при низких и криогенных температурах. - СПб., 1995. - С. 18 - 19.

62. Швец В.Б. Фундаменты мелкого заложения на Урале / Швец В.Б. - Свердловск, 1965. - 120 с.

63. Финно Р. Дж. Прогнозирование, мониторинг и контроль перемещений грунта во время экскавации // Развитие городов и геотехническое строительство. 2012. N. 14. С. 187 – 194.

64. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04 – 88; введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2011. - 123с.
65. Салтыков Н.И. Теоретические основы проектирования фундаментов на оттаивающем основании / Н.И. Салтыков. - М.: АН СССР, 1952. - 164 с.
66. Пахомов Г.Я. Основания и фундаменты: учеб. пособие для вузов / Г.Я. Пахомов. – М.: Эксмо, 2010. – 250 с.
67. Миндич, А. Л. Экспериментальные исследования деформативных свойств и несущей способности слоя слабого грунта, подстилаемого жестким основанием: автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1973.- 22 с.
68. Федотов С.И., Строительство в вечномерзлых грунтах: учеб. пособие для вузов / С.И. Федотов, И.Ф. Коперкин, В.И. Андреев. – М.: Высшая школа, 2008. – 220 с.
69. Цытович, Н.А. Основания механики мерзлых грунтов / Н.А. Цытович, М.И. Сумгин. - М.: АН СССР, 1937. - 432 с.
70. Карлов, В.Д. Влияние напряженного состояния на пучинистые свойства грунта и прогноз величины деформаций промерзающего основания мало заглубленного фундамента: учеб. пособие для вузов / В.Д. Карлов, Б. Батхуяг. – М.: Сб. науч. трудов, 1991. – 347 с.
71. Орлов, В.О. Морозоопасные грунты как основания сооружений/ В.О. Орлов [и др.]. - Новосибирск: Наука [Сиб. отд-ние], 1992. - 165 с.
72. Прогноз осадок сооружений, возводимых с применением искусственного замораживания грунтов для крепления стен котлована: сб. науч. тр. /под. ред. Ю.Н. Титов. – Ленинград: Ленингр. инженер.-строит. ин-т, 1958. – 256 с.
73. Karlov V.D. A technique to evaluate heaving properties of soils and verifying its reliability based on field observation data / V.D. Karlov // Proceedings of the 3-d international symposium on field measurements in geotmechanics. – 1991. № 3. – P. 307 – 313.
74. Некоторые опыты по изучению влияния промораживания и последующего оттаивания на прочность глинистых грунтов: матер. по лабор. исследованиям / Е.П. Шушерина, Н.А. Цытович. – Ленинград: Ленингр. инженер.-строит. ин-т, 1957. - 289.
75. Прогноз величины деформации морозного пучения грунтового основания, включающего песчаную подушку, по величине коэффициента морозного пучения подстилающего грунта: сб. науч. тр. / под. ред. З. Биндэръяа. – Улан – батор: МГУ, 1996. – 127 с.
76. Докучаев, В.В. Взаимодействие оттаивающих оснований с фундаментами, рассматриваемыми как составные элементы конструкций зданий/ В.В. Докучаев, Л.И. Неймарк, А.И. Золотарь // Оттаивающие грунты как основания сооружений. -1981.-№ 2 - С.14 - 20.
77. Промерзание грунтов по глубине промерзающих грунтов: сб. науч. тр. / под.ред. А.С. Тулибекова – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2011. – 238 с.

