

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи

ШЕСТАКОВ ИЛЬЯ ВИКТОРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ЗАЩИТЫ ОСНОВАНИЙ
ФУНДАМЕНТОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СЕЗОННО
ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ**

2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук, профессор
Кудрявцев С.А.

Хабаровск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1	МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ	13
1.1	Влияния морозного пучения на фундаменты малонагруженных зданий и сооружений	13
1.2	Защитные мероприятия по снижению воздействия морозного пучения на малонагруженные здания и сооружения	18
1.3	Влияние внешних температурных воздействий на глубину промерзания грунта	25
1.4	Сезонно промерзающие грунты южных районов Дальнего Востока	30
1.5	Выводы и направление исследований	43
ГЛАВА 2	МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОСНОВАНИЙ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	45
2.1	Методика расчета толщины теплоизоляции основания малонагруженных фундаментов	45
2.2	Порядок определения эффективности защитных мероприятий промерзающих оснований малонагруженных зданий и сооружений	49
2.3	Лабораторные исследования по взаимодействию пучинистого грунта с моделью малонагруженного фундамента при промерзании	53
2.4	Расчет процессов промерзания оснований фундаментов в программном комплексе FEM models с применением модуля «Termoground»	59
2.5	Исследование температурного режима грунтов	63
2.6	Решение теплофизической задачи численными методами	68
2.7	Определение влажности грунтов в программе «Termoground»	70
2.8	Выводы по главе 2	74
ГЛАВА 3	ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТА ЛЕГКОНАГРУЖЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ	76
3.1	Определение характеристик оснований методом сейсмозондирования	76
3.2	Исследование температурного взаимодействия промерзающего грунта с фундаментом	81
3.3	Влияния защитных мероприятий на деформации фундамента	87
3.4	Определение деформации фундаментов при воздействии морозного пучения в программе «Termoground»	89
3.5	Сравнения результатов натурных наблюдений и численного моделирования изменений температурного режима	90
3.6	Выводы по главе	94
ГЛАВА 4	ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕГКОНАГРУЖЕННОГО ОБЪЕКТА	95
4.1	Информация об объекте исследования	95
4.2	Численное моделирование при решении теплофизической задачи в программном модуле «Termoground»	101
4.3	Решение задачи НДС с определением перемещения фундаментов	109
4.4	Выводы по главе 4	111
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	115
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. АКТ О ВНЕДРЕНИИ	128
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. АКТ О ВНЕДРЕНИИ	129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Значительную часть территории застройки городов и производственных объектов составляют малонагруженные здания и сооружения: технологические эстакады, эстакады слива и налива топлива, открытые насосные, открытые складские площадки объекта, станции весового контроля, трансформаторные подстанции и другие объекты. Несмотря на то, что малонагруженные здания и сооружения относятся к вспомогательным объектам, от их технического состояния зависит безопасность производства. В случае предаварийного состояния малонагруженного объекта выполнение срочных ремонтных работ зачастую невозможно, вследствие специфики технологии производства и связано с необходимостью проведения земляных или огневых работ, или остановкой производства, что является невозможным в технологическом цикле для объектов топливно-энергетического и транспортного комплекса. В подобных случаях применяют компенсационные мероприятия, направленные на стабилизацию технического состояния объекта, получившего повреждения. Тем не менее, сами компенсационные мероприятия эффективны только для надземной части объектов. Работы для стабилизации технического состояния фундамента требуют проведения земляных работ. При этом в зависимости от инженерно-геологических условий в большинстве южных районов Дальнего Востока России стоимость составляет 25-45% общих затрат от устройства нового фундамента. Исходя из этого, проблема снижения затрат на защиту оснований фундаментов малонагруженных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах от негативных процессов морозного пучения является актуальной.

При сезонном промерзании грунтов фундаменты, имеющие глубокое заложение, испытывают действующие на них нормальные и касательные силы от морозного пучения. Воздействия на фундамент нагрузок от морозного пучения в районах с глубоким сезонным промерзанием достигают 100 кН/м^2 на отдельно стоящий фундамент, при этом величина воздействия превышает вес от надфундаментных конструкций малонагруженных зданий и сооружений.

Сезонные перемещения грунта при пучении составляют 5-20 см. На устойчивость малонагруженных объектов в сезонно промерзающих пучинистых грунтах оказывают влияние физико-механические характеристики грунтового массива и климатические характеристики.

В процессе строительства и последующей эксплуатации здания происходит изменение физико – механических характеристик грунтов, расположенных под подошвой фундамента, в наиболее напряженном несущем слое. Одной из основных причин изменения характеристик грунтов на территории объектов топливно-энергетического комплекса и транспорта является проникновение в грунт нефтепродуктов и значительного количества воды в процессе эксплуатации оборудования. В процессе наступления устойчивых положительных температур промороженный массив грунта подвергается разуплотнению, при этом наблюдается снижение несущей способности в 2 - 7 раз, поскольку грунт переходит в пластичное состояние.

В практике строительства на пучинистых основаниях для обеспечения устойчивости фундаментов приняты следующие мероприятия: устройство глубины заложения фундамента ниже глубины промерзания и обеспечение нагрузок на фундамент больше величины сил морозного пучения. Но для малонагруженных (легких) зданий и сооружений применение подобных мероприятий не обеспечивает их устойчивость при пучении грунта, поскольку вследствие воздействия касательных сил происходят неравномерные деформации. Устройство фундаментов глубокого заложения ($d > d_f$) малонагруженных зданий и сооружений способствуют развитию неравномерных перемещений фундаментов при накоплении остаточных деформаций, поскольку осадка фундамента после прекращения воздействия отрицательных температур на грунт не обеспечивает величину осадки, равную выпучиванию.

Степень разработанности темы

Разработка способов защиты морозоопасных оснований фундаментов малонагруженных зданий и сооружений производственных объектов развернулось во второй половине XX века и связана с исследованиями

температурных процессов и изменениями физико-механических свойств грунта, и, как следствие, разрабатываемыми способами защиты гражданских объектов. В нашей стране применение защитных мероприятий морозоопасных оснований фундаментов начато с 70 – х годов, однако широкого распространения не получили из-за особенности организации строительного производства в СССР, ориентированного на заводское изготовление строительных конструкций, а также значительной доли железобетонных конструкций в строительстве. В Российской Федерации разработка защитных мероприятий для морозоопасных грунтов оснований фундаментов малонагруженных зданий и сооружений получила развитие после 2000 года и связана с широким развитием строительства, модернизации, реконструкции и капитальных ремонтов. В ходе проектирования и строительства малонагруженных объектов в морозоопасных грунтах применяются различные виды инженерной защиты по снижению влияния морозного пучения.

В рамках критического анализа опыта проектирования и применения защитных мероприятий оснований фундаментов малонагруженных объектов в морозоопасных грунтах как в Российской Федерации, так и за рубежом, можно выявить основные положения по их защите:

1. Применение мероприятий по снижению негативного влияния воздействия морозного пучения на боковую поверхность или на пятку фундамента не уменьшает величину вертикального перемещения фундамента вследствие значительной величины нормальных и касательных сил, уравнивание которых возможно только при наличии равных нагрузок от надфундаментных конструкций.

2. Вследствие того, что бетон фундамента является мостиком холода, возможно промерзание грунта по телу фундамента вне зависимости от глубины его заложения. Применение конструктивных мероприятий, в частности анкеров, препятствует вертикальному перемещению фундаментов, тем не менее труднореализуемо при усилении фундаментов эксплуатируемых объектов

вследствие промерзания грунта по телу бетона на всю глубину устройства фундамента.

3. В рассматриваемых источниках мероприятия, связанные с защитой фундаментов от воздействия морозного пучения, указывается новое строительство. В то же время не рассматривается применение мероприятий для действующих объектов при реконструкции или компенсационные меры при наличии признаков затруднения эксплуатации зданий и сооружений вследствие деформации фундаментов от морозного пучения.

4. В действующих рекомендациях отсутствуют ссылки на использование численного моделирования при проектировании, реконструкции и обследовании технического состояния в связи с возможностью более детального исследования вопроса устройства фундаментов малонагруженных зданий и сооружений в пучинистых грунтах.

Теоретические и экспериментальные работы по исследованию оснований фундаментов в сезонно промерзающих пучинистых грунтах осуществляли Е.С. Ашпис, В.В. Веселов, Л.Б. Ганеллис, О.Р. Голли, Б.И. Далматов, В.Д. Э.Д. Ершов, И.А. Золотарь, А.И. Иванов, Карлов, Я.А. Кроник, В.А. Кудрявцев, С.А. Кудрявцев, В.В. Лушников, В.Г. Меламед, В.А. Мельников, Н.Н. Морарескул, А.Л. Невзоров, О.Р. Оржеховский, В.О. Орлов, В.Н. Парамонов, М.В. Парамонов, Б.Г. Петров, Н.А. Пузаков, А.М. Пчелинцев, Н.Ф. Пыщев, И.И. Сахаров, В.М. Улицкий, Н.А. Цытович, В.Б. Швец, П.Ф. Швецов, В.Н. Шестаков, а также зарубежные исследователи: AlNouri, I., Aldrich, H.P., Andersland, O, Croy, F.C., Croney, D., Comini, G.M., Fish, A.M, Guidice, Del S., Kaplar, C.W., Konrad, J.M., Ladanyi, B., Lennox, W.C., Linell, K.A., Nixon, J.F., Pike, C. W., Saurin, B. F., Sayles, F., Spenser, W.G., Sykes, J.F., Wechsler A.E., Wu Ziwang, Zhang Changqing и многие другие ученые.

Анализ работ ученых-исследователей указывает на то, что вопрос устройства, взаимодействия фундаментов с грунтом, применение защитных мероприятий исследован на широком уровне. Тем не менее отсутствует изучение вопроса защиты фундаментов малонагруженных сооружений и линейных

объектов, в том числе топливно-энергетического комплекса от морозного пучения, при этом имеются исследования по защите от негативного воздействия автодорожного и железнодорожного полотна, малонагруженных стержневых конструкций (опор контактных линий). Также мало исследованным остается вопрос влияния защитных мероприятий, связанных с сохранением физико-механических свойств грунтов в течение длительного времени. На деформацию фундаментов при ежегодном промерзании и морозном пучении морозоопасных оснований влияют: тепловой режим грунта, криогенные процессы, процессы миграции влаги, указанные в исследованиях ряда учёных (В.М. Улицкий, Н.А. Цытович, Е.С. Ашпиз, И.И. Сахаров, С.А. Кудрявцев, В.Н. Парамонов, Р.Ш. Абджалимов, В.В. Веселов, В.А. Мельников и другие).

Объект исследования: основания и фундаменты малонагруженных зданий и сооружений при промерзании, морозном пучении.

Предмет исследования: напряженно-деформированное и теплофизическое состояние морозоопасного основания фундаментов малонагруженных объектов при воздействии процессов сезонного промерзания и морозного пучения.

Цель исследований: совершенствование метода защиты оснований фундаментов эксплуатируемых малонагруженных производственных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах.

Для достижения вышеуказанной цели необходимо выполнить следующие **задачи:**

1. Провести анализ теоретических и практических исследований методов защиты фундаментов малонагруженных объектов, эксплуатируемых в морозоопасных основаниях, с глубоким сезонным промерзанием от деформации морозным пучением.

2. Разработать алгоритм методики по оценке фактического состояния и прогнозов по дальнейшей эксплуатации фундаментов и морозоопасных оснований для малонагруженных объектов с использованием расчетов методом конечных элементов.

3. Разработать метод расчета теплоизоляционной защиты фундаментов малонагруженных объектов в условиях сезонного колебания температур от влияния процесса морозного пучения.

4. Выполнить экспериментальные исследования температурного режима промерзающего грунта, взаимодействующего с фундаментами малонагруженных зданий и сооружений.

5. Выполнить исследования температурного режима промерзающего грунта численными методами, с возможностью подбора защитных мероприятий.

Методология и методы исследования:

- теоретические исследования технического состояния фундаментов малонагруженных зданий и сооружений в сезонно промерзающих пучинистых грунтах;

- натурные исследования и эксперименты по определению температурных значений промерзающего грунта конструктивными мероприятиями и без них в условиях сезонного промерзания, морозного пучения;

- обобщение и анализ результатов экспериментальных исследований для определения эффективных мероприятий по защите фундаментов малонагруженных зданий и сооружений от морозного пучения;

- численное моделирование с применением модуля FEM Models Termoground при решении температурных и влажностных задач трехмерного процесса промерзания и морозного пучения НДС грунтового массива, и конструкций легконагруженных и малонагруженных линейных объектов;

- сравнение результатов натурных наблюдений с результатами численного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Выявлена зависимость изменения температурных и влажностных характеристик грунта оснований фундаментов малонагруженных сооружений при воздействии отрицательных температур с использованием защитных мероприятий.

2. Определена возможность стабилизации технического состояния основания фундаментов эксплуатируемых малонагруженных зданий и сооружений, получивших повреждения от воздействия морозного пучения – без перехода в аварийное состояние с применением защитных мероприятий по теплоизоляции оснований фундаментов.

3. Предложена методика, позволяющая рассчитать толщину теплоизоляции в зависимости продолжительности действия отрицательных температур от сезонной глубины промерзания по результатам численного моделирования;

4. Предложена методика, позволяющая осуществлять подбор защитных мероприятий, диагностировать техническое состояние оснований и фундаментов малонагруженных зданий и сооружений, включающая в себя элементы неразрушающего контроля и численного моделирования.

Теоретическая значимость работы:

1. Научно обоснованное применение мероприятий по тепловой изоляции основания при проектировании, строительстве и эксплуатации малонагруженных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах южных районов Дальнего Востока.

2. Методика диагностики и прогнозирования эксплуатации фундаментов малонагруженных объектов в сезонно промерзающих пучинистых грунтах с использованием численного моделирования МКЭ.

3. Методика расчета толщины теплоизоляции на основании климатических характеристик района строительства и физико-механических характеристик грунта.

Практическая значимость работы:

1. Предложен способ стабилизации технического состояния основания фундаментов эксплуатируемых малонагруженных зданий и сооружений – без перехода в аварийное состояние, применением защитных мероприятий по теплоизоляции фундаментов;

2. Оптимизирован объем мероприятий по уменьшению деформаций конструкции фундаментов малонагруженных объектов от морозного пучения;

3. Минимизирована стоимость работ по теплоизоляции оснований фундаментов малонагруженных зданий и сооружений с подбором толщины теплоизоляции.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика диагностики и прогнозирования эксплуатации оснований, и фундаментов малонагруженных объектов в сезонно промерзающих пучинистых грунтах.

2. Результаты натурных наблюдений, исследования температурного режима морозоопасного основания при промерзании, морозном пучении.

3. Влияния защитных мероприятий на тепловой режим грунта и деформации фундаментов в период действия отрицательных температур.

4. Оценка влияния защитных мероприятий на техническое состояние крупномасштабного линейного объекта.

5. Методика расчета толщины теплоизоляции на основании климатических характеристик района строительства.

Область исследования: Согласно сформулированной цели научной работы, её научной новизне, установленной практической значимости диссертация соответствует паспорту специальности 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения, пункту 5 – разработка новых методов расчета, высокоэффективных конструкций и способов устройства оснований и фундаментов в особых инженерно-геологических условиях: на слабых, насыпных, просадочных, засоленных, набухающих, закарстованных, вечномерзлых и пучинистых и других грунтах; пункту 7 – разработка новых методов расчета, испытаний, конструирования и расчета оснований, фундаментов и подземных сооружений при их реконструкции, восстановлении, усилении и в случае ликвидации аварийных ситуаций.

Степень достоверности и апробация работы подтверждается следующим:

- характером проведения натурных исследований температурных значений промерзающего грунта, отражающим происходящие в основании фундаментов малонагруженных зданий и сооружений криогенные процессы при максимальном сезонном промерзании.

- корректной постановкой задач и достаточным объемом экспериментальных исследований, полученных с помощью метрологически поверенных измерительных приборов;

- применением методов по расчету НДС, позволяющих выполнить расчет для промерзающего пучиноопасного грунтового массива в постановке трехмерной проекции; проведением долгосрочных опытов (40 опытов) и экспериментов; проведением сравнений результатов, полученных в ходе исследований с результатами других авторов – исследователей, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях;

- выполнением сравнений результатов, полученных при экспериментальных исследованиях и численном моделировании.

Основные положения из данной работы доложены и получили обсуждение и оценку на научных форумах: «Экология и безопасность водных ресурсов», 2-я международная научно-практическая конференция (Хабаровск, 27-28 ноября 2009); Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования, Всероссийская научно-практическая конференция (Хабаровск, 21-23 апреля 2010); Geotechnical engineering for disaster prevention & reduction, IV international symposium (Khabarovsk, July 26-29, 2011); «Geotechnical engineering for disaster prevention & reduction, environmentally sustainable development», International geotechnical symposium IGS5, INCHEON, (South Korea, Seoul, May 22-24, 2013); 8-th Asian Young Geotechnical Engineering Conference (8AYGEC) (Казахстан, Астана, 5-7 августа 2016), «Наука и инновации – современные концепции», Международный научный форум (Москва, 23 октября 2020).

Личный вклад автора:

Личный вклад автора включает в себя непосредственное участие в проведении всех теоретических и экспериментальных исследованиях, подготовке

докладов и публикаций по теме диссертации. Все данные по результатам исследований и проведенных опытов интерпретированы и обработаны автором лично. Имеются акты внедрения результатов работы, указанные в приложении.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 8 научных работах в объеме 3,06 печ. л., в том числе 3 работы объемом 1,26 печ. л. в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. В работе содержится 129 страниц текста, 75 рисунков, 14 таблиц; список литературы включает 121 источник.

ГЛАВА 1

СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ

1.1 Влияния морозного пучения на фундаменты малонагруженных зданий и сооружений

Морозное пучение грунтов – свойство грунтов в условиях сезонного промерзания в процессе гидротермических реакций осуществлять повышение объема при кристаллизации льда под фазовыми превращениями. Эти проявления характеризуются неравномерным поднятием дневной поверхности вследствие образования ледяных включений.

В процессе морозного пучения происходит контакт мерзлого грунта с боковой поверхностью, а также подошвой тела фундамента, что при повышении объема грунта осуществляет воздействие на тело фундамента в виде нормальных (через подошву) и касательных (по боковой поверхности) сил. Итогом вышеуказанных воздействия являются деформации или разрушения строительных конструкций.

В ходе проведенных изысканий исследователи смогли предположить несколько теорий явления морозного пучения, тем не менее явление морозного пучения было обусловлено сложностью своего процесса и не позволило считать ни одну из предложенных гипотез единственно верной. Вышеуказанные причины требуют учета взаимосвязанных задач: теплофизических, физико-механических, гидромеханических и т.д.

Экспериментальные работы по исследованию морозного пучения проводились многочисленными Российскими и зарубежными исследователями и учеными: Балобаевым В.Т. [2], Быковым Н.И [4], Велли Ю. Я. [5], Вяловым С.С. [8, 9, 10], Голдштейн М.Н. [11], Горяновым Г.Ф. [13], Голли О.Р. [19], Далматовым Б.И. [20], [21], Ершовым Э.Д. [22],[25], Докучаевым В.В. [23], Карловым В.Д. [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], Ким В.Х [33], Киселевым М.Ф. [34], [35], Конюшенко А.Г.[36], Крыловым М.М. [38], Кудрявцевым В.А. [39],

Кудрявцевым С.А. [42], [43], [44], Сахаровым И.И. [79], [88], Парамоновым В.Н. [45], [46], Тюриным И.М. [47], Мельниковым А.В. [52], Мельниковым Б.Н. [53], Морарескул Н.Н. [57], Кригер Е.В., Захаровым А.Е., Парамоновым В.Н. [58], Невзоровым А.Л. [58], Орловым В.А. [61], [62], [63], Парамоновым М.В. [64], Полянкиным Г.Н., Ким А.Ф., Пусковым В.И. [67], [68], [69], [72], Сигирленд Л. [82], Улицким В.М. [90], Фадеевым А.Б. [91], [92], Федосеевым А.В. [93], Фурсовым В.В. [94], Харлаб В.Д. [95], Хачикянц Е.И. [96], Цытович Н.А. [97], [98], Croly F.C [110], Pike, C. W., Saurin B F [117], Spenser, W.G [120].

Параллельно с исследованием природы и причин возникновения и механизма действия сил морозного пучения проходили исследования противодействия или снижения воздействия этих сил. Так Толкачевым Н.А. [88] проведены опыты, по результатам которых установлено, что с увеличением внешней нагрузки происходит уменьшение и снижение скорости самого морозного пучения. На основании опытов Цытовича Н.А. [98, 99, 100, 101, 102] выявлено, что значение величины от воздействия касательных сил при морозном пучении, воздействующего на фундамент, в 2-3 раза меньше сил при смерзании грунта с телом фундамента.

Ученые: Далматов Б.И. [20, 21], Пусков В.И. [74, 75], Дубнов Ю.Д. [24] и др. предлагают значение величины от воздействия касательных сил при морозном пучении аналогичными и равными по протекающим процессам силам, возникающим при смерзании, и вертикальном перемещении (деформации) стоек, вмороженных в грунт, и равными проходящей средней скорости самого морозного пучения.

Инструментальные наблюдения с применением измерительного оборудования (динамометров) производились Улицким В.М. [90] на железобетонных и металлических сваях, которые были устроены в промерзающий грунт. По результатам наблюдений было отмечено снижение влияния возникающих сил морозного пучения на объекты исследования при последовательном нагружении самого фундамента.