78. Перетрухин, Н.А. Взаимодействие фундаментов с промерзающим пучинистым основанием / Н.А. Перетрухин // Морозное грунтов и способы защиты сооружений от его воздействия. - 1967. - №1. - С.74 - 92.
79. Пономарев, В.Д. Проблемы механики оттаивающих грунтов и пути их решения / В.Д. Пономарев // Оттаивающие грунты как основания сооружений. - 1981. - №4. - С.5-13.
80. Колесов, А.А. Исследование работы гибких фундаментов на оттаивающих вечномерзлых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.02: защищена 06.04. 1973: утв. 16. 11. 1973 Колесов А. А. - М., 1973. - 28 с.
81. Ким Х.Ч. Совершенствование методов расчета глубины сезонного промерзания пучинистых грунтов земляного полотна железнодорожного пути: тореф. дис. ... кан. тех. наук: 05.23.11 Ким Хюн Чол. – М., 2013. – 24 с.
82. Сальников, П.И. Устойчивость фундаментов зданий на мерзлых грунтах в Южном Забайкалье: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 04.00.07: защищена 01.02. 1996: утв. 15.06.1991 Сальников Павел Иванович. – М., 1996. – 29 с.
83. Салтыков Н.И. Теоретические основы проектирования фундаментов на оттаивающем основании: пос. / Н.И. Салтыков. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 164 с.
84. Жакапбаева Г.А. Совершенствование приемов проектирования сооружений оросительных систем на просадочных грунтах по совместным предельным деформациям: автореф. Дис. ...канд. тех. наук: 05.23.07: защищена 28.06. 2001: утв. 13.10.2001 / Жакапбаева Гульназ Абсадыковна. – Москва, 2001. – 164 с.
85. Мустафаев, А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах: учеб. пособие для студентов строит, спец. вузов / А.А. Мустафаев - М.: Высш. шк., 1989. – 590 с.
86. Шагин, П.П. Прочность сборных конструкций на просадочных грунтах: пос. /П.П. Шагин. – М.: Гостройиздат, 1963. – 120 с.
87. Косицын, Б.А. Статический расчет крупнопанельных и каркасных зданий: учеб. / Б.А. Косицын. – М.: Стройиздат, 1971. – 215.
88. Rempel A.W. Formation of ice lenses and frost heave / A. W. Rempel // Earth Surface. – 2007. - № 2. – P. 70-76.
89. Craig H. Isotopic variation in meteoric water / H. Craig // Science. – 1961. – V. 133. – P. 175 – 178.
90. Юшков Б.С. Обустройство фундаментов нефтедобывающих установок / Б.С. Юшков // Наукоеведение. – 2014. - №5. – 1 – 11.
91. Боровой Е.П. Теоретическое обоснование передвижение влаги в почве / Е.П. Боровой // Дальневосточный аграрный вестник. – 2014. - № 4. С. 17 – 20.
92. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01 – 83*; введ. 01.07.2017. – М.: ФГУП ЦПП, 2016 – 220 с.

93. Khalimov Oleg Soil – Struc. Inter. Underg. Struct. and Reta. Wal. Methods of Research on Frost Heave of Soil and Foundation – Freezing Soil Bulk Interaction in Terms of Seasonal Deep Frost Penetration including Areas of Pressure Migration. – 2014. - №1. - P. 133.
94. ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения; введ. 01.07.13. – М.: ФГУП ЦПП, 2013. – 44 с.
95. Руководство по проектированию зданий и сооружений: пос. к СНиП – М.: НИИ им. Герсееванова Госстроя СССР, 1978. – 367 с.
96. Чернышева И.А. К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения / И.А. Чернышева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2016. - №2. – 39 -45.
97. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / Произв. и НИИ по инж. изысканиям в стр-ве. - М.: Стройиздат, 1986. - 72 с.
98. Хаустова, М.Н. Природа Минусинской котловины: автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 02.21.01 / Хаустова Мария Николаевна – М., 1968. – 20 с.
99. Головкин, Д.А. Минусинская котловина. Природные и экономические ресурсы и их использование: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 02.21.01 / Головкин Дмитрий Алексеевич – М., 1958. – 16 с.
100. Елисеев Н.А. Геотехнический консалтинг на этапе строительства и эксплуатации зданий и сооружений: дис. ... магист: 08.04.01: защищена 28.06.18: утв. 22.06.18 . Елисеев Н.А. – Абакан, 2018. – 73 с.
101. Ухов, С.Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов: учебн. пособие / С.Б. Ухов. – М.: Высшая школа, 1973. - 118 с.
102. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике: учеб. пособие / О.К. Зенкевич. - М.: МИР, 1975. - 541 с.
103. Рогозина Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения: учеб. пособие / Л.А. Розин. – М.: ГТУ, 1998. - 530 с.
104. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов: учеб. пособие / А.Б. Фадеев. - М.: Недра, 1987. - 220 с.
105. Светашков А.А. О решении плоских задач теории упругости с помощью диаганализированной системы уравнения равновесия / А.А. Светашков // Вычислительные технологии. – 2007. - №3. – С. 87 – 108.
106. Yamashita K. Recent case histories on monitoring settlement and load sharing of piles rafts in Japan / K. Yamashita, T. Yamada // Deep foundation on border and auger piles. – 2009. - №2. – P. 119 – 126.
107. Барменкова Е.В. Моделирование системы здание – фундамент – основание двухслойной балки на упругом основании с переменным коэффициентом постели / Е.В. Барменкова, А.В. Матвеева // Вестник МГСУ. – 2013. - №1. – С. 201 – 208.
108. Андреев В.И. Изгиб двухслойной балки на упругом основании с учетом массовых сил / В.И. Андреев, Е.В. Барменкова // XVIII Polish – Russian