По результатам лабораторных опытов Голли О.Р. [19], Роман Л.Т. [74], Невзорова А.Л. [59], Гречищева С.Е. [17, 18] и др. были определены основные закономерности при возникновении деформации мерзлых грунтов от температурных воздействий.

Вертикальные перемещения (деформации) фундаментов происходят в процессе промерзания грунта вдоль тела фундамента, которые достигают опорной части (подошвы). Размер деформаций при этом является достаточным (1-15 см), а сила воздействия сил морозного пучения не менее 5 мПа. При отсутствии каркаса деформации сопровождаются появлением трещин в местах проемов и действием максимальной нагрузки. Для зданий и сооружений, не имеющих жестких связей в одной или двух плоскостях, морозное пучение и следующая за ним деформация фундамента способно привести к аварийному состоянию.

На рис. 1.1 показано обрушение здания склада в г. Хабаровске 20 апреля 2013 г. с конструкцией кровли «Кисловодск», здание неотапливаемое, фундаменты представлены сваями с глубиной погружения 4,5-5 м, сваи не связаны между собой ростверком.



Рис.1.1. Обрушение складского здания ОАО «Хабаровский НПЗ»

Обрушение здания произошло в конце апреля в период достижения максимальной глубины промерзания, при этом наблюдались положительные температуры в течение дневного времени суток и отрицательные температуры в ночное время. Грунт оттаял на глубину 10-15 см от дневной поверхности. Обрушение произошло после захода солнца и понижения наружной температуры. В ходе расследования инцидента установлено, что обрушение произошло из-за

разрушения сваи под одной из колонн вследствие продолжительных растягивающих усилий, возникающих в период колебания среднесуточных температур, следовательно, в ходе процессов оттаивания и промерзания верхних слоев грунта, вызвавших растягивающие усилия в свае. Разрыв сваи произошел на глубине 8-12 см, т.е. в месте границы фазовых переходов грунта.

На рис.1.2 показана деформация стоек эстакады топливного трубопровода вследствие выпучивания фундамента.



Рис.1.2. Деформация стоек эстакады топливных трубопроводов.

На рис. 1.3 показаны деформации фундаментов и стоек эстакад технологических трубопроводов ООО «РН Комсомольский НПЗ» в г. Комсомольск-на-Амуре в ходе обследования технического состояния.



Рис. 1.3. Деформации фундаментов эстакады трубопроводов ООО «РН Комсомольский НПЗ».

Значительные деформации стоек (отклонение от вертикали до 150 мм, вертикальные перемещения до 14 мм) связаны, в первую очередь, с отсутствием нижних продольных и поперечных связей с соседними стойками; трубопровод,

расположенный на консоли стойки, деформирован. В свою очередь фундаменты стоек эстакады выполнены в виде свай-стоек, разрушение обетонирования оголовка свай вызвано большим крутящим моментом, появившимся в результате подъема сваи [44].

На рис.1.4 показаны деформации фундаментов, стоек и траверс эстакады технологических трубопроводов АО «ННК Хабаровский НПЗ» вследствие деформации фундаментов.



Рис. 1.4. Деформации фундаментов и стоек АО «ННК –Хабаровский НПЗ».

Деформации стоек (отклонение от вертикали до 150 мм, вертикальные перемещения до 14 мм) связаны, в первую очередь, с отсутствием нижних продольных и поперечных связей с соседними стойками; трубопровод, расположенный на консоли стойки, деформирован [71]. Фундаменты стоек эстакады выполнены в виде свай-стоек, разрушение обетонирования оголовка свай вызвано большим крутящим моментом, появившимся в результате подъема сваи.

Как видно из приведенных выше примеров, отсутствие защитных мероприятий, позволяющих снизить воздействие морозного пучения, приводит к деформации фундамента и строительных конструкций. Если для проектирования и реконструкции малонагруженных зданий разработаны методики по защите фундаментов от негативного влияния морозного пучения, то для линейных объектов, таких как эстакады, где отсутствуют связи в одной или двух плоскостях,

любые перемещения фундамента приводят к аварийному состоянию надфундаментных конструкций из-за меньшей жесткости каркаса; при всей многочисленности исследований уделено меньше внимания исследованиям защиты малонагруженных объектов от морозного пучения.

1.2 Защитные мероприятия по снижению воздействия морозного пучения на малонагруженные здания и сооружения

Для обеспечения безаварийной эксплуатации фундаментов в пучинистых грунтах необходимо обеспечить их устойчивость при морозном пучении, деформация фундамента должна быть равна нулю. Данное условие возможно в случае, если нагрузки от надфундаментных конструкций превосходят или равны величине сил морозного пучения, воздействующего на фундамент [47, 73, 76].

Основное влияние на деформации фундамента оказывает их сезонное вертикальное перемещение, возникающее при промерзании и последующем морозном пучении. Само перемещение фундаментов вследствие сезонных процессов промерзания, пучения способны вызвать затруднение эксплуатации строительных конструкций.

Перемещения фундамента обусловлены цементацией при смерзании боковой поверхности фундамента с промерзающим грунтом (касательные силы) и воздействием пучинистого грунта под подошвой фундамента, исходя из чего целесообразна изоляция боковой поверхности и грунта для снижения воздействия касательных сил и замена пучинистого грунта непучинистым под пятой фундамента для предотвращения воздействия нормальных сил. Тем не менее данные мероприятия эффективны для малопучинистых грунтов с низкой величиной усилий от морозного пучения или устройства анкеров в опорной части.

Вторым моментом вертикальных перемещений является осадка фундамента при сезонном оттаивании грунта, при котором вышеуказанные мероприятия неэффективны, в данном случае целесообразным является устройство анкера в опорной части фундамента, а также замена пучинистого грунта непучинистым.

На рис. 1.5. [75, 78] указаны вертикальные перемещения фундаментов при морозном пучении грунтов.

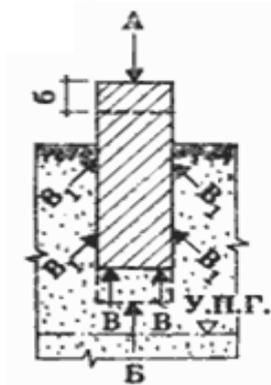


Рис. 1.5. Вертикальные перемещения фундамента при морозном пучении.

На рис. 1.6 [75, 78] указаны вертикальные перемещения фундаментов при сезонном оттаивании грунта.

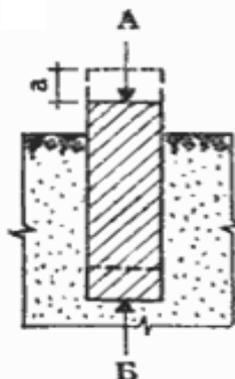


Рис. 1.6. Вертикальные перемещения при сезонном оттаивании грунта.

При цикличности процессов промерзания и последующего морозного пучения возможно проявление не только вертикальных перемещений как результата деформации фундаментов, но и их разрушение, в частности, разрыв в местах наибольшего напряжения от воздействия возникающих усилий, пример подобного явления приведен выше и на рис. 1.1 [75, 78].

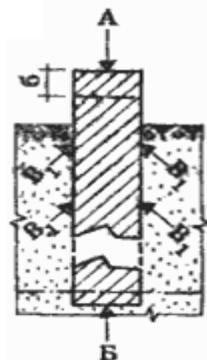


Рис. 1.7. Разрыв фундамента в месте максимального напряжения от воздействия нагрузок.

Повреждения фундамента, указанные выше, возникают в основном у отдельно стоящих фундаментов, имеющих небольшие размеры в сечении, тем не менее возможность возникновения сдвигов вероятна и у массивных отдельно стоящих фундаментов (рис. 1.8) [75, 78].

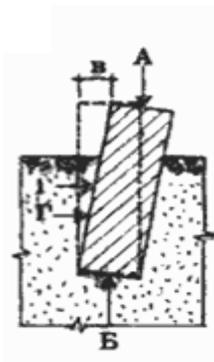


Рис. 1.8. Боковой сдвиг фундамента.

Требования, связанные с устройством подошвы фундамента ниже глубины промерзания, было распространено в период строительства, когда объемы возведения малонагруженных объектов были невелики [47]. В связи с чем Нормами предусмотрен комплекс мероприятий, который способен выполнить расчет по обеспечению устойчивости для фундаментов малонагруженных объектов («Кроме возможности изменения глубины заложения фундаментов следует рассмотреть необходимость применения мероприятий, уменьшающих силы и деформации морозного пучения, а также глубину промерзания» (п.14.8., СП 22.13330.2016) [85].

Мероприятия, включающие снижение деформаций от влияния возникающих сил морозного пучения, можно разделить на конструктивные, инженерно-мелиоративные, физико-химические и теплозащитные [47, 74, 77].

Применение мероприятий по обеспечению устойчивости фундаментов малонагруженных зданий и сооружений возникает вследствие отсутствия основного условия, на котором основывается правило заглубления – силы морозного пучения не уравновешиваются нагрузками от малонагруженного здания или сооружения. Нагрузки от строительных конструкций малонагруженных зданий и сооружений значительно меньше нагрузок,

возникающие вследствие воздействия сил морозного пучения. В связи с чем данное условие (устройство пяты фундамента ниже глубины промерзания) не обеспечивает устойчивости заглубленных малонагруженных фундаментов.

Применение мероприятий по устройству анкеров ниже глубины промерзания, замена пучинистого грунта непучинистым влекут за собой увеличению объемов строительно-монтажных работ и трудноосуществимы при проведении ремонтов и реконструкции.

Осуществление мероприятий по засолению или пропитка грунта нефтепродуктами, применение консистентных смазок по боковой поверхности тела фундамента на сегодняшний день связаны с вопросами экологии и охраной окружающей среды. Кроме того, применение данных мероприятий способно вызвать коррозию бетона.

Целый ряд мероприятий: укрепление грунтов введением связующих добавок, устройство дренажей под бесподвальные объекты, выштамповывание и выштамповывание траншей и котлованов не нашли широкого применения при строительстве, капитальном ремонте и реконструкции малонагруженных зданий и сооружений в связи со значительными затратами и трудоемкостью их применения для эксплуатируемых объектов.



Рис.1.9. Применение мероприятий по снижению морозного пучения.

Для объектов топливно-энергетического комплекса и ряда производств необходимо применение мероприятий, исключающих огневые и земляные работы

в связи с непрерывностью технологических процессов, плотной застройкой, насыщенностью инженерными сетями, технологическими процессами, остановка которых является трудно затратной и невозможна в зимнее время.

Надежным и экономичности эффективным способом защиты от деформации малонагруженных зданий и сооружений в пучинистых грунтах является применение утепления фундаментов с применением в качестве утеплителя экструдированного пенополистирола в уровне дневной поверхности грунта или заглубленные под ростверк [6, 53]. Применение утеплителей уже доказали свою эффективность в суровых климатических условиях, в том числе на Севере, очень хорошо зарекомендовали себя на Аляске, в Скандинавских странах, при строительстве и реконструкции объектов БАМ. В данном случае целесообразным является изолировать грунт, а не сам фундамент. При этом температура грунта вокруг фундамента не опускается до температур, при которых возможно морозное пучение.

Применение теплоизоляции для строящихся опасных производственных объектов начато в 70 годах прошлого века в США и Северной Европе в регионах с суровым климатом и наличием глубокого сезонного промерзания грунта [116, 118, 119]. Применение данного метода защиты фундаментов экономически и технически обоснованно.

На рисунке 1.10 приведен график зависимости глубины промерзания от толщины снегового покрова (утеплителя) для зданий с тепловым контуром и без теплового контура [77].

Как видно из графика, глубина промерзания грунта с применением теплоизоляции нарастает за пределами теплоизоляции, формируя фронт промерзания без захода под изоляцию вне зависимости от наличия теплового контура. При этом НДС грунта под изоляцией сохраняет первоначальное состояние. Кроме того, на глубину промерзания влияют и другие сопутствующие факторы: наличие снежного покрова, теплоизоляции, уровень грунтовых вод, физико-механические характеристики грунтов, наружная температура воздуха и т.д. [75].

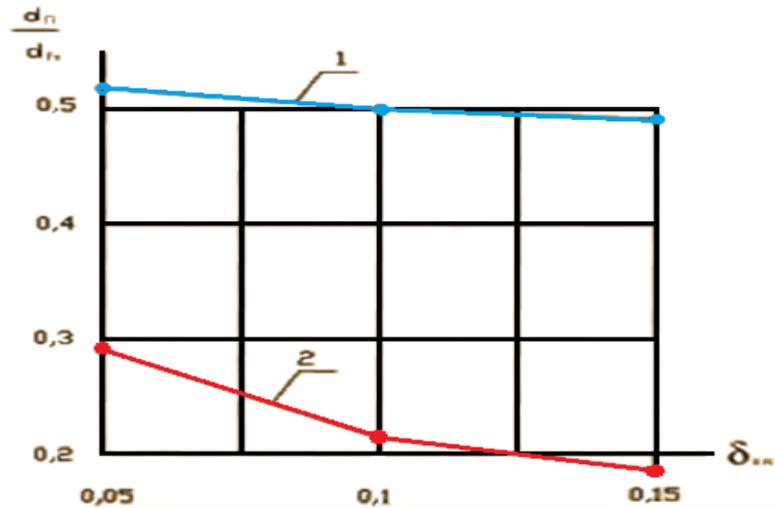


Рис. 1.10. График промерзания грунта для здания, имеющего тепловой контур (1), и для неотапливаемого здания (2).

На рис. 1.11-1.12 приведены этапы устройства фундаментов под оборудование и эстакады технологических трубопроводов при реконструкции Самарского НПЗ с применением теплоизоляции. Устройство теплоизоляции осуществляется горизонтально, под бетонные элементы фундамента для сооружений с неотапливаемым контуром.



Рис. 1.11. Устройство теплоизоляции под фундамент оборудования на Самарском НПЗ.



Рис. 1.12. Устройство теплоизоляции под отдельно стоящий фундамент на Самарском НПЗ.

На сегодняшний день отсутствует обобщенная и утвержденная методика расчета и конструирования теплоизоляционной защиты фундаментов. Так, в СП 22 13330.2016 приведены лишь общие указания, включающие перечень мероприятий, приведенных выше [86].

Отчасти методика расчета теплоизоляции фундаментов приведена в СТО 36554501-012-2008 «Применение теплоизоляции из плит, пенополистирольных вспененных экструзионных «ПЕНОПЛЕКС» при проектировании и устройстве малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах».

Тем не менее методика, указанная в СТО 36554501-012-2008, предназначена, в первую очередь, для мелкозаглубленных фундаментов, кроме того, она не позволяет в полной мере осуществлять подборку теплоизоляции аналитическим путем, поскольку в методике используется ИМ (индекс мороза), определение которого в методике не указано.

В 2017 г. выпущен ГОСТ Р 57361-2016 «Фундаменты зданий. Теплотехнический расчет». В данном ГОСТе приведена методика расчета теплоизоляции фундаментов отапливаемых и неотапливаемых зданий. Тем не менее в самом нормативном документе указано, что он основан на зарубежной

методике без учета отечественной ситуации и привязки. Основной расчет в соответствии с нормативным документом рассчитан на поиск исходных данных из открытых нормативных документов.

1.3 Влияние внешних температурных воздействий на глубину промерзания грунта

Температура замерзания зависит от количества в грунте связанной и капиллярной воды: чем ее больше, тем меньше температура начала замерзания.

Н.А. Цытовичем и М.И. Сумгиным [103] было исследовано явление, получившее название нулевой завесы. Суть явления в том, что в период перехода температуры в 0°C наблюдается задержка в распространении тепла или холода.

Величина теплопроводности для льда в слое мерзлого грунта в четыре раза превышает теплопроводность воды. Увлажненные мерзлые грунты обладают большей теплопроводностью по сравнению с талыми грунтами.

По результатам многолетних проведенных исследований мерзлых грунтов на территории России Н.А. Цытович сформулировал следующий принцип, являющийся основой для механики мерзлых грунтов: «Количество, свойства и состав льда и воды, которые содержат мерзлые (талые) грунты, являются непостоянными, изменяются под влиянием внешних факторов и находятся в полном динамическом равновесии с этими факторами» [98].

Значение связанности влаги в грунте при этом определяет следующие условия:

1. Переход всей воды в лед при определенной температуре замерзания (принимаемой равной T_{bf});

2. Происходит замерзание части воды при температуре – $T=T_{bf}$, при понижении температуры;

3. Происходит плавный рост льда в грунте с изменением температуры без резкого увеличения.

Что, в свою очередь, свидетельствует, следующее:

- теплота при кристаллизации выделяется на поверхности и объеме;
- вследствие изменения фазового состава воды теплофизические характеристики грунта могут меняться как плавно, так и скачкообразно;
- объем выделяемого тепла зависит как от типа грунта, так и от его влажности и температуры.

Понимание физических процессов, происходящих в грунтах, промерзающих и мёрзлых, позволяет понять, применение каких мероприятий позволят избежать влияния негативных процессов.

Известно, что в грунте при протекании криогенных процессов происходит следующее:

1. При достижении температуры начала замерзания начинается кристаллизация части воды, которая содержится в грунтовых порах;
2. При понижении температуры ниже температуры начала замерзания начинается кристаллизация связанной воды;
3. Рост количества влаги при переходе в лед в пределах значений температуры, равной значению начала криогенных процессов в грунтовом массиве;
4. Дальнейшее снижение значения температуры грунтового массива - происходит увеличение количества связанной воды;
5. Формирование процесса миграции влаги: для пылеватых и глинистых грунтов – по направлению к фронту промерзания, для крупнозернистых грунтов – направленных от фронта промерзания;
6. При дальнейшем понижении температуры – изменение количества содержания твердых частиц и льда в грунте.

Процессы, перечисленные в п. п. 1-5, приводят к возникновению процесса морозного пучения грунта при его промерзании.

В первой половине прошлого столетия значение глубины при промерзании грунтового массива рассчитывались на основании наблюдений и распределением температуры в толще грунт и были равны максимальным средним показаниям в

течение ряда лет при нахождении границы (глубины) при промерзании дневной поверхностью.

Вышеуказанные данные позволили сформировать карты расчетных глубин промерзания на территории РФ [13]. Карты расчетных глубин промерзания приводились в специализированных справочниках, тем не менее результаты многолетних наблюдений, сведенные в средние значения, не позволяют делать точный прогноз при строительстве, реконструкции или капитальном ремонте [46].

В формуле Стефана расчет глубины промерзания и оттаивания возможен только при условии, когда тепло, которое выделяется или поглощается талым грунтом, тратится в процессе происходящего изменения состава в фазовом промежутке уже находящейся влаги в грунте.

$$h = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_f \cdot T_{soil}}{Q_3}} \quad (1.1)$$

где: λ_f - значение коэффициента по теплопроводности для мерзлого грунтового массива, Вт/м²·°С; T_{soil} – значение температуры грунтового массива, °С; Q_3 – значение теплоты, возникающей при фазовых превращения вода – лед, Вт/м².

Необходимо отметить, что формула Стефана (1.1) не дает возможности учесть значение теплосодержания для мерзлого грунта и не учитывает значение для термического сопротивления по теплопередачи с грунтовой поверхности, как следствие, полученные результаты выше нормативных на 30-40%, поэтому, при решении практических задач данную формулу не используют.

По формуле М.М. Крылова (1.2) [39] учитывается значение потока тепла из нижележащих слоев грунта к фронту (границе) промерзания, она получена для промерзания влажного грунта.

$$t = Q_3 \left(\frac{\lambda_f \cdot T_{soil}}{q_h^2} \ln \frac{\lambda_f \cdot T_{soil}}{\lambda_f \cdot T_{soil} - q_h \cdot h} - \frac{h}{q_h} \right) \quad (1.2)$$

где: q_h – значение для теплового потока из нижележащих слоев грунта к фронту (границе) промерзания, Вт/м².

Значение для теплового потока имеет постоянное действие в течение промерзания грунтового массива, при этом в естественных условиях сами потоки изменяются в течение времени по экспоненциальной зависимости. В связи с чем при использовании в расчетах среднего значения величины теплового потока, направленного к фронту (границе) промерзания, искажает физическое значение процесса промерзания. Применение формулы Лукьянова [50] позволяет учитывать среднее за зимнее время сопротивление теплопередачи с поверхности снежного покрова в воздух, а также учесть теплоемкость мерзлого грунта.

$$t = \left(Q_3 + \frac{C_f \cdot t}{2} \right) \cdot \left[\frac{\lambda_f \cdot T_{soil}}{q_h^2} \ln \frac{\lambda_f \cdot T_{soil} - q_h \cdot S_{ins}}{\lambda_f \cdot T_{soil} - q_h (h + S_{ins})} - \frac{h}{q_h} \right] \quad (1.3)$$

где: C_f - теплоемкость для мерзлого грунта, Дж/гК·К; S_{ins} - толщина слоя эквивалентной изоляции (теплоизоляции, снега), м.

Лукьяновым В.С. и Головки М.Д. [50] была составлена инструкция, позволяющая оперативно рассчитать глубину сезонного промерзания; в основе инструкции применяется ряд исходных характеристик: длительность периода с отрицательными температурами, средняя температура в зимнее время, средняя температура теплового потока за зимний период времени.

Поскольку на территории России период промерзания грунта (T) составляет более 1/3 длительности года то ($t (t_f > \frac{1}{3} t)$).

Данное условие позволяет предположить, что показатели температуры в грунте t_f , не подвергшемуся промерзанию на период окончания воздействия промерзания, не связано с распределением на начальный период промерзания, не зависит от начального распределения, то есть, не связано с T_{soil} , подобная задача решается по функции, предложенной А.В. Лыковым (1.4) [51].

$$T(z - h, t_f) = T_{soil} \cdot erf\left(\frac{z - h}{2\sqrt{a_{th} \cdot t_f}}\right) \quad (1.4)$$

где: h – значение для глубины промерзания грунтового массива, м; erf – является интегралом вероятности; a_{th} – является значением коэффициента теплопроводности для грунта в талом состоянии, Вт/м².

Учеными – исследователями В.Г. Маламедом (1961) [40] и В.А. Кудрявцевым (1963) [41], в рамках расчета значения глубины по промерзанию грунтового массива предложена зависимость, основанная на результате анализа теплооборотов в грунте.

$$h = \frac{2(A_{surf} - T_{cp}) \sqrt{\frac{\lambda \cdot t \cdot C}{\pi}} + \frac{(h + d_f) \cdot L_0}{2 \sqrt{\frac{\lambda \cdot t}{\pi \cdot C}} + h + d_f} \sqrt{\frac{\lambda \cdot t}{\pi \cdot C}}}{2 \cdot A_{cp} \cdot C + L_0} \quad (1.5)$$

где: A_{surf} – значение амплитуды при колебаний температуры у поверхности грунтового массива, °С; T_{cp} – значение среднегодовой температуры для грунтового массива, °С; λ – значение коэффициента для теплопроводности, Вт/м²·°С; t – значение колебания температуры в годичный период, °С; L_0 – значение теплоты в процессе фазовых превращений (переходов), Дж/м³; d_f – значение глубины промерзания грунтового массива, м. Входные параметры вышеуказанной формулы можно определить в ходе лабораторных и полевых испытаний, анализируя проходящий процесс сезонного промерзания, исходя из инженерно – геологических условий.

В случае, если не учтены все факторы теплообмена (изменения для незамерзшей воды), в процессе снижения температуры возможно снижение результатов расчета глубины промерзания.

Б.И. Далматовым предложена формула для определения сезонной глубины промерзания и протаивания, основанная на следующих факторах:

- 1) движение теплового потока к границе промерзания не осуществляется;
- 2) температура промерзающего слоя грунта равна глубине промерзания;
- 3) температура дневной поверхности грунта T_{soil} в период промерзания t меняется в соответствии с линейным законом ($T_{soil} = d_2 t$).

$$h = t \sqrt{\frac{d_2 \lambda_f}{Q_3}} \quad (1.6)$$

при этом: d_2 – являются температурой грунта и окружающего воздуха, °С.

На основании вышеуказанной формулы (Далматова Б.И.) можно выполнить расчет по глубине промерзания грунта, которая исходит от дневной поверхности при воздействии внешних отрицательных температур.

На современном этапе при строительстве необходимы геотермические измерения для определения четкой взаимосвязи между физическими характеристиками мерзлого грунта и ее эксплуатацией в условиях глубокого сезонного промерзания и толщине слоя годовых колебаний. Закономерности поведения температурного поля исследованы Б.И. Далматовым [20, 21], В.Д. Карловым [32], В.А. Кудрявцевым [39] и др.

1.4 Сезонно промерзающие грунты южных районов Дальнего Востока

Сезонно промерзающие грунты на территории Дальнего Востока имеют распространение в Хабаровском и Приморском краях, Еврейской автономной и Амурской областях, Сахалинской области и южной части Камчатского края. На сезонную деформируемость грунтов оказывают влияние инженерно-геологические условия, климатические и гидрологические условия.

Характерной особенностью застройки и хозяйственной деятельностью является освоение территории южных районов Дальнего Востока – в поймах рек и вдоль береговой линии моря. Исключение составляет Приморский край, где застройка и освоение территории осуществляется на сопках Сихотэ-Алиня.

Инженерно – геологические условия южных районов Дальнего Востока представляют собой следующее.

Верхнебуреинский район Амурской области расположен в западной части Буреинской горной области и соответствует поднятию Буреинского массива. Региону соответствует следующий рельеф: массивное плоскогорье, холмистые предгорья, узкие резные долины, лишённые террас. Геологические условия имеют

следующий вид – метаморфические породы допозднепротерозойского возраста, малое количество аллювиально-озерных отложений из-за отсутствия приречных террас, породы базальтовой формации раннего плейстоцена, на склонах гор образования позднего плейстоцена-голоцена [28].

Буреинский район Амурской области характеризуется равнинно-увалитстым рельефом, имеющим общее название Бурейская впадина. Геологические условия представлены следующим образом – песчано-глинистая сероцветная формация юрского возраста, угленосная формация позднего юры-раннего мела, террогенная молассовая формация позднего мела, аллювиальные отложения среднего и позднего плейстоцена и голоцена [28].

Амуру-Зейский район Амурской области характеризуется возвышенными аккумулятивно-денудационными равнинами с холмисто-увалистыми низкими плато в районе предгорий. Геологические условия представлены следующим образом - террогенная молассовая формация позднего мела, угленосные формации позднего мела-палеогена, террогенная молассовая формация палеоген-миоцена, аллювиальными и озерно-аллювиальными плиоцен-нижнеплейстоценовыми отложениями, аллювиально-озерными и средне-верхнеплейстоценовыми отложениями, аллювиальными, средне-верхнеплейстоценовыми отложениями, элювиально-делювиальными и аллювиально-пролювиальными нерасчлененными четвертичными отложениями [28].

Арсеньевский район Приморского края характеризуется пологосклонным, грядово-холмистыми и холмисто-увалистыми предгорьями с широкими трапецевидными долинами и межгорными впадинами. Геологические условия представлены следующим образом – террогенно – карбонатно – вулканогенная формация силур-девонского периода в Западно-приморской области, террогенно – карбонатно – вулканогенная формация ордовик-девонского и раннепермского периода в Западно-Приморской и Южно-Приморской областях, песчано-глинистая сероцветная формация пермского, триасового, юрского и раннемелового периодов, угленосная формация поздне триасового и мелового

периодов в Южно-Приморской зоне, вулканогенно-террагенно молассовая формация позднемелового периода, андезитовая и липаритовая формация позднемелового периода, базальтовая формация плиоценового и андезитобазальтовая формация эоценового периода в Южно-Приморской и Западно-Приморской зонах, угленосная и террогенная молассовая формация эоцен-плиоценового периода, аллювиальные отложения вдоль долин рек, склоновые отложения аллювиально-морские отложения голоценового периода [28].

Нижне-Амурский район, включающий в себя северную часть Приморского края и Еврейскую автономную область, характеризуется участками среднегорья и многочисленными межгорными равнинами. Геологические условия представлены следующим образом – песчано-глинистая сероцветная формация позднего триаса – среднего юра, спилито-кремнистая-песчано-глинная формация ранней юры, флишoidная формация позднего юры – раннего мела, террогенно-молассовая формация позднего мела, аллювиальные отложения раннего-среднего плейстоцена наблюдаются в западной части района, озерные и озерно-аллювиальные нижне-среднеплейстоценовые отложения распространены в северной части района, верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения распространены на востоке района, верхнеплейстоценовые и голоценовые озерные и озерно-аллювиальные отложения, голоценовые аллювиальные отложения [28].

Средне-Амурский район юга Хабаровского края и Еврейской автономной области характеризуется аккумулятивной равниной с островными включениями останцевыми хребтами и одиночными холмами. Геологические условия представлены следующим образом – озерные нижнеплейстоценовые отложения, элюво-делювиальные нерасчлененные четвертичные отложения, озерно-аллювиальные средне-, верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения, аллювиальные, средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения, озерно-болотные голоценовые отложения [28].

Восточно-Сихотэ-Алинский район, расположенный вдоль побережья Японского моря и Татарского пролива, представляет собой горный регион с

побережьем. Геологические условия представлены следующим образом – вулканогенно-террагенная молассовая формация, андозитовая формация турондатского возраста, липаритовая формация, андезит-липоритовая формация, гранитоидная формация, платобазальтовая и контрастная базальт – трахилепаритовая формация, грубообломочная и угленосная моласса, эллювиальные образования и отложения склонового ряда четвертичного периода на склонах и вершинах гор, морские отложения позднеплейстоценового и голоценового периодов на морских террасах, пляжах и косах, аллювиальные отложения средне- и позднеплейстоценового и голоценового периодов, аллювиально-морские и озерно-лагунные отложения позднеплейстоценового и голоценового периодов [28].

Сахалинский район, включает в себя Сахалинскую область и острова Курильской гряды. Геологические условия представлены следующим образом – вулканогенно-карбонатно-террогенные формации ранне-среднепалеозойского периода, вулканогенно-кремнисто-террагенные формации позднего палеозойско-мезозойского периода, терригенные формации, туффито-андезитовыми формациями раннего-среднего миоцена, туффито-диатомитовые формации, угленосные формации среднего и позднего миоцена, флишоидная формация позднего миоцена-раннего плиоцена, молассовая формация позднего миоцена-плиоцена, базальтовые формации миоцена, аллювиально-пролювиальные отложения плейстоцена, озерно-аллювиальные отложения плейстоцена, аллювиальные отложения среднего плейстоцена-голоцена, морские и аллювиально-морские отложения позднего плейстоцена-голоцена, органогенные образования голоцена [28].

Курило-Камчатский-Олюторский района. Три четверти территории занимают тектонические среднегорья. Геологические условия представлены следующим образом – метаморфические породы архея-протерозоя, вулканогенно-кремнистые-террогенные формации палеозоя, песчано-глинистая сероцветная формация мелового периода, вулканогенно-кремнистая формация позднего мела-палеогена, карбанатно-кремнисто-вулканогенно-террагенная

формация мел-палеогенового периода, угленосная формация палеогенного периода, флишoidная формация олигоцен-раннемиоценового периода, туффито-андезитовая формация среднемиоценового периода, туфогенно-терригенная формация миоценового периода, террогенная молассовая формация миоценового периода, базальт-липаритовая формация позднемиоцен-плиоценового периода, молассовая формация плиоценового периода, интрузивные формации, базальтовые формации четвертичного периода, озерные и озерно-аллювиальные ранне-среднеплейстоценовые отложения, морские лагунно-морские и дельтовые плейстоценовые и голоценовые отложения, элювиально-делювиальные голоценовые отложения, болотные голоценовые отложения [28].

В таблице 1 указано распространение грунтов в населенных пунктах Дальнего Востока, имеющих значение при строительстве.

Таблица 1. Распространение грунта по ГОСТ 25100-2020 «Грунты, Классификация».

Населенный пункт	Наименование грунтов, % распространения						
	Грунты щебенистый и дресвяный (с суглинистым и супесчаным заполнителем)	Супесь и суглинок и (щебенистые и дресвяные)	Супесь и суглинок (с щебнем и дресвой)	Грунты гравийно-галечниковые грунты (с супесчаным и суглинистым заполнителем)	Супесь, суглинок, глина (гравелистые и галечниковые)	Супесь, суглинок, глина (с гравием и галькой)	Итого
Владивосток	40	15	10	-	5	-	70
Уссурийск	-	-	-	5	15	-	20
Арсеньев	-	-	-	15	30	20	65
Находка	35	10	10	-	5	-	50
Большекаменск	15	20	10	-	5	-	60
Дальнегорск	50	20	10	5	-	-	85
Хабаровск	10	10	-	-	5	-	25
Комсомольск-на-Амуре	-	-	-	15	25	-	40
Биробиджан	-	15	-	-	25	-	40
Благовещенск	-	-	-	5	5	10	20
Южно-Сахалинск	10	15	-	15	15	-	55
Петропавловск-Камчатский	45	15	15	-	5	-	80
Магадан	30	10	15	-	-	-	55

Как видно из описания инженерно-геологических условий районов Дальнего Востока с сезонно промерзающими грунтами, основная хозяйственная деятельность и застройка осуществляются в пределах равнин с широко развитой

речной сетью, холмах и склонах холмов, низких хребтов и их склонах, а также на побережье. При этом необходимо отметить, что в данном случае используется существующий деятельный слой грунта, распространенный в данной местности.

Поскольку, как было сказано выше, строительство в населенных пунктах Дальнего Востока осуществляется с учетом рельефа, на примере г. Хабаровска можно сказать, что строительство осуществляется на равнинной части территории города, а также на склонах низкосопочных холмов, из которых сложены центральные улицы. Учитывая инженерно-геологические условия, можно сказать, что на значительной части территории города преобладают аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные голоценовые отложения. Исходя из вышеуказанного, в таблицах 2 и 3 представлены основные физико-механические значения для грунтов, которые представлены в черте города.

Таблица 2. Физико-механические значения грунтов равнинной части г. Хабаровска.

Вид грунта		Показатели характеристик грунта (aQ4; laQ3; alQ2; lQ1)						
		W %	Ip	IL	ρ , г/см ³	e	C, КПа	φ °
Глина	твердая	23	20	0,09	2,0	0,68	81	21
	тугопл.	27	19	0,33	1,94	0,77	45	17
	мягкопл.	36	21	0,61	1,86	0,97	24	15
Суглинок	полутв.	22	13	0,11	2,02	0,64	60	23
	тугопл.	25	13	0,38	1,98	0,71	40	20
	мягко пластич.	28	13	0,60	1,95	0,77	24	12
	текуче пластичн.	32	10	0,95	1,90	0,86	11	15
Супесь	пластич.	25	7	0,06	1,97	0,69	27	30

Таблица 3. Физико-механические значения грунтов холмистой территории г. Хабаровска.

Вид грунта (dQ)		Показатели характеристик грунта						
		W %	Ip	IL	ρ , г/см ³	e	C, КПа	φ °
Глина	твердая	23	20	<0	2,01	0,69	84	25
Суглинок	твердый	20	13	<0	2,02	0,61	69	27
	тугопл.	24	12	0,35	2,01	0,66	43	22
Супесь	пластич.	22	6	0,16	2,05	0,61	33	32

Климатические характеристики южных районов Дальнего Востока характеризуются географическим положением, исходя из чего на климатические условия влияют факторы близости морских и океанских вод, а также континентальных факторов, в связи с чем климат в Хабаровском и Приморском крае, а также в Сахалинской и Камчатской области носит муссонный характер для умеренных широт. Данный климат характеризуется холодной и малоснежной зимой, и жарким влажным летом. При этом наблюдается увеличение солнечной радиации с 90 ккал/см² для севера и 118 ккал/см² для юга. Аналогично происходит увеличение среднегодовой температуры [69].

Например, для находящихся в одном климатическом поясе городов Хабаровского края среднегодовая температура составляет – 2,4 °С, для Николаевска-на-Амуре, -0,7 °С – для Комсомольска-на-Амуре и 1,4 °С – для Хабаровска.

По результатам многолетних наблюдений была составлена карта глубин промерзания на территории распространения сезонно промерзающих грунтов на Дальнем Востоке [69].

Горные системы – Сихотэ-Алинь, Баджальский и Буреинский хребты становятся препятствием по проникновению теплых и влажных океанических

масс вглубь континента по направлению на северо-запад. В связи с этим в Еврейской автономной области и Амурской области происходит усиление влияния континентального климата, с увеличением амплитуд колебаний среднесуточных и среднегодовых температур происходит уменьшение влажности воздуха и количество среднегодовых осадков.



Рис. 1.13. Карта глубин промерзания грунта (см) южной части Дальнего Востока по изотерме нижней границы -1°C (по Стоценко А.В. [87]).

Как можно отметить на рис. 1.13, карта глубин промерзания соответствует климатическим характеристикам Дальневосточного Федерального округа, описанным выше. Наблюдается четко выраженное увеличение глубин промерзания по направлению на север и в северо-западном направлении.

Инженерно – гидрологические условия. Поскольку основной причиной морозного пучения грунта и деформации оснований является наличие влаги в грунте, гидрогеологическая обстановка оказывает большое влияние на вышеуказанные явления. Наличие воды в грунте обусловлено двумя факторами – осадками и грунтовыми водами, а также их уровнем.

На примере гидрогеологической обстановки в г. Хабаровске можно оценить влияние влажности на деформируемость грунтов в условиях южных районов Дальнего Востока.

Среднегодовая норма осадков в г. Хабаровске – 783 мм. При этом наибольшее количество осадков выпадет в летний период, рост количества осадков происходит в июле, когда происходит формирование теплых морских циклонов, и достигает своего максимума в августе. К октябрю, когда происходит сезонное снижение уровня грунтовых вод, количество осадков снижается до трети от их максимального количества. Среднее месячное количество осадков в г. Хабаровске представлено на рис. 1.14.

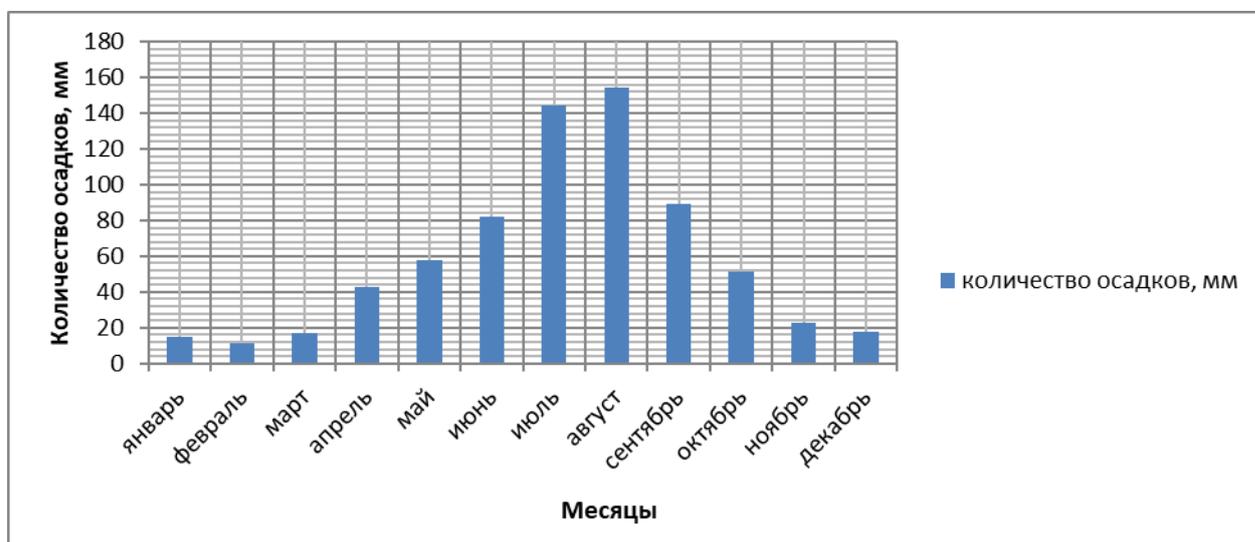


Рис.1.14. Среднее количество осадков по г. Хабаровску по данным УГМС по Хабаровскому краю.

Поскольку большую часть территории г. Хабаровска 160 км² (80% территории) занимает аккумулятивный рельеф, при котором характерен равнинный рельеф, понижающийся к пойме р. Амур и малых рек, большое значение на гидрогеологическую обстановку влияет уровень грунтовых вод, в том числе в зависимости от уровня р. Амур. Стоит отметить, что на аналогичных рельефах расположено значительное количество населенных пунктов Хабаровского края и Еврейской автономной области.

Водный режим р. Амур находится в прямой зависимости от количества осадков в различные сезоны. Для Амура характерно незначительное весенние

половодье, значительные летне-осеннее паводки и малая зимняя межень. При этом максимальный уровень реки фиксируется в июле-сентябре в период максимального уровня осадков, минимальный уровень наблюдается в феврале-марте. Для Амура характерны периодические, раз в 5-10 лет, значительные паводки, при этом наблюдается превышение уровня воды над меженью на 6-6,5 м [69].

Графики уровня воды в р. Амур у г. Хабаровск за 15-летний период наблюдения представлены на рис. 1.15.

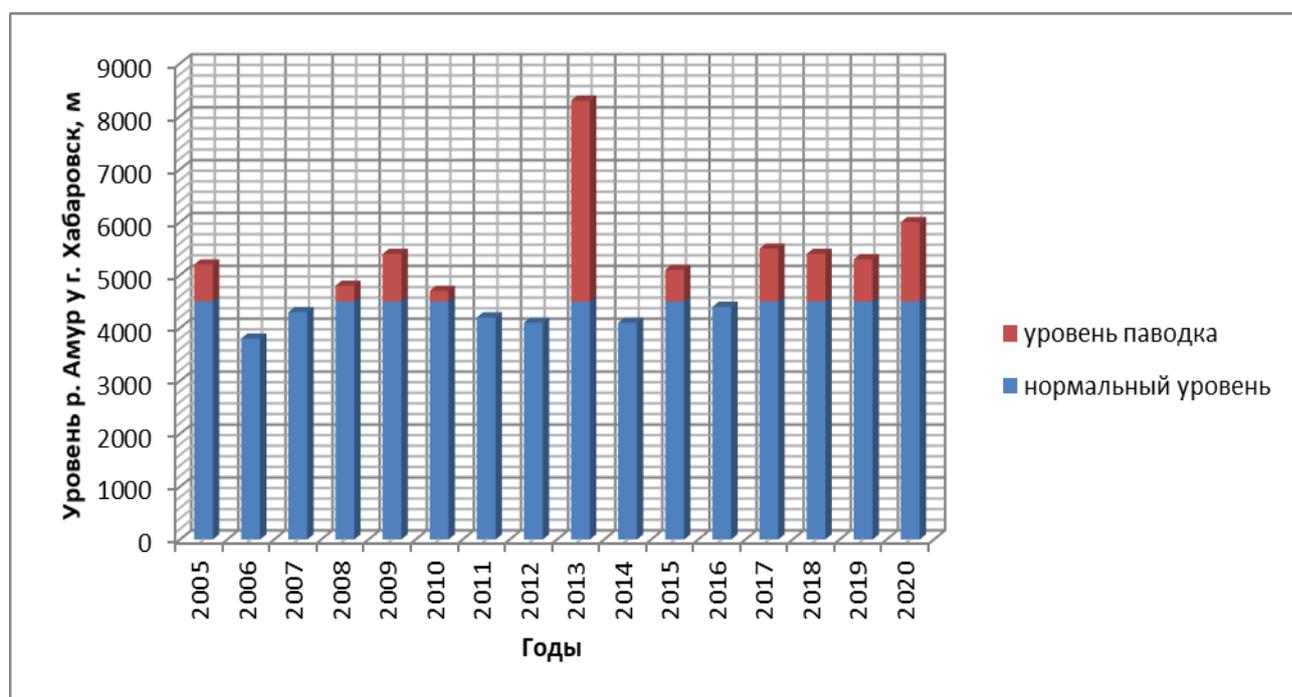


Рис.1.15. Уровень р. Амур у г. Хабаровск по данным УГМС по Хабаровскому краю.