– Slovak Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering». – 2009. – С. 51 – 56.

109. Алексеев С.И. Учет жесткостных параметров зданий при расчетах оснований и фундаментов / С.И. Алексеев, В.С. Камаев // Вестник ТГАСУ. – 2007. - №3. – С. 165 – 172.

110. Панасюк Л.П. Новые виды свай / Л.П. Панасюк, В.Ф. Акопян // Инженерный вестник Дона. – 2011. - №4. – С. 215 – 219.

111. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании: науч. издание / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – М.: Стройиздат, 1984 – 680 с.

112. Алехин А.Н. Краткая характеристика моделей грунта / А.Н. Алехин // Академический вестник УралНИИпроект. – 2011. - №1. – С. 75 – 79.

113. Никулин А.В. Механика грунтов: учебное пособие / А.В. Никулин – М.: ВятГУ, 2006. – 151 с.

114. Пыщев, Н.Ф. Исследование распределения морозного пучения в плане: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Н.Ф. Пыщев. – М., 1974. – 23 с.

115. Карлов, В.Д. О неравномерности морозного пучения грунтов и ее оценке/ В.Д. Карлов // Механика грунтов, основания и фундаменты: сб. науч. тр. /Ленингр. инженер. строит. ин-т. – Ленинград, 1977. – С. 121 – 130.

116. Штеренфельд, Н.С. Исследование влияния морозного пучения на незаглубленные малонагруженные фундаменты под электрооборудование подстанций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 04.23.01 /Н.С. Штеренфельд. – М., 1977. – 24 с.

117. Орлов, В.О. Криогенное пучение тонко дисперсных грунтов: науч. изд. / В.О. Орлов. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. - 188 с.

118. Голли О.Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов: методы получения и использования их при проектировании зданий и аэродромов [электронный ресурс] // Реконструкция городов и геотехническое строительство. Интернет - журнал, 2001. - №4. « <http://www.georec.spb.ru/new.htm>» (12.11.2005).

119. Мельников, Б.Н. Исследование послонных деформаций глинистых грунтов при их промерзании / Б.Н. Мельников // Исследование работы оснований и фундаментов промышленных зданий и сооружений: сб. науч. тр. / Уралпромстройниипроект. – Свердловск, 1969. – С. 50 – 57.

120. Алексеев А.Г. Определение горизонтального давления грунта на подпорные стены при сезонном промерзании – оттаивании: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.08: защищена 18.06.06: утв. 11.11.05 / Алексеев А.Г. – Москва, 2006. – 158 с.

121. Максименко Е.В. Воздействие морозного пучения грунта на подпорные стенки гидротехнических сооружений \ Е.В. Максименко, С.Н. Левачев // Вестник МГСУ. – 2010. - №2. – С. 331 – 338.