Водный режим р. Амур находится в прямой зависимости от количества осадков в различные сезоны. Для Амура характерно незначительное весеннее половодье, значительные летне-осеннее паводки и малая зимняя межень. При этом максимальный уровень реки фиксируется в июле-сентябре в период максимального уровня осадков, минимальный уровень наблюдается в феврале-марте. Для Амура характерны периодические, раз в 5-10 лет значительные паводки, при этом наблюдается превышение уровня воды над меженью на 6-6,5 м [69].

Подземные воды. В 2015 г. в Хабаровске распространение подземных вод имело следующий вид:

1. На глубине 0-2 м – на площади 115 км² (58% от площади города);
2. На глубине 2-5 м – на площади 63,5 км² (32% от площади города);
3. На глубине 5-10 м – на площади 21,5 км² (10% от площади города).

При этом следует выделить ряд водоносных слоев на территории г. Хабаровска:

1. Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений, расположенный в долинах рек и ручьев. Данный слой расположен в пойме р. Амур и Амурской протоки вдоль береговой линии Амура, в низменностях центральной части города. Водовмещающие породы – супесь, песок, гравий, галька. Слой расположен на глубине от 0,3 м от дневной поверхности, мощность слоя - 10-15 м.

2. Водоносный горизонт полицен-нижнечетвертичных отложений расположен в южной и юго-восточной части Хабаровска. Водовмещающие породы – песок, гравий, галька. Слой расположен под глинистыми и аллювиально-озерными отложениями по глубине 1-2 м от поверхности грунта, толщина слоя 10-30 м.

3. Водоносный горизонт палеоген-неогеновые отложения расположен в Кировском и Краснофлотском районе. Водовмещающие породы – пески, галечники глины и пласты бурого угля. Слой расположен по глубине 5 м от поверхности грунта. В Краснофлотском районе в местах выхода данного горизонта на поверхность происходит массовая подпитка горизонта атмосферными осадками. Зафиксировано негативное влияние данного водоносного горизонта на подземные конструкции и сети в местах его распространения.

4. Водоносный горизонт трещинно и пластово-трещинных вод палеозойских и мезозойских пород расположен по склонам холмов и береговых обрывов, в Центральном и Краснофлотском районе города. Слой располагается на глубине 0,5-12 м от дневной поверхности. Отмечено подтопление данным

водоносным горизонтом подземных частей зданий и сооружений, расположенных на возвышенностях в Центральной и Краснофлотской части г. Хабаровска [67].

5. Техногенный водоносный горизонт. Зафиксировано распространение данного водоносного горизонта на площади в пределах 100 км², расположенный на глубине на 0,1-7 м от поверхности грунта [44].

В связи с особенностями гидрогеологических условий и вследствие частых паводковых явлений на р. Амур на территории г. Хабаровска и Хабаровского муниципального района нередки ситуации, при которых предзимнее понижение уровня подземных вод (УПВ) в предзимний период не успевает снизиться до минимальных значений, в связи с чем нередко наблюдается «перехлест» фронтом промерзания грунтовых вод, уровень которых выше, чем должен быть на данный период года (рис. 1.16) [44].

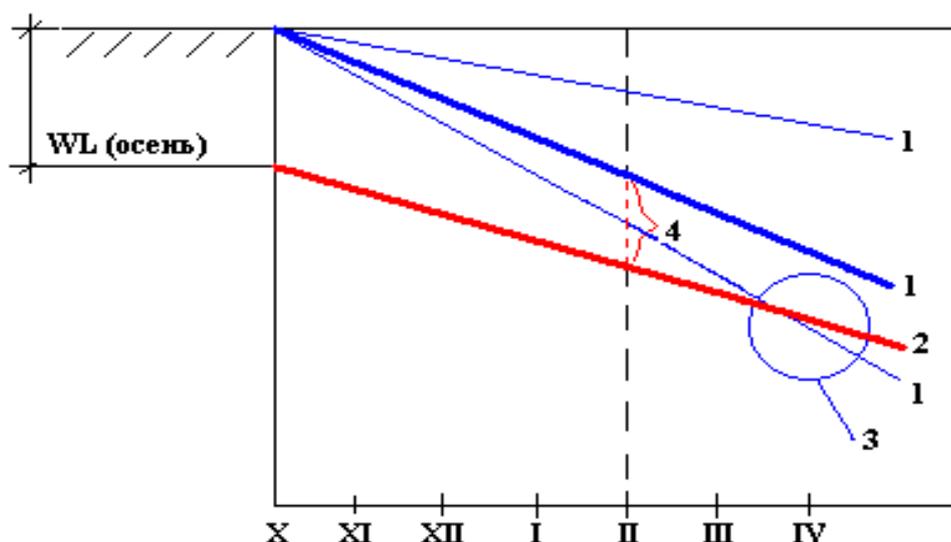


Рис. 1.16. Графики трендов подземных вод в осенне-зимний период;
 1 – уровни подземных вод в зависимости от скорости промерзания грунтового массива; 2 – понижение УПВ в осенне-зимний период; 3 – фронт промерзания, пересекающий УПВ; 4 – возможное расстояние между фронтом промерзания и УПВ.

Увеличение влажности грунта негативно влияет на физико-механические характеристики грунта, значительно снижая его показатели. На рис.1.17 приведены физико-механические характеристики грунтов, распространенных в г. Хабаровске.

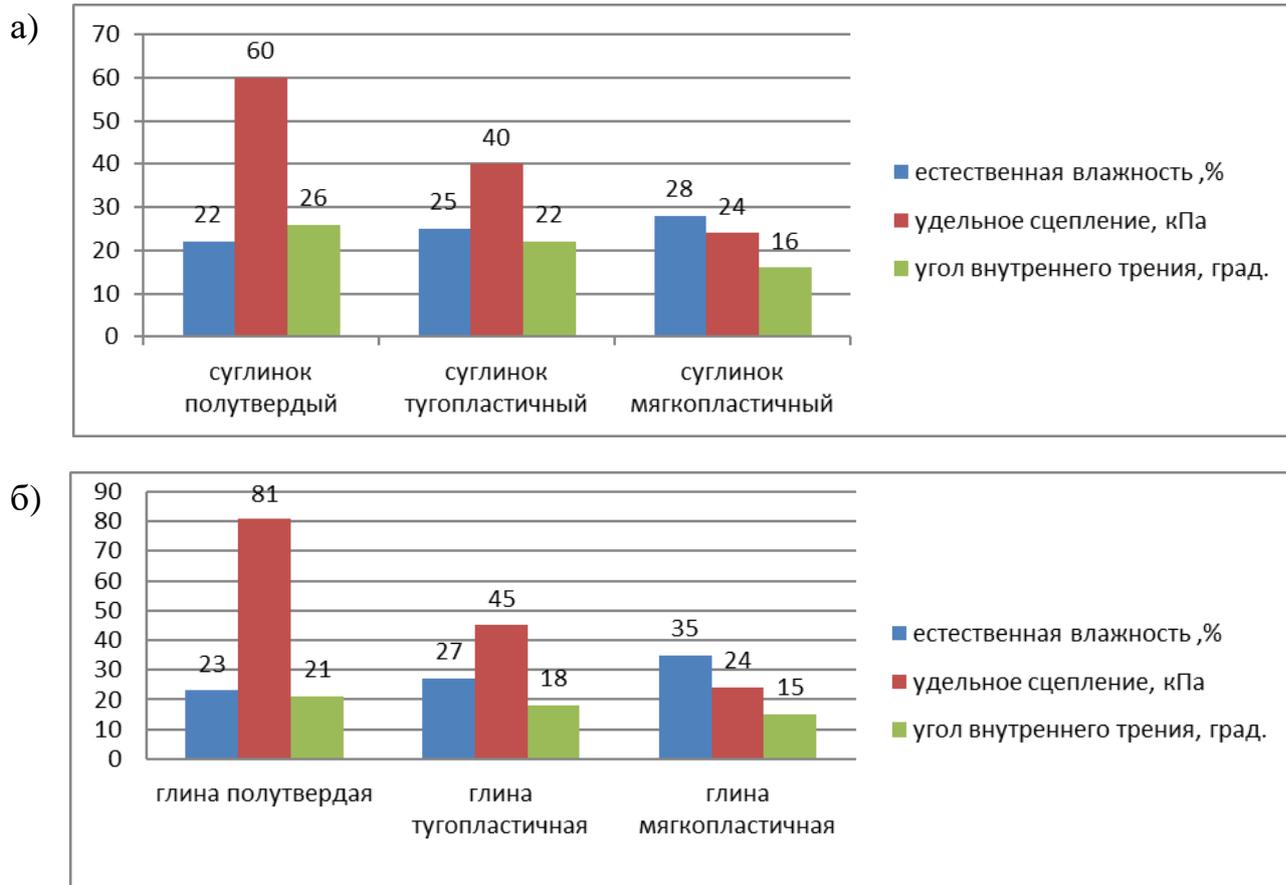


Рис. 1.17. Значения физико-механических характеристик для: а) глинистых грунтов при естественной влажности 23-35%, б) суглинистых грунтов при естественной влажности 22-28%.



Рис.1.18. Деформации конструкций крыльца здания Хабаровской краевой филармонии в 2014 г., сопровождающейся просадкой фундамента и суффозией подстилающих грунтов. 1 - просадка конструкций колонн, 2 – растрескивание декоративных элементов баз колонн.

Примером влияния морозного пучения на эксплуатацию зданий в условиях г. Хабаровска является деформация (просадка) конструкций крыльца Хабаровской Краевой Филармонии в августе 2014 г (рис. 1.18). Здание построенного в верхней части склона низкосопочного холма (ул. Муравьева-Амурского). После значительного паводка 2013 г. произошел значительный подъем грунтовых вод, вызвавший значительное пучение, а также суффозию подстилающих слоев.

1.5 Выводы по главе

Морозное пучение приводит к вертикальным перемещениям (деформациям) фундаментов малонагруженных зданий и сооружений, попутно вызывая перемещения несущих конструкций зданий и сооружений, что приводит к затруднению в эксплуатации и к авариям, поэтому, расчетная оценка влияния воздействия сил морозного пучения является актуальной.

Целесообразным является изучение влияния морозного пучения на здания и сооружения при совместном расчете. Тем не менее аналитические способы расчета позволяют рассчитать только предельные деформации, составляющие только 25 % от предельно допустимых воздействий, не учитывая усилия от деформаций в надземных конструкциях. На сегодняшний день с помощью МКЭ можно решать теплофизические задачи, позволяющие определить распространение температурных полей, нагрузки, деформации и напряжения, возникающие в строительных конструкциях [45]. При этом имеется возможность предварительного моделирования процесса промерзания грунта с определением распространения фронта промерзания. Моделирование процессов промерзания на стадии проектирования фундаментов малонагруженных зданий и сооружений позволяет определить глубину промерзания и для каждого отдельного случая с применением мероприятий, позволяющих снизить воздействие касательных сил. Ввиду того, что величина сил морозного пучения, воздействующая на фундамент малонагруженного здания или сооружения, в любом случае будет превосходить вес надфундаментных конструкций, неизбежны деформации, подъем при

промерзании и морозном пучении. Немаловажную роль играют и физико-механические свойства грунтов, а также их изменение с течением времени. Таким образом, основным фактором, влияющим на величину деформации фундаментов под действие морозного пучения, является температурный режим вокруг фундамента, т.е, показателей температуры, при которой морозное пучение невозможно. Исследования в данном направлении широко озвучены [6], в том числе предложены конструкции фундаментов, позволяющие избежать влияния фронта промерзания на фундамент путем смещения наружной части фундамента во внутреннюю часть здания [52].

В данной диссертационной работе цель исследования – совершенствование метода защиты оснований фундаментов эксплуатируемых малонагруженных производственных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах.

На основании вышеуказанной цели в исследование входят следующие задачи:

1. Анализ экспериментальных и теоретических исследований методов прогнозирования, устройства и защиты, устраиваемых в сезонно промерзающих грунтах:

2. Исследование температурного режима грунта, взаимодействующего с фундаментами малонагруженных зданий и сооружений, в том числе методами численного моделирования;

3. Разработка метода расчета защиты фундаментов в условиях сезонного колебания температур.

4. Анализ и обобщение результатов выполненных исследований; составление рекомендаций для использования в инженерной практике, в том числе в районах Дальнего Востока Российской Федерации.

5. Разработка методики диагностики и прогнозирования эксплуатации малонагруженных объектов в сезонно промерзающих пучинистых грунтах с применением численных методов расчета.

ГЛАВА 2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАЩИТЫ ОСНОВАНИЙ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

2.1 Методика расчета толщины теплоизоляции основания фундаментов малоагруженных объектов

В данной работе предложена методика по определению толщины теплоизоляции при нахождении фактической глубины сезонного промерзания на основании результатов решения теплофизической задачи по результатам численного моделирования.

Толщина пенопластового теплоизоляционного покрытия вычисляется по формуле:

$$\delta_i = \frac{df_g}{K_i} \quad (2.1)$$

где: δ_i - толщина теплоизоляции, м.;

df_g - глубина промерзания грунта по результатам численного моделирования, м.;

K_i - коэффициент теплоизоляции, определяемый по графику в зависимости от суммы градусо – суток с действием отрицательных температур.

Ширина (вылет) теплоизоляции принимается по результатам численного моделирования, а также возможности размещения изоляции для защиты конструкции. Тем не менее в рамках предварительного расчета вылет теплоизоляции принимается в 1 метр.

На основании расчета (2.1) составлен график рассеивания коэффициента теплоизоляции рис. 2.1.

Стоит отметить, что пылеватые суглинки приобретают твердомерзлое состояние при температуре от 1°С до -0,6°С, когда фазовый переход влаги резко снижается или прекращается вовсе. В данном случае будет наблюдаться уменьшение глубины промерзания [13].

В связи с этим при решении теплофизической задачи целесообразно принимать расчетную температуру равную $-0,6^{\circ}\text{C}$, в этом случае график рассеивания коэффициента теплоизоляции для районов Дальнего Востока выглядит следующим образом (рис. 2.1).

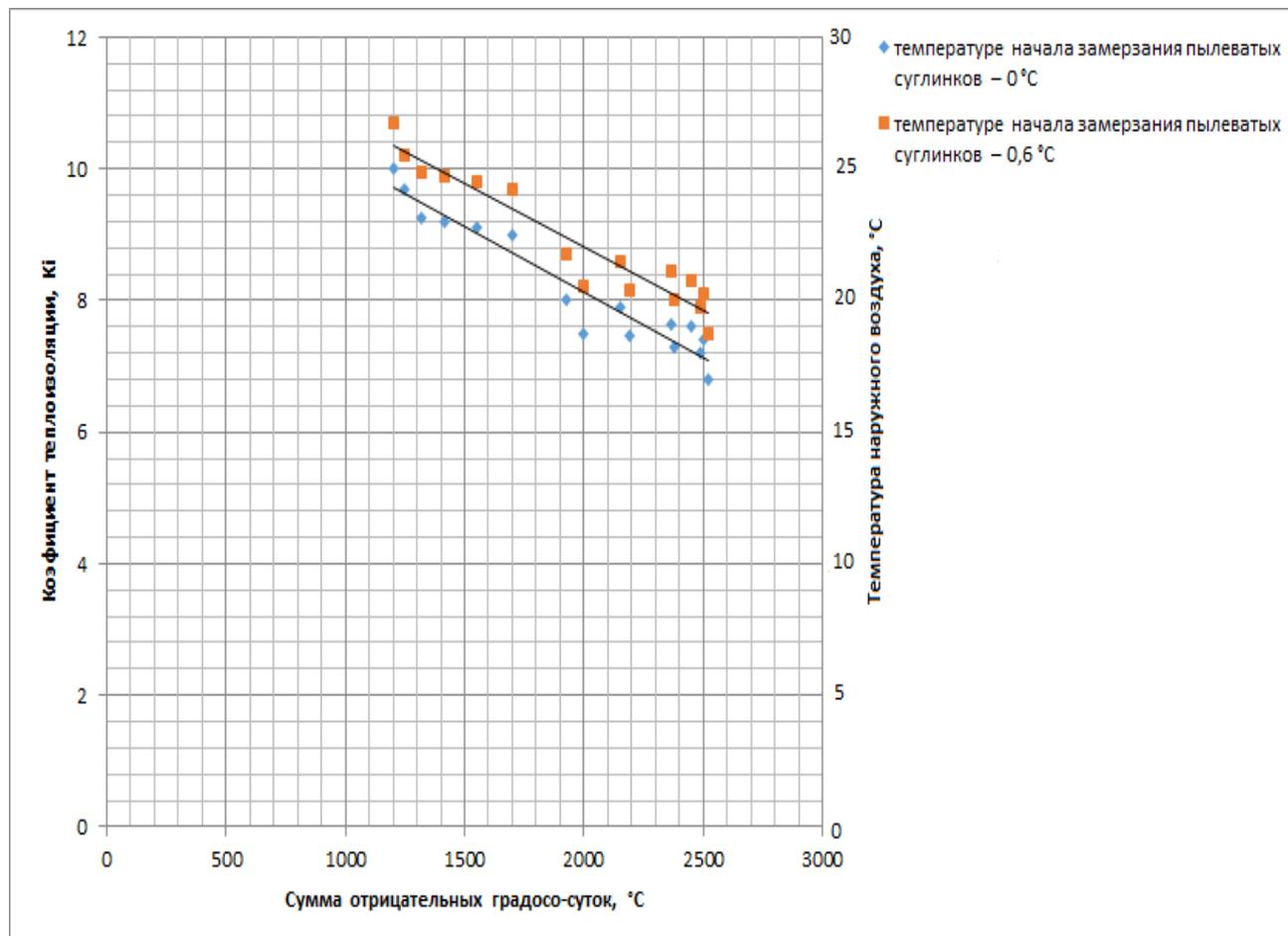


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента теплоизоляции для районов Дальнего Востока при температуре начала промерзания 0 и $-0,6^{\circ}\text{C}$.

Смещение линии тренда в данном случае обусловлено уменьшением глубины промерзания и увеличением времени фазовых переходов. Сравнения глубин промерзания и толщин теплоизоляции для населенных пунктов Хабаровского края при температурах начала замерзания грунта при 0°C и $-0,6^{\circ}\text{C}$ приведены в таблице 4.

По результатам, приведенным в таблице, можно отметить, что уменьшение глубины промерзания позволяет снизить объемы выполняемых работ и применяемых материалов, показывая экономический эффект.

В работе предложена возможность подбора толщины теплоизоляции, исходя из рассчитанной глубины промерзания грунта и температуры замерзания грунта (табл. 5 и табл. 6).

Таблица 4. Сравнения глубин промерзания и толщины теплоизоляции для городов Хабаровского края при температурах начала замерзания грунта при 0°C и $-0,6^{\circ}\text{C}$.

№ п.п.	Наименование населенного пункта	Глубина промерзания, см	Толщина теплоизоляции и при температуре грунта 0°C , см	Глубина промерзания, см	Толщина теплоизоляции при температуре грунта $-0,6^{\circ}\text{C}$, см
1.	Хабаровск	268	29,7	203	20,5
2.	Советская Гавань	185	19,4	181	18,0
3.	Комсомольск- на - Амуре	292	34,3	220	27,3
4.	Облучье	301	46,3	230	33,3

В таблицах 5 и 6 представлены глубины промерзания грунта при устройстве теплоизоляции толщиной 100-400 мм для пылеватых суглинков при температуре замерзания грунта 0°C и $-0,6^{\circ}\text{C}$.

Таблица 5. Глубины промерзания грунта при устройстве теплоизоляции толщиной 100-400 мм для пылеватых суглинков при температуре замерзания грунта 0°C .

№ п/п	Толщина теплоизоляции (экструдированный пенополитсирол), м	Глубина промерзания грунтов в населенном пункте, при температуре замерзания грунта 0°C , м			
		Хабаровск	Советская Гавань	Комсомольск-на - Амуре	Облучье
1	0,100	0,223	0,09	0,208	0,240
2	0,200	0,179	0	0,125	0,181
3	0,300	0	0	0,041	0,120
4	0,400	0	0	0	0,060
5	0,500	0	0	0	0

Таблица 6. Глубины промерзания грунта при устройстве теплоизоляции толщиной 100-400 мм для пылеватых суглинков при температуре заморзания грунта $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

№ п/п	Толщина теплоизоляции (экструдированный пенополистирол), м	Глубина промерзания грунтов в населенном пункте, при температуре заморзания грунта $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, м			
		Хабаровск	Советская Гавань	Комсомольск-на - Амуре	Облучье
1	0,100	0,162	0,09	0,146	0,164
2	0,200	0,0812	0	0,073	0,098
3	0,300	0	0	0	0,032
4	0,400	0	0	0	0
5	0,500	0	0	0	0

На рисунках 2.2 и 2.3 приведены зависимости глубины промерзания грунтового массива от толщины теплоизоляции для пылеватых суглинков при температуре заморзания грунта 0 и $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

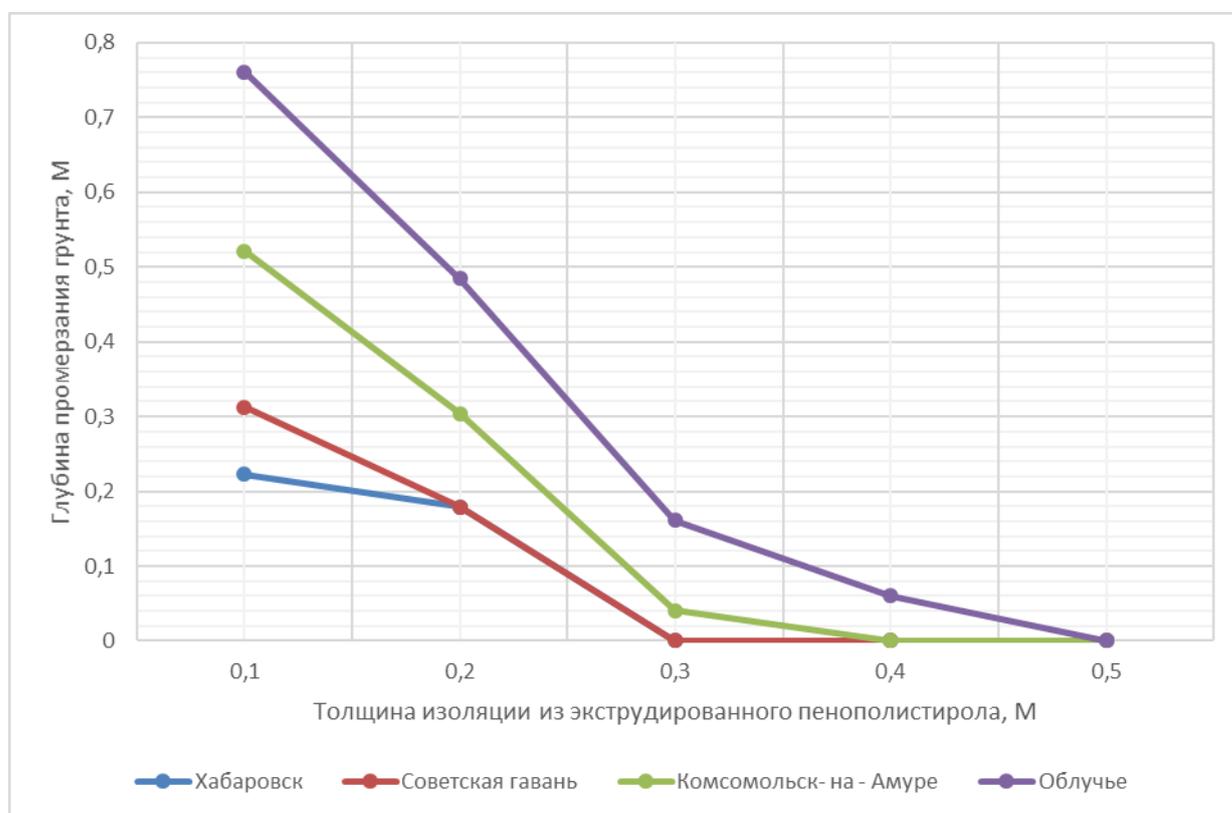


Рис. 2.2. Зависимость глубины промерзания грунта от толщины теплоизоляции для глинисто-пылеватых грунтов при температуре заморзания грунта $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

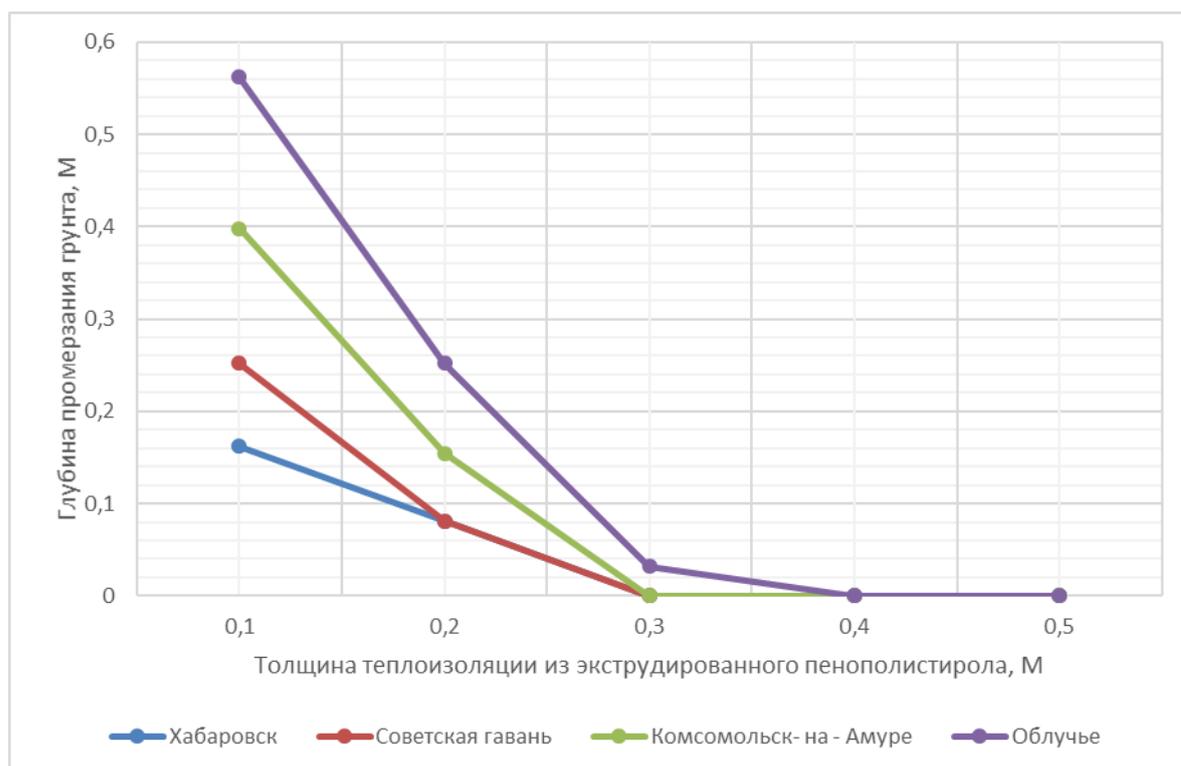


Рис. 2.3. Зависимость глубины промерзания грунта от толщины теплоизоляции для глинисто-пылеватых грунтов при температуре заморзания грунта $-0,6^{\circ}\text{C}$.

Несмотря на то, что исследования глубины промерзания выполнялись на территории Дальнего Востока РФ, возможно применение расчетной температуры грунта, равной $-0,6^{\circ}\text{C}$, для территории России.

2.2 Порядок определения эффективности защитных мероприятий промерзающих оснований малонагруженных зданий и сооружений

Поскольку в процессе эксплуатации здания и сооружения топливно-энергетического комплекса и транспорта проходят обследования технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, необходим комплексный подход к определению дефектов, причин их появления и методов устранения.

На основании вышеуказанного в случае выявления дефектов строительных конструкций, связанных с действием сил морозного пучения, порядок определения фактического технического состояния включает в себя следующие способы инструментального неразрушающего контроля:

1. Определение физико-механических характеристик грунтов лабораторным способом, в случае отсутствия возможности взятия проб – методам сейсмического зондирования и георадарным профилированием;

2. Определение фактического состояния, положения и геометрических размеров фундамента, в случае отсутствия возможности устройства шурфов – методам сейсмического зондирования.

При подтверждении образования дефектов строительных конструкций вследствие воздействия сил морозного пучения проводится диагностика технического состояния, которая включает в себя следующее:

1. Диагностика за температурным режимом грунта посредством устройства термоскважин в устье фундаментов;

2. Диагностика, наблюдение за вертикальными перемещениями фундаментов в период измерений геодезическими методами.

На рис.2.4 приведена схема диагностики определения и подбора защитных мероприятий оснований фундаментов.

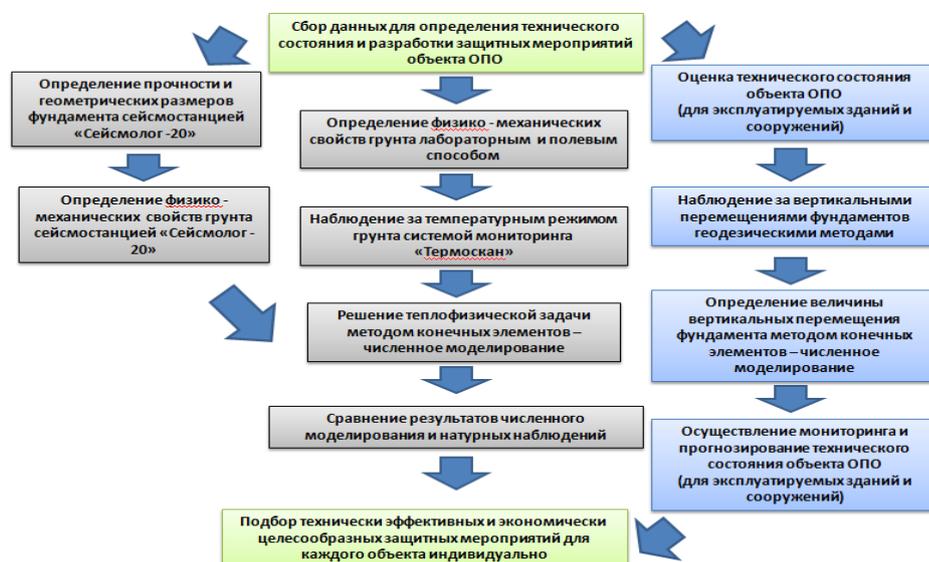


Рис. 2.4. Схема диагностики определения и подбора защитных мероприятий оснований фундаментов.

В ходе определения зависимости деформаций фундаментов и надфундаментных конструкций рассматриваются варианты применения защитных мероприятий; данные, полученные при проведении обследования и

мониторинга технического состояния, используется для проведения численного моделирования для определения эффективности применяемых мероприятий.

Методика мониторинга за температурным режимом грунта включает в себя устройство термоскважин в устье фундамента на глубину заложения с проведением измерения периодичностью не менее двух раз в месяц. Полученные данные фиксируются и позволяют в текущем режиме отслеживать изменения, проводить сравнения и оценивать эффективность применяемых защитных мероприятий. Полученные данные применяются для сравнения с результатами численного моделирования при решении теплофизической задачи, позволяя подбирать наиболее эффективные методы по защите фундаментов малонагруженных зданий от морозного пучения.

На рис. 2.5 приведена схема методики диагностики температурного режима грунта.

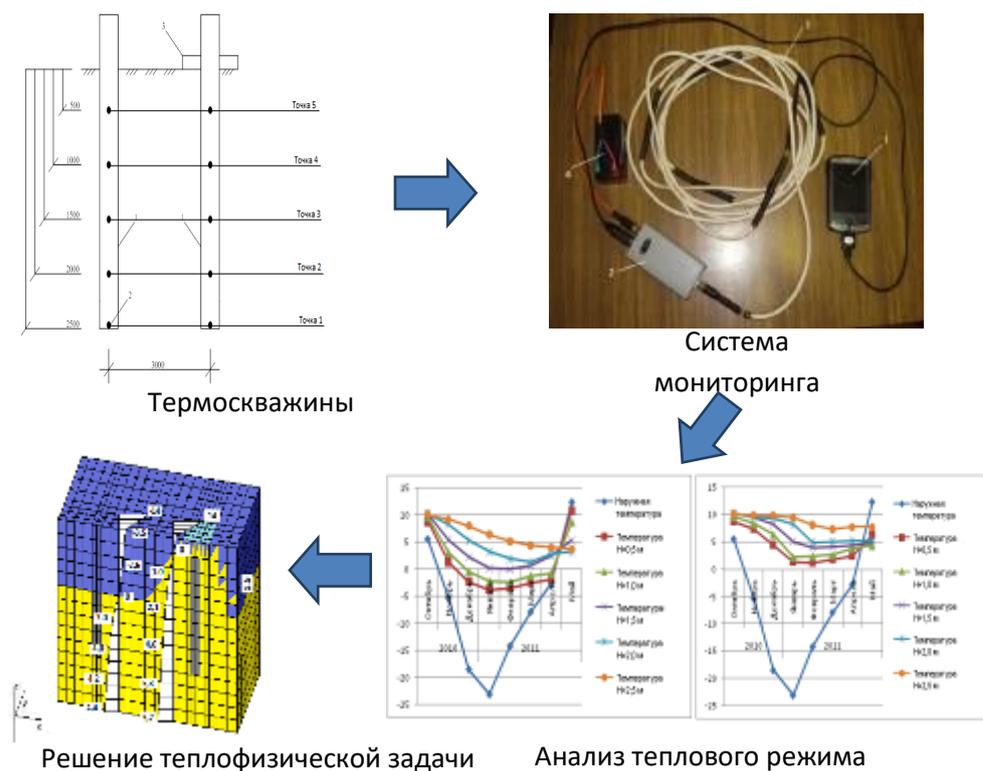


Рис. 2.5. Схема методики диагностики температурного режима грунта.

Методика мониторинга и определения физико-механических свойств грунта включает в себя следующее: определение методами сейсмондирования физико-механических свойств грунта, а также фактического состояния фундаментов без

устройства шурфов и скважин; на основании полученных данных и численного моделирования подбираются наиболее эффективные методы защиты строительных конструкций.

На рис.2.6 приведена схема методики диагностики сейсмоакустическими методами.

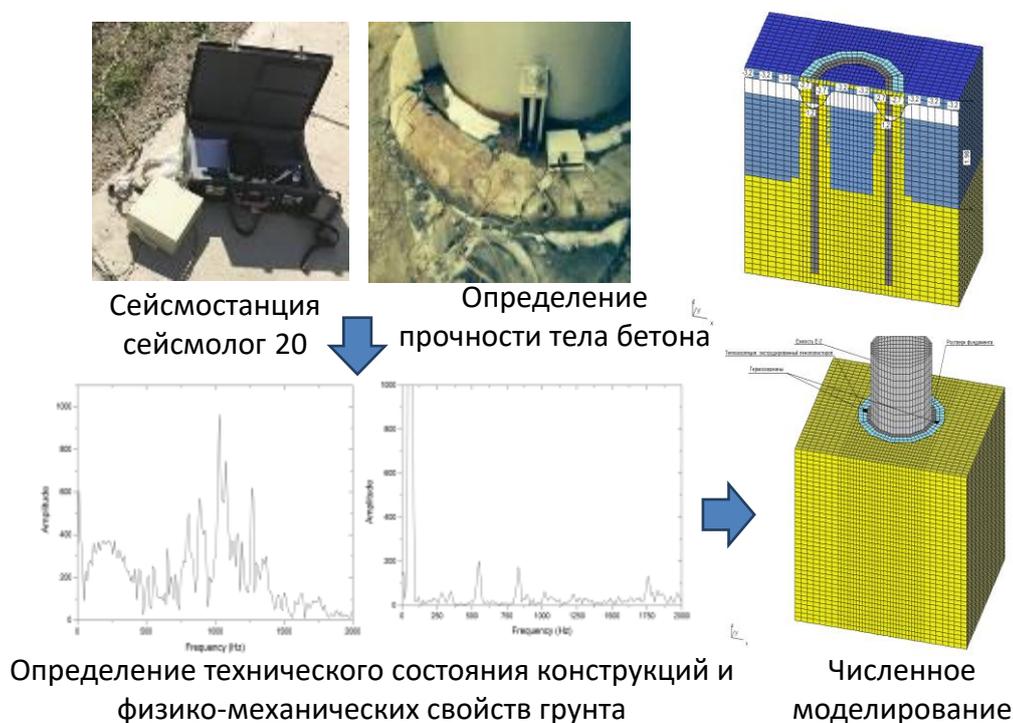


Рис. 2.6. Схема методики диагностики сейсмоакустическими методами.

Применение инструментальных методов оценки технического состояния являются эффективными и необходимыми в процессе проведения диагностики технического состояния, тем не менее методы численного моделирования, в частности при решении температурных задач, позволяют оптимально подбирать наиболее эффективные методы защиты фундаментов, а также прогнозировать возможность дальнейшей эксплуатации.

Полученные по результатам значения определяются по следующим критериям:

-максимальная фактическая глубина промерзания, распределение температуры по глубине грунта;

-изменения физико-механических характеристик грунта в пределах исследуемой толщи по сравнению с исходными характеристиками.

2.3 Лабораторные исследования по взаимодействию пучинистого грунта с моделью малонагруженного фундамента при промерзании

В рамках изучения по взаимодействию малонагруженной модели фундамента с промерзающим грунтовым массивом без воздействия внешних нагрузок выполнены лабораторные исследования с промораживанием пучинистого грунта в морозильной камере.

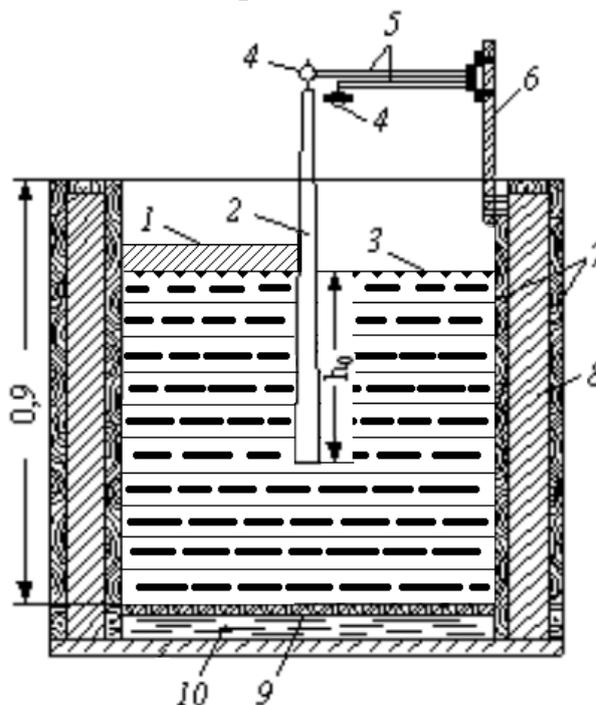


Рис. 2.7. Схема устройства стенда.

1- теплоизоляция (пенополистирол); 2 - модель фундамента; 3 – грунт (суглинок); 4 – индикаторы часового типа; 5 – элементы оттяжек; 6- стойка для крепления; 7 – наружные стенки стенда; 8 – теплоизоляция; 9 – доски с отверстиями; 10 – подогреватели.

Для выполнения исследований был изготовлен стенд размерами 1,2x0,6x0,9 м (рис.2.7), заполненный грунтом (суглинком), с начальной влажностью 26 %, в дальнейшем при проведении опытов влажность грунта увеличивалась до 31 %, плотность грунта в стенде задана максимально близкой к естественной. Для

размещения модели фундамента в грунте пробуривались отверстия. Модель фундамента заглублена в грунт на глубину 65% от мощности слоя грунта.

Вертикальные и горизонтальные перемещения модели фундамента фиксировались с помощью индикаторов часового типа. Размещенный в стенде грунт промораживали при температуре от -10°C до -20°C , изменяя температуру в морозильной камере каждые 3 дня с шагом в 2°C .

Для исключения бокового промерзания и промораживания грунта строго сверху боковые стенки в стенде сделаны двойными с заполнением теплоизоляцией. В днище стенда установлена ванна, в процессе опытов заполняемая водой, подогрев воды осуществляется трубчатыми нагревателями, расположенными на площади ванны. Уровень воды, установленный в ванне, постоянный; максимальная высота уровня по нижнему обрезу грунта; для сообщения воды с грунтом при его промораживании в днище стенда сделаны отверстия. В процессе проведения опытов осуществлялось измерение величины пучения грунта пучинномерными стержнями.

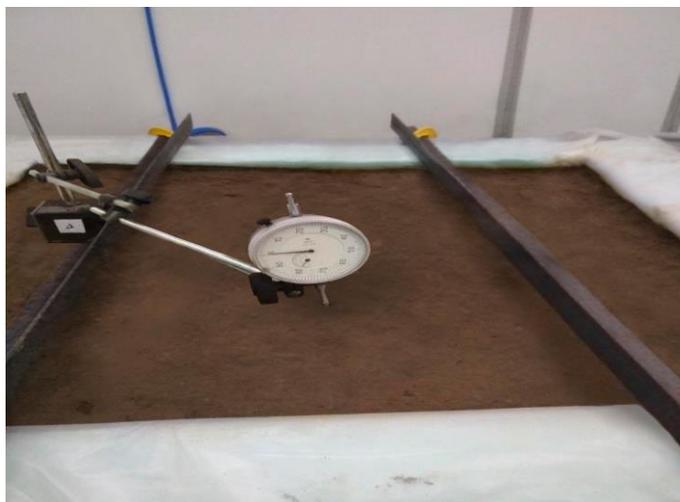


Рис. 2.8. Устройство модели фундамента в грунте.

При выполнении исследований влажность (W) и объемный вес грунта ($\gamma_{\text{ск}}$) изменяли в пределах следующих значений: 22 – 23 д.е., и 2,20 – 1,95 г/см² соответственно.

При оценке влияния применения тепловой изоляции грунт сверху закрывали теплоизоляцией толщиной 100-250 мм с шагом 50 мм. При изменении толщины изоляции опыты повторяли три раза.