122. Бредюк, Г.П. Результаты исследования процесса пучения связных грунтов при промерзании / Г.П. Бредюк // Материалы по физике и механике мерзлых грунтов: сб. науч. тр. – М.: Высш. Шк., 1959. – С.56 – 72.
123. Далматов, Б.И. Устройство газопроводов в пучинистых грунтах: сб. науч. тр. / Б.И. Далматов, В.С. Ласточкин – М.: Недра, 1978. – 199 с.
124. Киселев, М.Ф. Предупреждение деформации грунтов от морозного пучения: сб. науч. тр. /М.Ф. Киселев. – М.: Стройиздат, 1985. – 130 с.
125. Оценка надежности оснований при промерзании и оттаивании грунтов: 38 – 42 / отчет о НИР/ ЛИСИ; рук. В.Д. Карлов ; исполн. : Далматов Б.И., Макаров С.П., Дерендяев А.В. - М., 1990.
126. Пыщев, Н.Ф. Экспериментальные исследования неравномерности морозного пучения массива промерзающих грунтов оснований зданий и сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 04.21.02 / М.Ф. Пыщев. – М., 1982. – 23 с.
127. Разработка рекомендаций, позволяющих обеспечить повышение надежности эксплуатаций объектов производственного объединения «Тюмен-трансгаз» на промерзающих пучинистых грунтах: 110 – 115 / Отчет о НИР/ ЛИСИ; рук. Б.И. Далматов ; испол.: Карлов В.Д., Кушнир И.Н. – М., 1985.
128. Швец В.Б. Надежность оснований и фундаментов: сб. науч. тр. / В.Б. Швец, Б.Л.Тарасов, Н.С. Швец. – М.: Стройиздат, 1980. – 158 с.
129. Пыщев, Н.Ф. Распределение морозного пучения в массиве промерзающего грунта // Основания и фундаменты: сб. науч. тр. – М.: Высшая шк., 1978. – С. 73 - 77.
130. Гарагаш Б.А. Надежность стохастических пространственных систем сооружений и оснований при неоднородных деформациях оснований: дис. ... докт. тех. наук: 05.23.02: защищена 23.06.01: утв. 16.03.01 / Б.А. Гарагаш. – Волгоград, 2001. – 519 с.
131. Орлов, В.О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений: сб. науч. тр. / В.О. Орлова Ю.Д. Дубнов, Н.Д. Меренков. – М.: Стройиздат, 1977. – 184 с.
132. Шалагин, А.П. Исследование влияния морозного пучения элювиальных крупнообломочных грунтов на устойчивость фундаментов зданий и сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / А.П. Шалагин. – М., 1970. – 19с.
133. Потапов, Б.А. Влияние теплового режима здания на промерзание грунтов / Б.А. Потапов // Рациональные методы устройства фундаментов в районах глубокого сезонного промерзания грунтов: сб. науч. тр. / Ленингр. инженер.-строит. ин-т. – Ленинград, 1964. – С. 58 – 70.
134. Рабинович, И.Г. Исследование глубины промерзания грунтов у отапливаемых зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / И.Г. Рабинович. – М., 1968. – 24 с.
135. Соколов, Д.А. О глубине заложения фундаментов на пучинистых грунтах в условиях Латвийской ССР: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.25.01 / Д.А. Соколов. – М., 1957. – 22 с.