В ходе проведения исследований было установлено следующее. Модель фундамента при промерзании подвергается воздействию как нормальных, так и касательных сил при морозном пучении в период имитации процессов промерзания; скорость при нарастании вертикальных, а также горизонтальных деформаций происходит постепенно, пучение грунта при этом продолжается. Данные процессы происходили на фоне увеличения глубины промерзания подошвы модели фундамента.

На рис. 2.9 представлен результирующий график вертикальных перемещений модели фундамента.

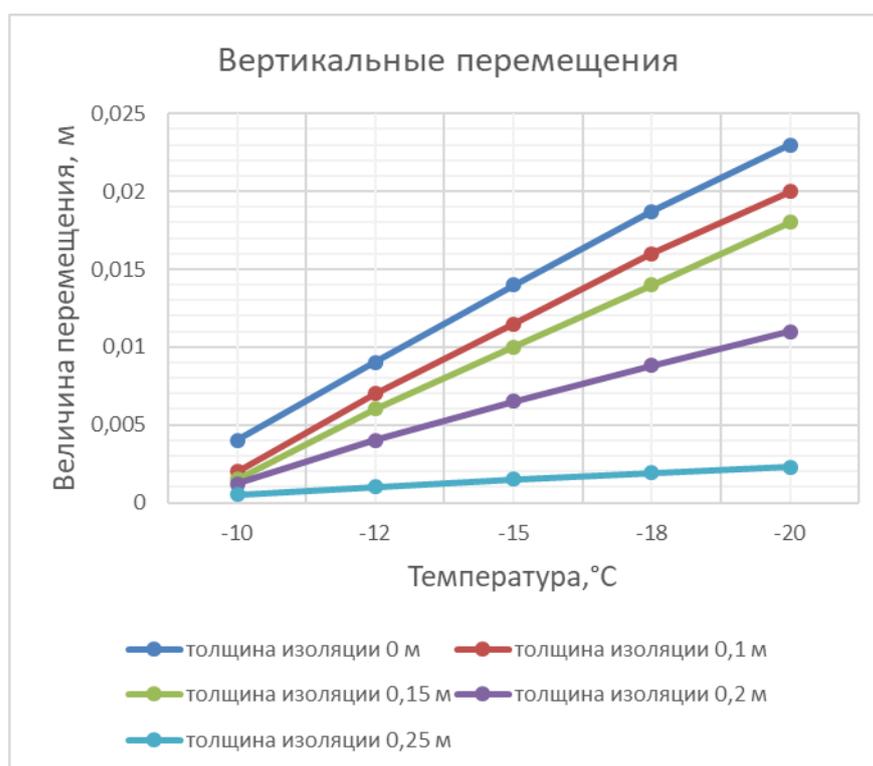


Рис.2.9. Результирующий график вертикальных перемещений модели фундамента при различных температурах промораживания грунта и разной толщине применяемой теплоизоляции.

Вертикальные перемещения модели фундамента увеличиваются с понижением температуры как без изоляции, так и при использовании горизонтальной изоляции, наблюдается монотонный рост деформаций. При этом

достижения максимальной глубины промерзания ниже подошвы «фундамента» наблюдалось в случае проведения эксперимента без горизонтальной изоляции. При применении теплоизоляции промерзание грунта по телу фундамента не наблюдалось.

Помимо воздействия нормальных сил от морозного пучения вследствие смерзания (цементации) грунта и боковой поверхности тела фундамента происходит развитие и касательных сил при морозном пучении, что вызывало развитие сдвига модели фундамента. Направление сдвига было ориентировано в сторону размещения датчиков и оттяжек, сыгравших роль связей для модели фундамента.

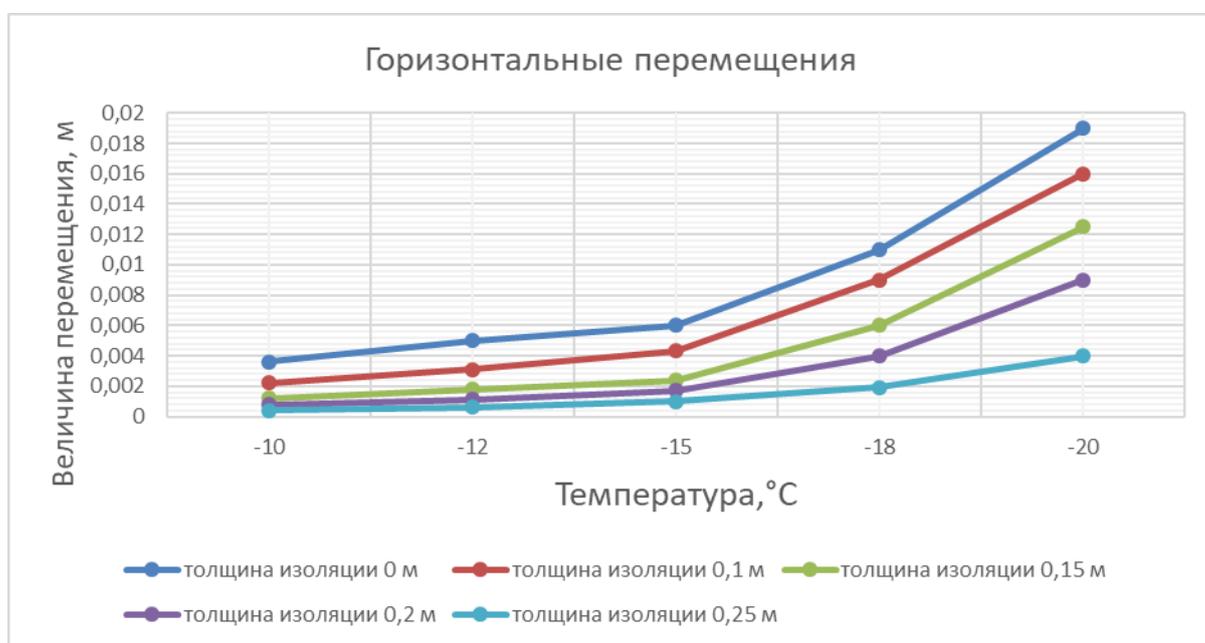


Рис. 2.10. Результирующий график горизонтальных перемещений модели фундамента при различных температурах промораживания грунта и разной толщине применяемой теплоизоляции.

Рост горизонтальных деформаций развивался с понижением температуры по экспоненциальной зависимости при росте глубины промерзания грунта и увеличения площади смерзания боковой поверхности. Стоит отметить, что при увеличении толщины горизонтальной теплоизоляции фундамента отмечается уменьшением глубины промерзания и, как следствие, снижения величины горизонтальных перемещений. На рис. 2.10 приведен результирующий график горизонтальных перемещений модели фундамента.

При проведении исследований, в частности при окончании цикла промораживания и замене горизонтальной теплоизоляции, производилась фиксация морозобойных трещин на поверхности грунта. По результатам изучения количества и образования трещин было выявлено, что с увеличением толщины применяемой горизонтальной тепловой изоляции происходит уменьшение общей доли трещин на поверхности грунта, свидетельствующее об уменьшении интенсивности пучения грунта вследствие уменьшения образования ледяных линз в дневной поверхности и около поверхностной зоне, что может быть обусловлено уменьшением количества миграции влаги к фронту промерзания и, как следствие, снижением объемов криогенных процессов. На рис. 2.11 приведен график распределения морозобойных трещин при морозном пучении и применяемой толщине горизонтальной теплоизоляции.

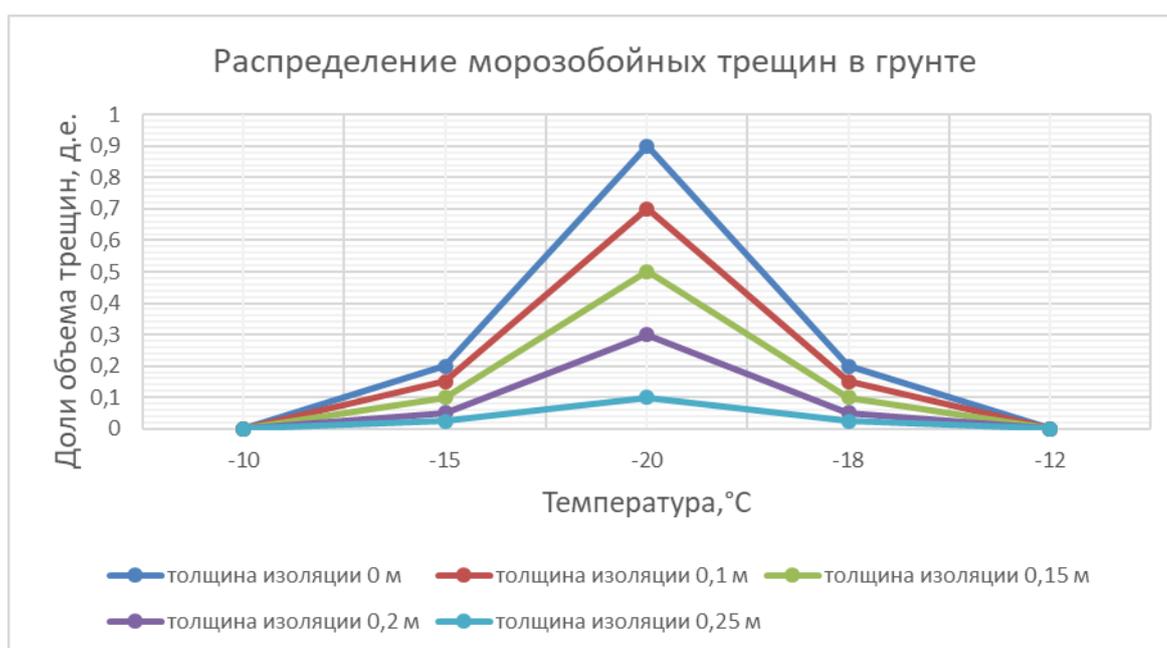


Рис. 2.11. Распределение морозобойных трещин в грунте при морозном пучении и применяемой толщине горизонтальной теплоизоляции.

Поскольку при проведении каждого нового цикла испытаний осуществлялась заливка определенного объема воды для формирования требуемой влажности грунта, была проведена оценка влияния природной влажности грунта на деформацию модели фундамента при применении горизонтальной теплоизоляции. Результаты наблюдений свидетельствуют о том,

что с применением горизонтальной теплоизоляции происходит плавное снижение деформации независимо от роста влажности грунта. Рост деформации при увеличении влажности также обусловлен притоком воды к фронту промерзания, границе фазовых переходов, а также снижению скорости промерзания вследствие увеличения доли содержания воды в грунте.

На рис. 2.12. представлен результирующий график зависимости изменения величины деформаций (вертикальных перемещений) модели фундамента при изменении влажности грунта.

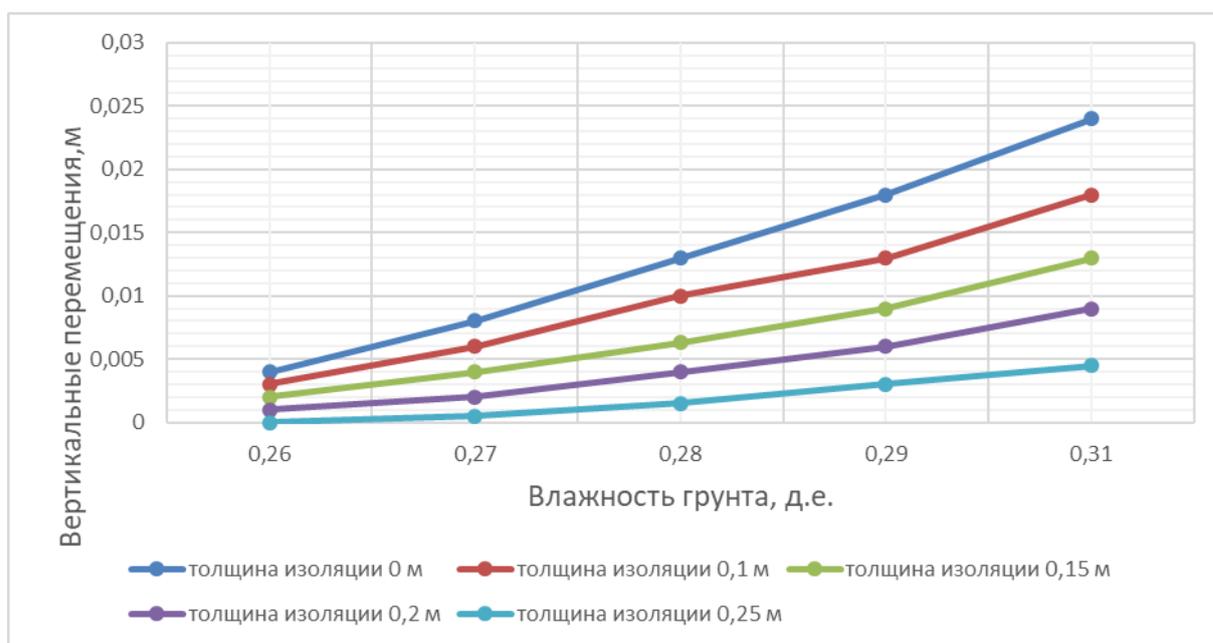


Рис. 2.13. Результирующий график зависимости величины деформации (вертикальных перемещений) модели фундамента при изменении влажности грунта.

Анализ результатов опытов показывает, что на величину деформации модели фундамента влияет наличие и толщина применяемой тепловой изоляции. Изменение таких значений, как температура окружающего воздуха, природная влажность грунта, оказывают влияние на величину и скорость промерзания грунта. В то же время применение максимального слоя горизонтальной теплоизоляции значительно уменьшают протекание данных процессов, о чем свидетельствуют результаты опытов. Применение теплоизоляции промежуточной толщины частично снижают негативное влияние криогенных процессов в грунте, при этом очевидно, что такие значения, как глубина промерзания, оказывает

влияние на величину выпучивания применяемой модели фундамента. Тем не менее при проведении опытов установлено, что изменение температуры в пределах 10-20⁰С несущественно влияют на деформации и характер протекания криогенных процессов в грунте.

Выявленные в ходе проведения опытов значения и зависимости могут быть применены при осуществлении качественной оценки устойчивости фундаментов глубокого заложения, эксплуатируемых в сезонно промерзающих пучинистых грунтах.

2.4 Расчет процессов промерзания оснований фундаментов в программном комплексе FEM models с применением модуля «Termoground»

Для решения теплофизических задач в данной работе в соответствии с СП 22.13330.2016 (п. 5.1.4 и 5.1.10) применялось численное моделирование в программном комплексе FEM models с использованием модуля «Termoground» [42, 43], разработанного на кафедре Геотехника, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургского архитектурно-строительного государственного университета» профессорами: С.А. Кудрявцевым, И.И. Сахаровым, В.Н. Парамоновым. Данный программный продукт прошел апробацию и позволяет с достаточной степенью достоверности осуществлять моделирование и анализировать происходящие в массиве грунта процессы промерзания и морозного пучения на основании полученных значений (установившихся) температурных и влажностных полей.

Уравнением теплопроводности (2.2) описываются процессы промерзания (оттаивания), происходящие в процессе его теплового режима в пространственной постановке расчетной схемы [91, 92, 119, 120].

$$C_{th(f)}\rho_d \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{th(f)} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (2.2)$$

где: $C_{th(f)}$ – показатель (удельной) теплоемкости для мерзлого (талого) грунта (Дж/гК·К); ρ_d – показатель плотности для обезвоженного (сухого) грунта (кг/см³);

T – температурное значение (К); t – временное значение (с); $\lambda_{th(f)}$ – показатель теплопроводящей характеристики грунтового массива (мерзлого или талого), Вт/м²·°С; x, y, z – положение (координаты) для трехмерного пространства; q_v – значение, при наличие внутренних источников в грунтовом массиве (Вт/м³).

При решении уравнения (2.2) можно определить величину значения для входящего и выходящего теплового потока в рассматриваемом объеме грунта в любой выбранной точке в пространстве и времени, и являющейся равной значению изменения числа теплооборотов.

В случае, когда условия принимают установившийся вид, значение величины потока как входящего, так и выходящего, в рассматриваемом объеме грунта приобретает равное значение в любом участке времени, при этом сокращается левая часть в уравнении 2.2 и выражение приобретает вид, приведенный ниже:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v = 0 \quad (2.3)$$

Для функции теплоемкости характерны фактора: 1) значение объемной теплоемкости для мерзлого (талого) грунта; 2) значение скрытой теплоты для фазовых превращений (переходов) при воздействии отрицательного значения температуры в процессе поглощения или выделения грунтом в ходе изменения фазовых условий грунтовой влаги вода-лед характерен следующий вид:

$$C_{(f)} = C_{(f)} + L_0 \frac{\partial W_w}{\partial T} \quad (2.4)$$

где: L_0 – значение теплоты при фазовых переходах (превращениях) из воды в лед (335·106 (Дж/м³)); W_w – значение наличия некристаллизованной влаги в мерзлом грунтовом массиве (д.е.).

Объемная теплоемкость ($C_{th(f)}$) является наклонной кривой для мерзлой и талой зоны грунта на графике для теплооборотов (рис. 2.14).

В качестве слагаемого для уравнения (2.4) значение теплоты фазовых переходов является описанием процесса (рис. 2.14), в рамках которого изменяется

агрегатное состояние воды в грунтовом массиве (в процессе фазовых превращений) в период действия отрицательного значения температуры и является его компонентой (при образовании скрытого значения при фазовых переходах).

$$L_0 \frac{\partial W_w}{\partial T} \quad (2.5)$$

В том случае, когда значение функции для содержания не кристаллизованной (незамерзшей) влаги в грунте была вычислена, суммарное содержание некристаллизованной (незамерзшей) влаги приобретает следующий вид:

$$W_w = K_w W_p \quad (2.6)$$

где: W_p – значение влажности грунтового массива на границе его раскатывания (д.е.); K_w – является коэффициентом содержания не кристаллизованной (незамерзшей) влаги (для мерзлых глинистых грунтов) в соответствии с таб. 3.1 СП 25.13330.2020.

При подстановке выражения 2.5 в выражение 2.2 произойдет преобразование в следующее уравнение:

$$\rho_d (C_{th(f)} + L_0 \frac{\partial W_w}{\partial T}) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{th(f)} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (2.7)$$

На рис. 2.14 представлена функция процесса теплооборотов в грунтовом массиве при криогенных явлениях (промерзание/оттаивание). Крутой частью функции, которая расположена между зонами промерзания и оттаивания, является скрытая теплота для фазовых переходов в период действия температур с отрицательным значением, которую сам грунтовый массив поглощает или наоборот отдает в ходе прохождения влагой в грунтовом массиве определенного фазового состояния. Наклоны функции, расположенные по краям, являются объемной теплоемкостью мерзлой или талой зоны в зависимости от наклона самой функции.

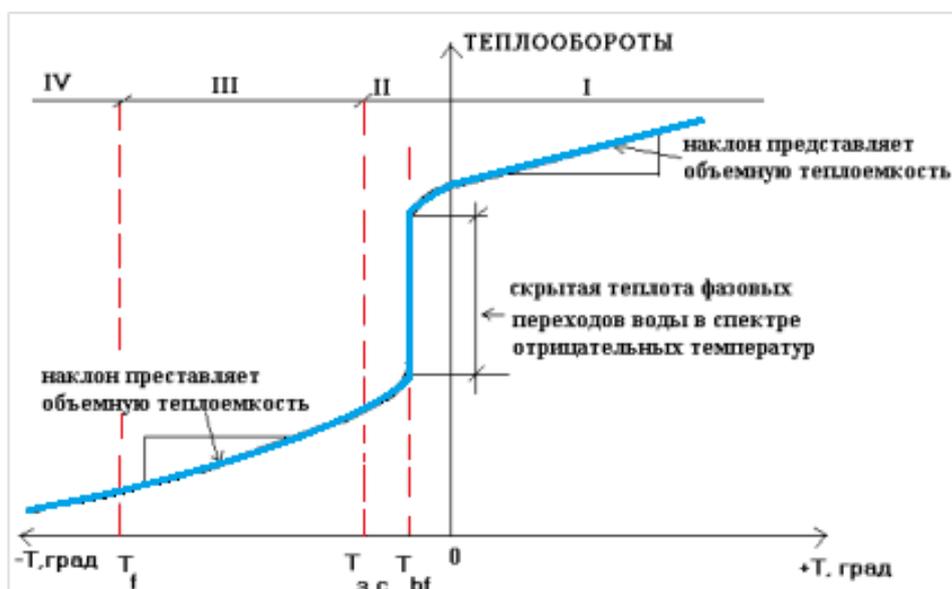


Рис. 2.14. Функция процесса теплооборотов в грунтовом массиве при криогенных явлениях (промерзание/оттаивание).

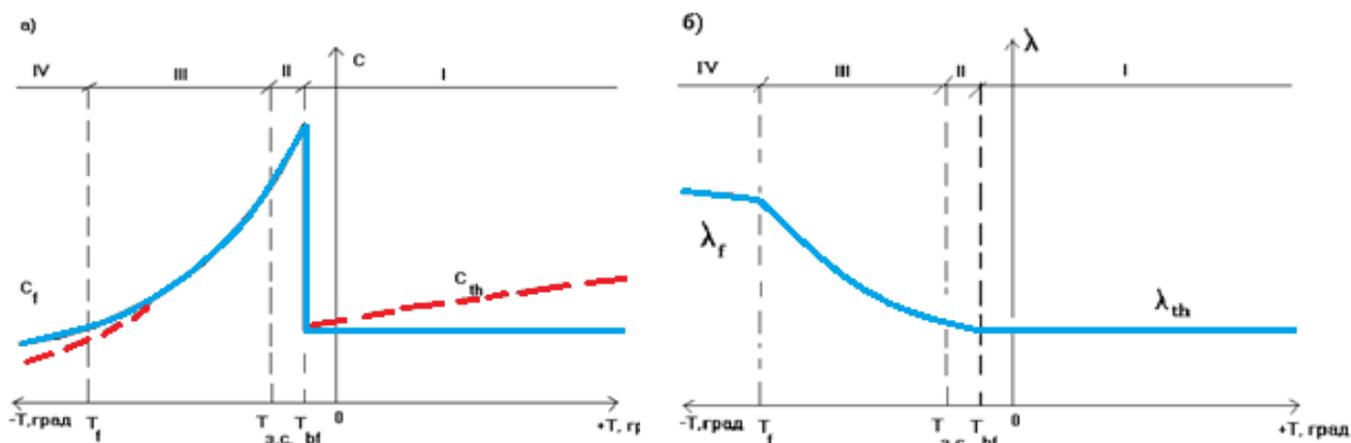


Рис. 2.15. Функция процесса изменения: а) теплоемкости, б) теплопроводности для грунтового массива по термомеханической модели А.Я. Кроника [38].

Термомеханическая модель грунта (рис. 2.15) представляет собой зоны, границы которых представляют собой температурные интервалы, в периоде действия которых в рамках определенных закономерностей в грунтовом массиве происходит изменение теплофизических и термодинамических характеристик [46]:

1. Температурный интервал, в период действия которого $T_{th}=00^{\circ}\text{C}$ до T_{bf} (кристаллизация свободной поровой воды в крупных грунтовых порах в начальный период замерзания самого грунта) грунтовый массив находится в переохлажденном (талом) состоянии ($T<0^{\circ}\text{C}$).

2. Температурный интервал, в период действия которого происходят самые значительные процессы для фазовых превращений в процессе промерзания (или оттаивания) грунтовых массивов в интервале температурных значений от T_{bf} до значений, при которых происходит начальная фаза кристаллизации связанной воды (T_{zc}), а также в крупных порах грунта происходит кристаллизация свободной поровой воды.

3. Температурный интервал, в период действия которого грунтовый массив находится в промерзающем (оттаивающем) состоянии в интервале температурных значений от T_{bf} до T_f (практически мерзлое состояние грунта), при котором происходит процесс кристаллизации (оттаивания) для связанной поровой воды.

4. Температурный интервал, в период действия которого грунтовый массив находится в температурных значениях T_f и ниже.

Для предлагаемой термомеханической модели грунта значения T_{bf} , T_f , T_{zc} , T_f не являются постоянными значениями и находятся в прямой зависимости от физико-механических характеристик грунта, его типа, внешних условий, температурных значений наружного воздуха, а также значения по скорости промерзания грунтового массива $V_{f(th)}$:

Значение скорости промерзания для грунтового массива имеет следующее выражение:

$$V_{f(th)} = \frac{dT_{f(th)}}{dt} \quad (2.8)$$

где: $dT_{f(th)}$ – температура промерзающего или оттаивающего грунта, °С; dt - время промерзания или оттаивания грунта (сут.) [46].

2.5 Исследование температурного режима грунтов

В соответствии с п. 10 «Методического пособия. Проектирование оснований

фундаментов на пучинистых грунтах» [55] выполнено исследование теплового режима грунтов в Хабаровском районе, в с. Бычиха был устроен опытный участок. Методика исследований включала в себя следующее в себя три этапа:

1) устройство двух термоскважин со вставленными в них полипропиленовыми трубами, имитирующими свайный фундамент, при этом одна скважина имеет утеплитель из экструдированного пенополистирола толщиной 300 мм, устроенный в уровне дневной поверхности;

2) Наблюдение и анализ изменения температурного режима грунта в термоскважинах;

3) Решение теплофизической задачи с определением температурных и влажностных полей.

Геологические условия на экспериментальной площадке имеют следующий вид: тугопластичный суглинок, расположенный до глубины 3 м, ниже - гравийный грунт (рис.2.16) [14, 15].

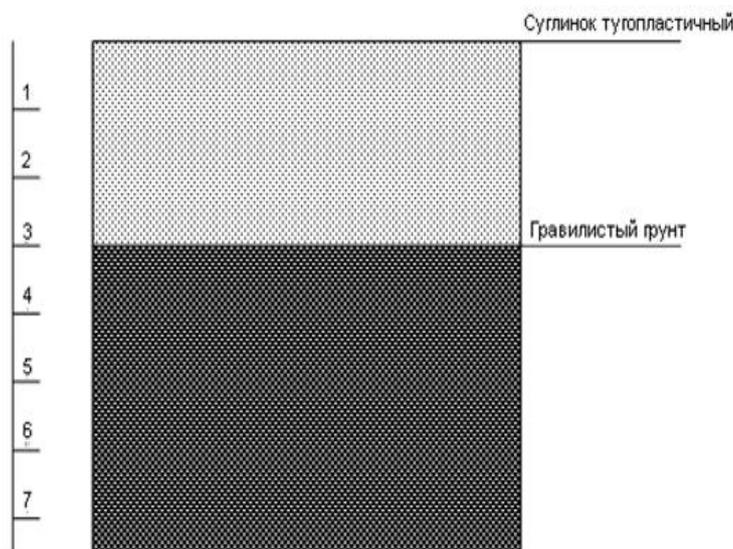


Рис.2.16. Геологические условия экспериментального участка.

Для изучения температурных режимов грунтов в октябре 2010 года в пригороде Хабаровска на опытном участке для изучения температурного режима грунта были устроены термометрические скважины.

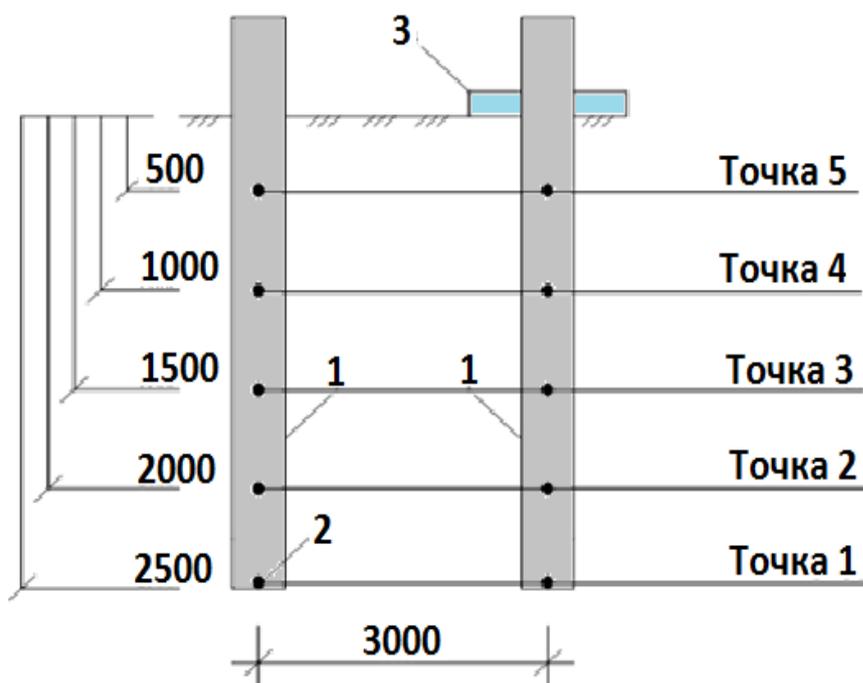


Рис. 2.17. Схема измерения температурного режима грунта: 1- полипропиленовые трубы; 2- пункты замеров температуры; 3 – температурная изоляция.

Для этого в грунт на глубину 3 метра от уровня дневной поверхности установили полипропиленовые трубы. Одна из труб была изолирована экструдированным пенополистиролом, имеющим толщину в 300 мм [43], схема указана на рис. 2.17.

Температурные замеры проводился путем измерения температуры в трубах один раз в месяц с помощью оборудования «Термоскан» [109, 57]. Для препятствия теплообмена торцы труб были запечатаны.

При наблюдении за изменением температурного режима грунта применялся измерительный комплекс «Термоскан», позволяющий производить замеры температуры в термоскважинах в однократном и непрерывном режимах. В состав измерительной косы входят температурные датчики модели DS18B20, установленные с шагом 0,5 м. Датчики измеряют температуру в диапазоне: – 55 °С до + 125 °С. Погрешность измерений составляет +/- 0,5 °С.

Внешний вид и оборудование измерительного комплекса «Термоскан» представлен на рис. 2.18.

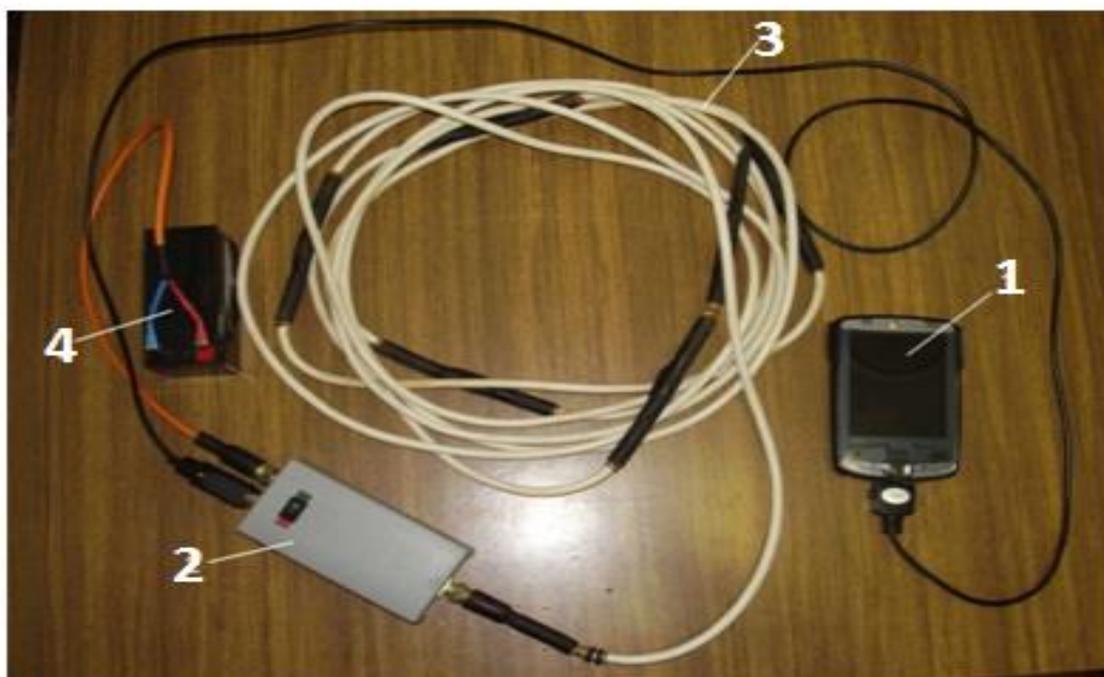


Рис. 2.18. Комплекс измерения температуры «Термоскан»: 1– КПК;
2 – переходной контроллер; 3– датчики на измерительной ленте;
4–переносной аккумулятор.

Температура наружного воздуха в г. Хабаровске в 2010-2011 г. (таб. 7) [57].

Таблица 7. Значения температуры наружного воздуха в 2010-2011 г.

Время	2010 г.			2011 г.				
	Окт.	Ноя.	Дек.	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май
Значение Температуры, °С	5,5	-5,3	-18,9	-23,1	-14,2	-7,9	-2,8	12,3

Появление снежного покрова было зафиксировано в ноябре и к концу месяца толщина снежного покрова составляло до 0,3 м. К концу декабря после значительных осадков толщина снежного покрова достигла 1,0 м. Для чистоты эксперимента и достижения максимальной глубины промерзания снежный покров с площадки очищался. Проводимые замеры температур выявили наличие положительных температур грунта при использовании теплоизоляции. Положительные температуры грунта под изоляцией фиксировались в течение всего периода наблюдений – в период действия отрицательных температур на

глубине 0,5 метров в январе и феврале фиксировалась температура $+0,7-1,2$ °С. В ходе проведения замеров при извлечении измерительной косы фиксировалось наличие незамерзшей воды в изолированной скважине в весь период измерений.

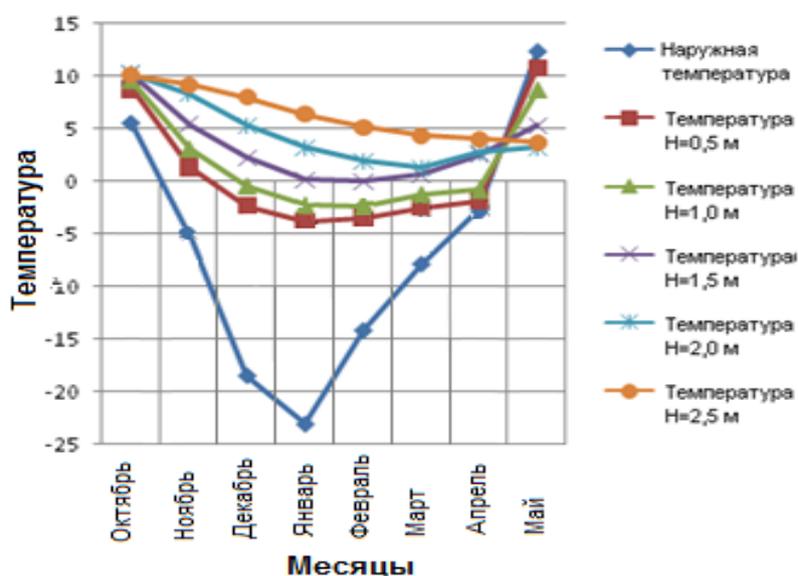


Рис. 2.19. Значения температурных показателей, без изоляции.

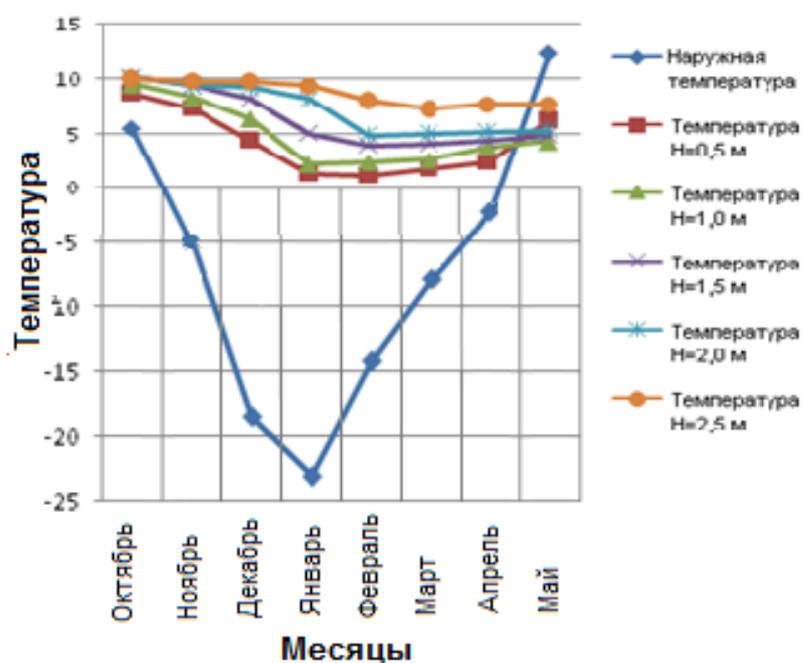


Рис. 2.20. Значения температурных показателей с изоляцией.

По результатам замеров можно судить о положительном влиянии теплоизоляции на температурный режим грунта – препятствие распространению фронта промерзания и, как следствие, промерзанию грунта по глубине.

Также в ходе наблюдений фиксировались низкие суточные колебания температуры грунта как при промерзании, так и в ходе наступления положительных температур, что положительно сказывается на устойчивость фундаментов и свидетельствует об эффективности теплоизоляции в качестве компенсирующего мероприятия.

2.6 Решение теплофизической задачи численными методами

Для решения теплофизической задачи методом конечных элементов необходимо определение значений температурного поля для исследуемой области T в пространственной постановке (координаты x, y, z) принимаемой для грунта в каждый момент по времени $t=t_0$.

Граничные условия при решении теплофизических задач по теплопроводности разделены на четыре вида:

1. При известном значении температуры грунта на его поверхности (S):

$$T = T_0(S, t) \quad (2.9)$$

2. При наличии теплового потока, заданного внутри области грунтового массива (S_q):

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) + q_n = 0, \quad (2.10)$$

где: q_n – является значением для теплового потока, имеющего положительное значение в случае, когда грунтовой массив отдает тепло, Вт/м²; n – является вектором от внутренней поверхности грунтового массива к его поверхности, м.

3. При наличии на поверхности грунтового массива конвективного обмена с окружающей средой:

$$\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) + \alpha(T - T_a) = 0 \quad (2.11)$$

где: α – является коэффициентом для теплоотдачи, Вт ($\text{м}^2 \text{ К}$); T_a – является температурой для окружающей среды, К.

4. При наличие заданного теплового потока на границе исследуемого участка.

$$\lambda = \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) = 0 \quad (2.12)$$

Схема граничных условий для решения задачи теплопроводности приведена на рис. 2.21.

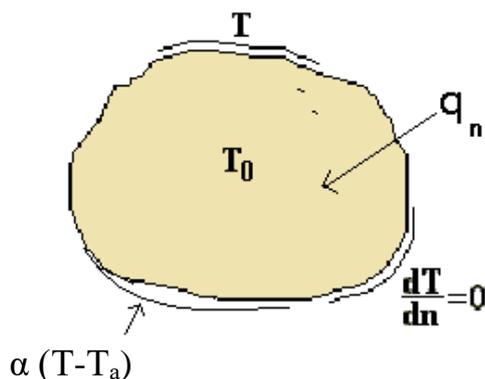


Рис. 2.21. Пример граничных значения для решения задачи теплопроводности третьего типа.

В рамках решения теплофизической задачи необходимо задать показатели температурных и влажностных полей для интересующего массива грунта на начальный временной период. Этими данными являются средние по месяцам наружные температуры на территории г. Хабаровска, исходные данные (теплофизические свойства грунта и его влажность) [56].

По таблице 8 приведены теплофизические характеристики материалов.

Таблица 8. Теплофизические характеристики материалов

Наименование слоев	$\rho_d, \text{тг/м}^3$	$W_{\text{tot}}, \text{д. е.}$	$w_p, \text{д. е.}$	$T_s, \text{град}$	$T_{bf}, \text{град}$	$T_{з.с.}, \text{град}$	$T_f, \text{град}$	λ_{th}	λ_f	C_{th}	C_f	$L_{\text{КДж/м}^3}$
Пенополистирол	0.15	-	-	-14,7	-	-	-	31	131	70	70	-
Суглинок пылеватый, мягкопластичный	1.63	0.27	0.11	-14.7	-0.3	-0.5	-5	4415	4888	1840	2480	335

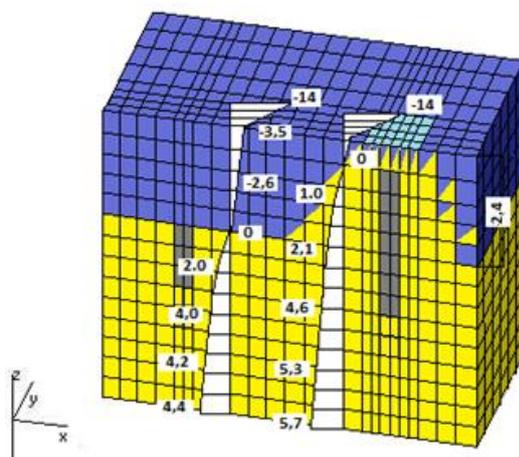


Рис.2.22. Распределение температурных полей при промерзании грунта вокруг температурных скважин на февраль.

По результатам численного моделирования можно оценить распространение фронта промерзания по распределению мерзлого грунта. При этом данные эпюр распределения температуры промерзающего грунта по грунтовой толще схожи с наблюдаемыми по результатам замеров в натуральных исследованиях. На схеме, в отличие от натуральных исследований, можно оценить температуру и распределение мерзлого грунта непосредственно под изоляцией скважины, которая находится в пределах от $0,5$ до $-0,5$ °С, что выше температуры замерзания воды в суглинках [46,47,48,50], и, как следствие, начала процесса фазовых превращений вода-лед в порах грунта воды. Следовательно, можно предположить, что непосредственно под изоляцией грунт находится в охлаждённом состоянии.

2.7 Определение влажности грунтов в программе «Termoground»

Определение влажности грунта в программе включает в себя два этапа: определение количество влаги, первоначально содержащейся в грунте до начала криогенных процессов; определение количества влаги, мигрирующей из нижележащих слоев к фронту промерзания.

Влажность грунта, первоначально находящаяся в порах грунта при охлаждении и промерзании, включает в себя влагу в грунте, а при низком уровне грунтовой воды – влагу в результате атмосферных осадков.

$$i = (W_{tot} - W_w) \quad (2.13)$$

где: i – содержание льда в единичном грунтовом объеме, д.е.; W_{tot} – количество влаги в предзимний период, содержащейся в грунте, которая определяется в соответствии с СП 25.13330.2020, д.е.; W_w – общее количество незамёрзшей влаги, которое находится по формуле (2.5), д.е.