136. Лукьянов, В.С. Расчет глубины промерзания грунтов: сб. науч. тр. / В.С. Лукьянов, М.Д. Головкин. – М.: Высш. Школа, 1957. – 164 с.
137. Коновалов А.А. Определение сил морозного пучения по упрощенной схеме / А.А. Коновалов, Н.В. Браман // Исследование конструкций и технологии устройства фундаментов, возводимых в сложных грунтовых условиях Сибири. – Красноярск, 1988. – С. 38 – 47.
138. Лаухин С.А. О мерзлотных деформациях в верхнечетвертичных аллювиальных отложениях Енисея в Южно – Минусинской впадине / С.А. Лаухин, В.В. Фениксова // Вестн. Моск. ун – та. Сер. 4. Геология. – 1977. - №4 – С. 45 – 50.
139. СП 22.13330. 2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01 – 83*; введ. 01.07.17. – М.: Минрегион России, 2016. – 161 с.
140. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. – Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*; введ. 30.06.12. – М.: Минрегион России, 2012. – 109 с.
141. Мацеля В.И. Сравнительный анализ параметров конечно – элементных моделей грунтов, полученных численными методами / В.И. Мацеля, И.Н. Сеелев, А.В. Леконцев // Технические и естественные науки. – 2017. - №1. – С. 23 – 31.
142. Калинин И.С. Геодезический мониторинг осадок зданий и сооружений на территории нефтегазодобывающего комплекса / И.С. Калинин, Е. Н. Купреева, И. Р. Бикашев // Омский научный вестник. – 2008. - №1. – С. 94 – 97.
143. Ройтман А.Г. Деформации и повреждения зданий: учеб. пос. для вузов / А.Г. Ройтман. – М.: Стройздат, 1987. – 160 с.
144. Калинин В.М. Оценка технического состояния здания: учеб. пособие для вузов / В.М. Калинин, С.Д. Сокова – М.: НИЦ ИНФРА – М, 2006. – 268 с.
145. Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия: учеб. пособие для вузов / В.Т. Гроздов – М.: АСВ, 2007. – 134 с
146. Плевков В.С. Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций зданий: учеб. пособие для вузов / В.С. Плевков – М.: из-во ТГАСУ, 2010. – 314 с.
147. Матросова Д.С. Методы защиты фундаментов от морозного пучения в условиях глубокого сезонного промерзания и вечной мерзлоты / Д.С. Матросова, В.В. Фурсов, М.В. Балюра // 61 – ая университетская научно – техническая конференция студентов и молодых ученых. – 2015. - №1. – С. 277 – 284.
148. Bring ittle Van Vliet – Lanoë. The significance of cryoturbation phenomena in environmental reconstruction / Bring ittle Van Vliet – Lanoë // Journal of Quaternary Science. – USA, 1998. - №3. – P. 85 – 89.

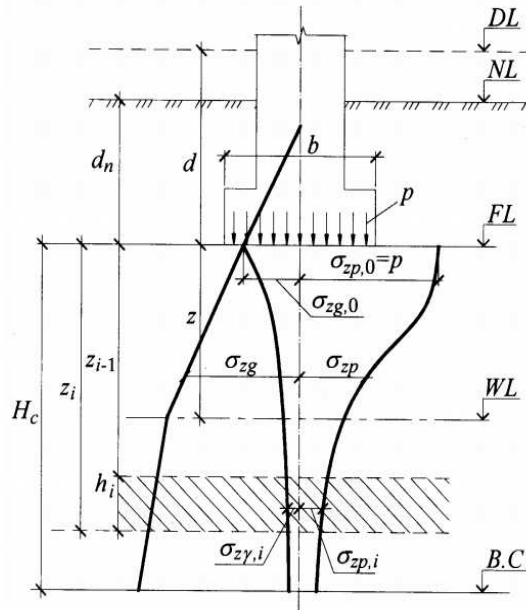
149. Bing Hui. Frost heave and bry density changes buring cyclic freeze – thaw of a silty clay / Bing Hui, He Ping // *Permafrost and Periglacial Processe.* – USA, 2009. - №2. – P. 65 – 70.
150. Строкова Л.А. Научно – методические аспекты создания расчетных моделей грунтовых оснований / Л. А. Строкова // *Известие томского политехнического института.* – 2010. - № 12. – С. 151 – 156.
151. СП 126.1330.2017 *Геодезические работы в строительстве.* Актуализированная редакция СНиП 3.01.03 – 84; введ. 25.04.2018. – М.: ФГУП ЦПП, 2013. – 80 с.
152. Халимов О.З. Разработка системы геотехнических экспертиз на этапах жизненного цикла недвижимости / О.З. Халимов, А.В. Житенев // *Вестник Хакасского технического института – филиала ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».* – 2010. – №1 – С. 99 – 106.
153. МДС 13 – 22.2009 *Методика геодезического мониторинга технического состояния зданий и сооружений* / ООО «Тектоплан».–М.: ОАО «ЦПП», 2010.–76 с.
154. Максименко Л.А. Современные методы мониторинга технического состояния здания / Л.А. Максименко // *Интерэкспо Гео – Сибирь.* – 2015. – Т. 10 – С. 166 – 170.
155. *Геодезический мониторинг строительных объектов г. Новосибирска: сб. материалов в 6 т.* / под ред. Л.А. Максименко, А.В. Лубягин. – Новосибирск: СГГА, 2007. – 438 с.
156. Paulus Rahardjo *Introduction to Plasticity and Mohr – Coulomb Model* / Rahardjo Paulus // *International Course on Computational / Civil Engineering Department.* – Bandung, 2010. – № 2. 1 – 26.
157. Paulus Rahardjo *Finite Element Modelling in Geotechnical Engineering* / Rahardjo Paulus // *International Course on Computational / Civil Engineering Department.* – Bandung, 2010. – № 1. 1 – 37.
158. William Cheang Rahardjo Paulus *Structural Elements in Plaxis* / William Cheang // *International Course on Computational / Civil Engineering Department.* – Bandung, 2010. – № 6. 1 – 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РАСЧЕТ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ

Для основания, сложенного нескальными грунтами расчет по деформациям является необходимым. Полученные значения в результате расчета сравнивают с предельно допустимыми, приведенным в т. Д.1 [92].

Осадку фундаментов определяем методом элементарного суммирования. Для этого строим эпюры вертикальных напряжений от действия собственного веса грунта и вспомогательной (рисунок А.1).



DL — отметка планировки; NL — отметка поверхности природного рельефа; FL — отметка подошвы фундамента; WL — уровень подземных вод; $B.C$ — нижняя граница сжимаемой толщи; d и d_n — глубина заложения фундамента соответственно от уровня планировки и поверхности природного рельефа; b — ширина фундамента; p — среднее давление под подошвой фундамента; σ_{zg} и $\sigma_{zg,0}$ — вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине z от подошвы фундамента и на уровне подошвы; σ_{zp} и $\sigma_{zp,0}$ — вертикальное напряжение от внешней нагрузки на глубине z от подошвы фундамента и на уровне подошвы; $\sigma_{z\gamma,i}$ — вертикальное напряжение от собственного веса вынутаго в котловане грунта в середине i -го слоя на глубине z от подошвы фундамента; H_c — глубина сжимаемой толщи

Рисунок А.1 – Схема распределения вертикальных напряжений в линейно – деформируемом полупространстве.

Для построения эпюр σ_{zp} и σ_{zg} сжимающую толщину грунта ниже основания фундамента разбиваем на элементарные слои мощностью h_i , так, чтобы выполнялось условие: $h_i = 0,4 \cdot b$, при $b = 2,2$ м, $h_i = 0,4 \cdot 2,2 = 0,88$ м.

Принимаем $h = 0,35$ м, чтобы показать более наглядно эпюры действующих напряжений.

Определяем вертикальное напряжение от собственного веса грунта в уровне подошвы фундамента:

$$\sigma_{zg,0} = d \cdot \rho_1, \tag{A.1}$$

где d – глубина заложения фундамента, м;

ρ_1 – плотность суглинка, залегающего под подошвой фундамента, т/м³.

$$\sigma_{zg0} = 1,2 \cdot 1,60 = 1,92 \text{ т/м}^2$$

Вертикальное напряжение от собственного веса грунта σ_{zg} на границе слоя, расположенного на глубине z от основания фундамента, определяем по формуле:

$$\sigma_{zgi} = \sigma_{zg0} + \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot h_i, \quad (\text{A.2})$$

где ρ_i - удельный вес i -го слоя грунта;

h_i - толщина i -го слоя грунта.

Определение вертикального эффективного напряжения на уровне подошвы фундаментов для слоев высотой h_i :

1. $\sigma_{zg1} = 1,92 + 1,6 \cdot 0,35 = 2,48 \text{ м}$

2. $\sigma_{zg2} = 2,48 + 1,6 \cdot 0,35 = 3,04 \text{ м}$

3. $\sigma_{zg3} = 3,04 + 1,6 \cdot 0,35 = 3,60 \text{ м}$

4. $\sigma_{zg4} = 3,60 + 1,6 \cdot 0,35 = 4,16 \text{ м}$

5. $\sigma_{zg1} = 4,16 + 1,6 \cdot 0,35 = 4,72 \text{ м}$

Определяем дополнительное давление на основание фундаментов по формуле:

$$\sigma_0 = \sigma - \sigma_{zg0}, \quad (\text{A.3})$$

где σ - среднее давление под основанием фундаментов;

σ_{zg0} - вертикальное напряжение от собственного веса грунта в уровне основания фундаментов.

$$\sigma_0 = 26,46 - 1,92 = 24,59 \text{ т/м}^2$$

Рассчитываем дополнительные напряжения σ_{zp} на глубине z ниже уровня основания по вертикали, проходящей через центр основания фундамента по формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot \sigma_0, \quad (\text{A.4})$$

где α - коэффициент, принимаемый по таблице 55 [92] в зависимости от формы загруженной площади;

σ_0 - дополнительное давление на основание фундаментов.

Определение дополнительных напряжений на глубине z ниже уровня основания:

1. $\sigma_{zp1} = 0,96 \cdot 24,59 = 23,60 \text{ т/м}^2$

2. $\sigma_{zp1} = 0,83 \cdot 24,59 = 20,41 \text{ т/м}^2$

3. $\sigma_{zp1} = 0,71 \cdot 24,59 = 17,45 \text{ т/м}^2$

4. $\sigma_{zp1} = 0,59 \cdot 24,59 = 14,51 \text{ т/м}^2$

5. $\sigma_{zp1} = 0,54 \cdot 24,59 = 13,28 \text{ т/м}^2$

Результаты природных и дополнительных давлений σ_{zp} и σ_{zg} сводим в единую схему расчета осадок с использованием расчетной схемы основания в виде линейнодеформируемого слоя – рисунок А.2.

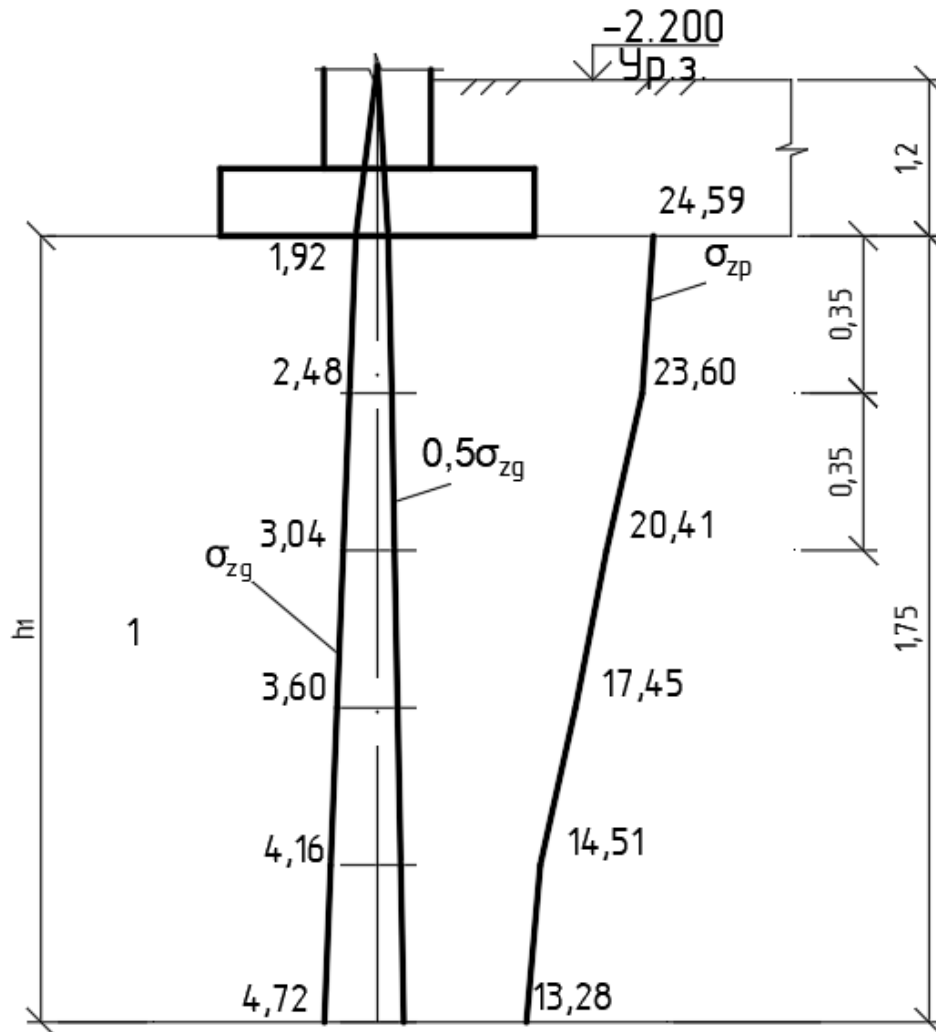


Рисунок А.2 – Схема расчета осадок с использованием расчетной схемы основания в виде линейно деформируемого слоя.

Расчет осадки основания выполняется с целью установления соответствия требованиям, при которых конечная осадка основания и относительная разность осадок не должны превышать предельно допустимых значений, принимаемых по таблице Д.1 приложения Д [92] в зависимости от типа сооружения:

Сжимающую толщину по высоте разбиваем на слои таким образом, чтобы в пределах каждого слоя был грунт одинаковой сжимаемости. Осадку каждого такого слоя определяем по формуле:

$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zpi} \cdot h_i}{E_i}, \quad (\text{A.5})$$

где $\beta = 0,8$ – безмерный коэффициент для метода послойного суммирования;

σ_{zpi} – среднее значение нормального дополнительного вертикального напряжения в i слое грунта, т/м²;

h_i – толщина i слоя грунта, м;

E_i – модуль деформации i слоя грунта; $E = 4 \text{ МПа} = 400 \text{ т/м}^2$.

$$S = 0,8 \cdot \frac{0,96 + 1,24 + 1,52 + 1,8 + 2,08 + 2,36}{400} = 0,021 \text{ м} = 2,1 \text{ см}$$

Проверяем выполнение условия $S \leq S_u$:

$$S = 2,1 \leq 12 \text{ см}$$

Условие осадки ленточных фундаментов выполняется.

Магистерская диссертация выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в _____ 1 _____ экземплярах.

Библиография _____ 158 _____ наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

«28» июня 2019г.

(подпись)

(Ф.И.О.)


Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия

«22» 06 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование вариантов фундаментов в малоэтажном строительстве на
пучинистых грунтах
тема

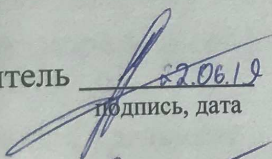
08.04.01 Строительство

код и наименование направления подготовки

08.04.01.03 «Теория и проектирование зданий и сооружений»

код и наименование магистерской программы

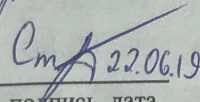
Научный руководитель

 22.06.19
подпись, дата

К.Т.Н., доцент
должность, учёная степень

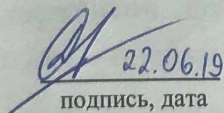
О.З. Халимов
инициалы, фамилия

Выпускник

 22.06.19
подпись, дата

Д.А. Стрельников
инициалы, фамилия

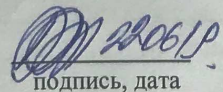
Рецензент

 22.06.19
подпись, дата

Главный по комплексу
ИЗМЕРЕНИЙ ИМ
должность, учёная степень

Д.Ю. Сагалаков
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 22.06.19
подпись, дата

К.Т.Н., доцент
должность, учёная степень

Г.Н. Шибаева

Абакан, 2019