Поскольку на уровень грунтовых вод влияет ряд факторов: гранулометрический состав грунта выше водоносного слоя, коэффициент фильтрации грунта и глубина залегания уровня грунтовых вод относительно дневной поверхности грунта, изменение тренда уровня грунтовой влаги в течение годового цикла находится по формуле:

$$Z = A \cdot t + B \quad (2.14)$$

где: B – является значением отметки для предзимнего уровня подземных вод, м; A – является коэффициентом, учитывающим динамику по изменению тренда для грунтовых вод в течении года; t – значение времени, с.

Определение количества среднего значения влажности в рассматриваемой области зоны миграции находится в прямой зависимости от значения количества влаги, мигрирующей в заданном грунтовом объеме:

$$w_{wf} = \frac{Q_{wf}}{\gamma_d} \quad (2.15)$$

где: Q_{wf} – количество влаги, содержащейся и мигрирующей в заданном грунтовом объеме, д.е.; γ_d – значение удельного веса, указанного для обезвоженного (сухого) грунта, кН/м³.

Количество миграционного потока (миграционной влаги) в рассматриваемом объеме грунта рассчитывается следующим образом:

$$Q_{wf} = q_{wf} \cdot A \cdot t \quad (2.16)$$

где: q_{wf} – интенсивность действия миграционного потока в грунтовом массиве, д.е.; A – является значением площади в поперечном сечении для миграционного потока влаги, м²; t – значение времени, в течении которого действует миграционный поток, с.

Величина значения миграционного потока влаги рассчитывается на

единичный объем грунтового массива, в связи с чем значение массы и удельного веса для обезвоженного (сухого) грунта имеют равное значение.

Количество среднего значения влажности, мигрирующей в объеме грунта (Q_d) за период времени (t) находится:

$$\Delta W_{wf} = \frac{Q_{wf}}{Q_d} \quad (2.17)$$

При аппроксимации средние значения функций, являющиеся зависимостью влажности грунтового массива от скорости его промерзания в пределах границы направления фронта промерзания (фазовых превращений) для грунтов с различными физико-механическими характеристиками, рассчитывается по уравнению, являющемуся для них общим:

$$\Delta W_{wf} = b \cdot e^{c \cdot V_f} \quad (2.18)$$

где: V_f – является значением скорости по промерзанию грунтового массива, м/сут.; b , c – являются эмпирическими коэффициентами, определенными для грунтов глина и суглинок по результатам выполненных исследований [44].

Поскольку в составе решения теплофизических задач в программном продукте FEM models «Termoground» существует возможность определения не только температурных, но и влажностных полей, выполнен расчет по определению устоявшихся влажностных полей для исследуемого объекта.

Распределение эпюр влажностных полей представлено на рис. 2.23.

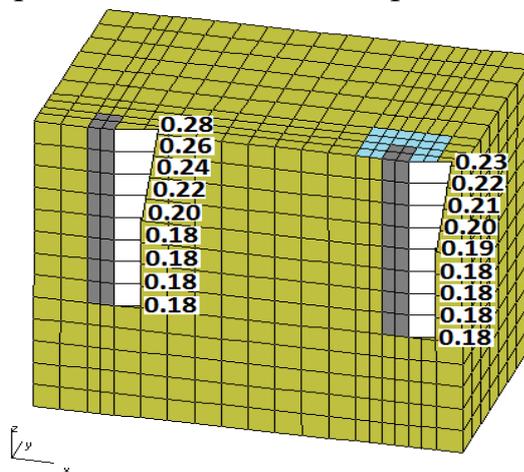


Рис.2.23. Распределение влажностных полей грунта по глубинам в температурных скважинах в феврале месяце.

Эпюры распределения влажности по направлению к фронту промерзания позволяют определить размер возможных деформаций грунта и фундамента, а также проверить эффективность применяемых защитных мероприятий.

По результатам численного моделирования и распределения эпюр влажности грунта по глубине можно отметить снижение величины миграции влаги к верхним, промерзающим слоям грунта и фронту промерзания в случае применения теплоизоляции на 18%. Эпюры распределения влажности по глубине грунта позволяют сделать вывод о корректности выполнения задачи, поскольку отсутствуют участки с резким понижением влажности грунта, вызываемые обезвоживанием, распределение влажности равномерно.

На рис. 2.24 представлены значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания с применением теплозащитных мероприятий и без них.

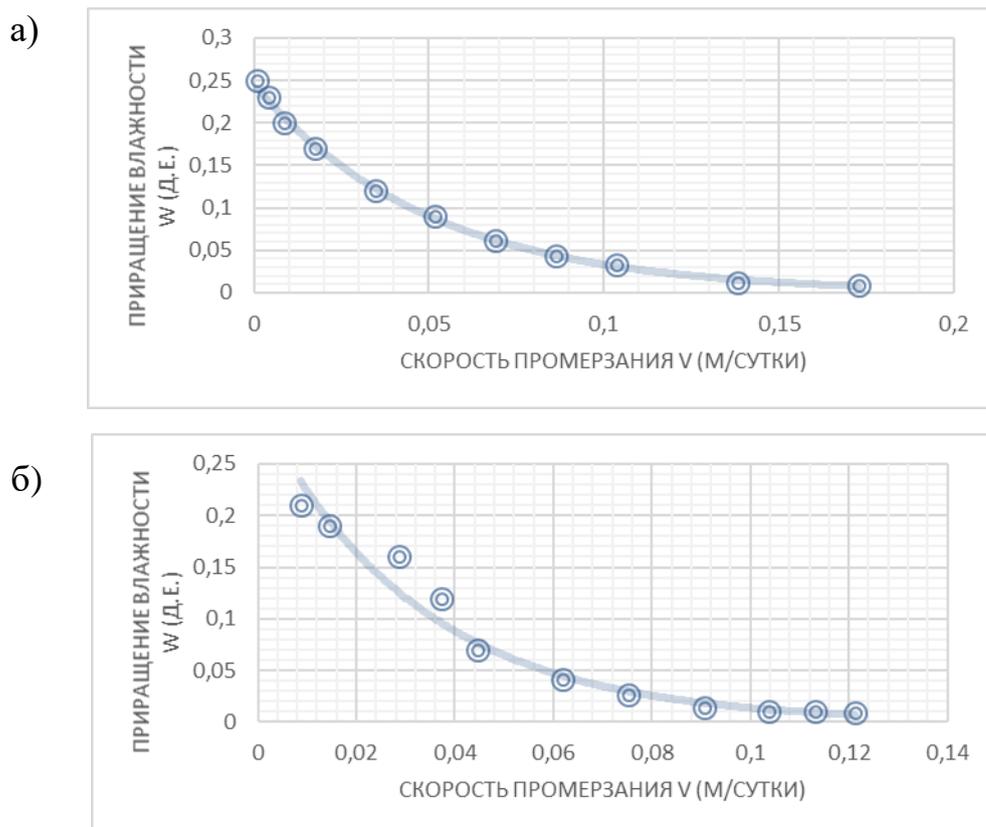


Рис. 2.24. Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания: а) без применения теплозащитных мероприятий; б) с применением теплозащитных мероприятий.

Как видно из графиков, максимальное значение приращения влажности без защитных мероприятий и с защитными мероприятиями соответственно составляет 26 и 21 д.е., что находится в тех же пределах, что и результаты, полученные при численном моделировании. При этом на графиках наблюдается увеличение скорости промерзания и при увеличении влажности, что имеет место в рамках процессов тепло и влагопереноса.

2.8 Выводы по главе 2

1. Схема диагностики определения и подбора защитных мероприятий оснований фундаментов малонагруженных объектов позволяет с большой достоверностью установить причины и факторы, вызывающие негативное воздействие на конструкции малонагруженных зданий и сооружений; большое значение играют методы неразрушающего контроля.

2. Результаты лабораторных и натурных исследований свидетельствуют об эффективности применения теплоизоляции для отдельно стоящих элементов фундамента.

3. Программный комплекс FEM models с применением модуля «Termoground» прошел достаточную апробацию и позволяет с большой достоверностью решать теплофизические и НДС процессов морозного пучения и оттаивания задачи, поскольку учитывает следующие факторы: физическую и теплофизическую нелинейность, и нестационарность при работе грунтов в трехмерной схеме.

4. При решении теплофизических задач происходит учет фазовых переходов, а также фазовые превращения находящейся в грунте влаги под влиянием отрицательной температуры; присутствие несвязной воды, движение которой направленно к фронту промерзания; позволяет наглядно оценить правильность подбора защитных мероприятий и их влияние на конструкции фундаментов.

5. Применение современных методов диагностики и численного моделирования позволяет не только прогнозировать влияние негативных факторов, а также оценивать эффективность защитных мероприятий, но подбирать в случае установления всех процессов и рисков в качестве защитных мероприятий толщину теплоизоляции, используя исходные данные, полученные в результате обобщения исследований.

6. Показатели глубины промерзания грунта при температуре глубины промерзания грунта от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяют предварительно подобрать толщину теплоизоляции.

7. Предложен коэффициент для подборки толщины теплоизоляции.

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРЯТИЙ НА ТЕМПЕРАТУНЬЙ РЕЖИМ ГРУНТА МАЛОНАГРУЖЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

3.1 Определение деформаций фундаментов методом сейсмондирования

Применение средств диагностики неразрушающими методами позволяет осуществлять оценку технического состояния и мониторинг для эксплуатируемых объектов топливно-энергетического комплекса и транспорта. Оборудование, о котором было сказано выше, является эффективным средством неразрушающего контроля и позволяет с высокой достоверностью производить оценку состояния конструкций фундамента и оснований.

Предварительно целесообразным является проведение предварительного георадарного исследования грунтовой толщи в пределах обследуемого фундамента. На примере геофизического комплекса «ЛОЗА-В» возможно исследование толщи грунта на глубину пяти метров. На основании георадарного профилирования первоначально определяются слои грунта на границе сред исходя из принципа влияния диэлектрической проницаемости на длину и скорость распространения электромагнитной волны в исследуемой среде. Интерпретация полученных результатов осуществляется на основании программы «Krot165» и применения типовых методик.

При выполнении обследования фактического состояния фундамента и основания применялось зондирование сейсмоакустическим способом, для чего была использована сейсмостанция «Сейсмолог-20». В качестве приемных датчиков были применены вертикальные и горизонтальные геофоны (модель GX20DXSUPER), работающие в частотах от 10 до 2000 Гц.

Перед началом зондирования была оценена прочность бетона, соответствующая исходным данным проекта. Проектная документация была

использована для сравнения полученных данных для определения размеров строительных конструкций в грунте [105].



Рис. 3.1. Аппаратно-программный комплекс для проведения исследований: 1 – ноутбук, 2 – станция «Сейсмолог-20» с аккумулятором, 3 – датчики «геофон» GX20DXSUPER.

При зондировании проводилось два замера: вертикальный и горизонтальный; по результатам записи отклика в виде спектра Фурье были определены продольные и поперечные размеры фундамента (рис. 3.2, 3.3).

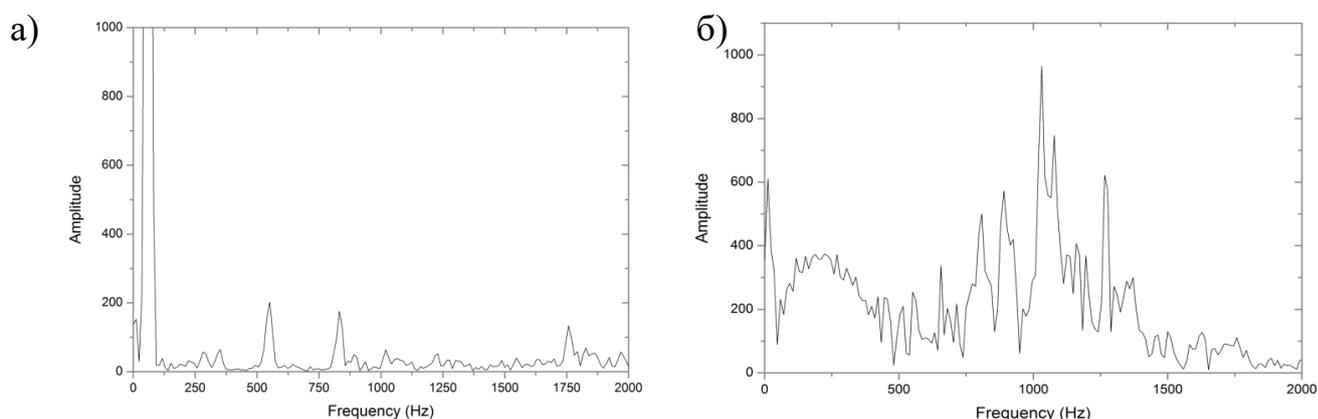


Рис. 3.2. Диаграмма продольных (а) и поперечных (б) колебаний по результатам зондирования.

По результатам зондирования фундамента были определены геометрические размеры фундамента, глубина его фактического заложения в грунте, а также определено его фактическое положение в грунте. Расчеты производились путем последовательной подстановки полученных резонансных

частот и значений скоростей в выражение, которое связывает их размерами линейных вертикальных конструкций.

$$L = \frac{n \cdot V}{2 \cdot f_n}, \quad (3.1)$$

где: V – скорость распространения продольной или поперечной волны, м/с;
 n – номер гармоники вынужденных колебаний при ударном воздействии; f_n – частота колебаний, соответствующая n -ной гармонике, Гц.

Таким образом, методом последовательного приближения, сопоставляя различные резонансные частоты со скоростями и линейными размерами, была получена схема фундамента, представленная на рис. 3.4.

Контроль получаемых размеров проводился по методике TDR (transitional dynamic response), которая связывает скорости упругих волн в исследуемых конструкциях с резонансными частотами и площадью поперечного сечения:

$$\frac{1}{\rho \cdot V \cdot S} = \frac{1}{m \cdot f_n} \quad (3.2)$$

где: V и f_n – то же, что и в выражении 3.1; S – средняя площадь поперечного сечения конструкции, м²; ρ – плотность бетона, кг/м³; m – масса конструкции, кг.

На рис. 3.5 указано фактическое расположение фундамента в результате его деформация от морозного пучения.

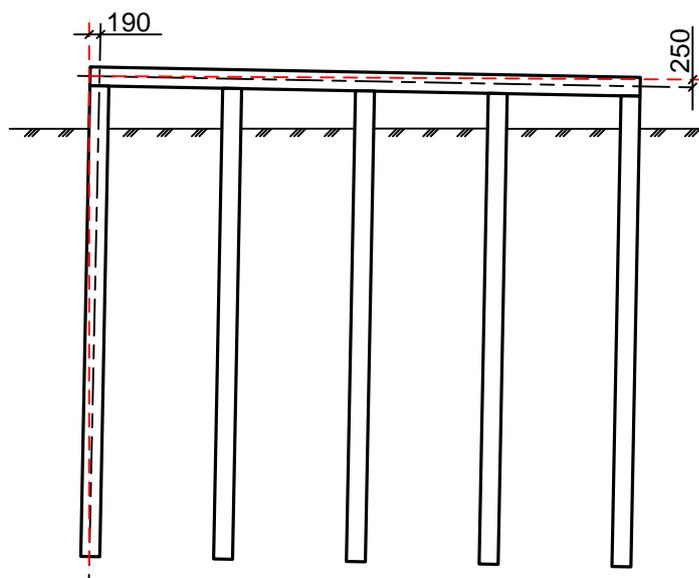


Рис. 3.5. Фактическое положение фундамента.

Помимо исследования фундамента было осуществлено исследование толщ грунта с целью определения физико-механических свойств. Оценка свойств грунта была выполнена по функциональным свойствам и скоррелирована. Зондирование проводилось по профилям от воздействия прямой волны, при этом участки зондирования были разбиты с шагом в 2 м, но в пределах объекта исследования.

Зондирование грунта выполнено в соответствие со схемой, представленной на рис. 3.6. Замеры осуществлялись через отверстия диаметром 1,2 см, устроенные в бетонной стяжке для установки сейсмоприемников [105].



Рис.3.6. Схема расстановки сейсмоприемников при зондировании грунта.

Применение данной схемы позволило исключить влияние инверсии волн, получаемых при зондировании и связывать полученные скорости распространения и обратный отклик только с исследуемыми грунтами. Определение скоростей сейсмических волн в зондируемых грунтах проводилось по годографам первых вступлений. Мощность исследуемой толщи контролировалась, исходя из частотного состава колебаний и получаемых скоростей.

При этом использовалась следующая зависимость:

$$h=1/4\lambda=1/4VT \quad (3.3)$$

где: λ - длина волны основного тона возбуждаемых сейсмических колебаний, м; V – скорость сейсмических волн, м/с; T – их период, с.

Скорости сейсмических волн определялись по годографам, как отношение приращения длины по профилю к приращению по времени первого вступления - $\Delta L/\Delta t$. Период – непосредственно по сейсмограмме.

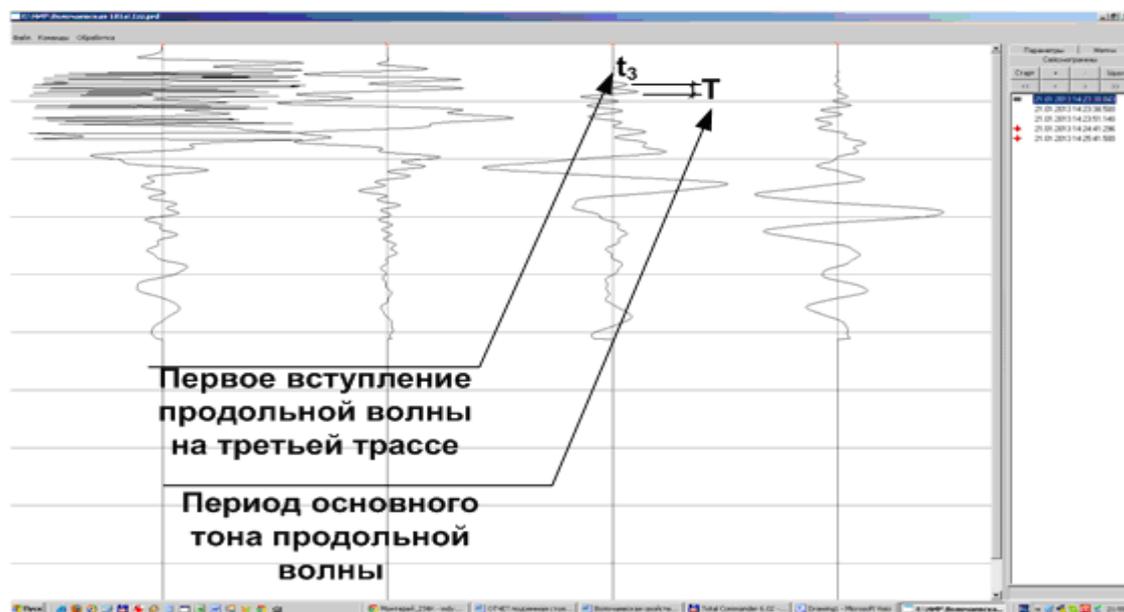


Рис. 3.7. Сейсмограмма, полученная при зондировании.

Между скоростью распространения упругих волн в материалах и физическими характеристиками существует тесная зависимость: с увеличением скорости увеличиваются сдвиговые и деформационные характеристики. Данные зависимости являются корреляционными, устанавливаются экспериментальным путем и широко применяются на практике. В геологии, разведочной и инженерной геофизике на сегодняшний день собран и обобщен значительный объем теоретических и практических исследований по зависимости физических, прочностных и деформационных свойств горных пород от скоростей распространения упругих волн. При вычислении физических свойств грунта (учитывая его неоднородность по всей площадке, на которой расположены исследуемые фундаменты), использовался пункт 4 («Методических рекомендаций по определению состава, состояния и характеристик грунта сейсмоакустическими методами, ЦНИИС, 1985»), где в таблицах 6 и 8 приведены все необходимые зависимости для определения сдвиговых характеристик [105]. Для определения динамического модуля сдвига использовалась следующая зависимость:

$$\mu_g = V_s^2 \cdot \rho, \quad (3.4)$$

где: V_s – скорость поперечной волны, м/с; ρ - плотность грунта, (г/см³) .

Результаты, полученные в ходе исследований, приведены в таблице 10.

Таблица 10. Характеристика грунтов по результатам сейсмозондирования.

Значение плотности грунта, (г/см ³)	Показатель удельного сцепления (кПа)	Значение угла внутреннего трения (гр.)	Показатель модуля общей деформации (МПа)
1,62	10,0	18,0	8,0

На основании результатов проведенных изысканий установлено, что грунт основания относится к дисперсным грунтам и является пучиноопасным (по физико-механических характеристикам и ГОСТ 25100-2011); необходимо провести расчет с применением МКЭ, позволяющий сделать вывод об эффективности и целесообразности применяемых защитных мероприятий от влияния морозного пучения [105].

В целом можно отметить, что в условиях плотной застройки размещения инженерных сетей, целесообразным является применение именно неразрушающих методов оценки технического состояния. В совокупности с методами МКЭ открывается возможность моделирования протекающих процессов и поиск наиболее оптимальных способов предотвращения возможных негативных процессов.

3.2 Исследование температурного взаимодействия промерзающего грунта с фундаментом

Наблюдения за фундаментом происходило в 2 этапа: наблюдение за деформацией в период промерзания грунта и наблюдение за деформацией в период оттаивания грунта. С первой декады ноября в районе Хабаровска начинается сезонное промерзание поверхности грунта. Первоначально промерзание является неустойчивым, поскольку слой грунта, промерзший за ночь, оттаивает во второй половине следующего дня. При дальнейшем снижении ночных и установлении отрицательных температур в дневное время наблюдается

прекращение процесса оттаивания грунта в дневное время, и нарастает смерзание верхнего слоя грунта с дальнейшим увеличением глубины промерзания на фоне снижения температуры наружной среды.

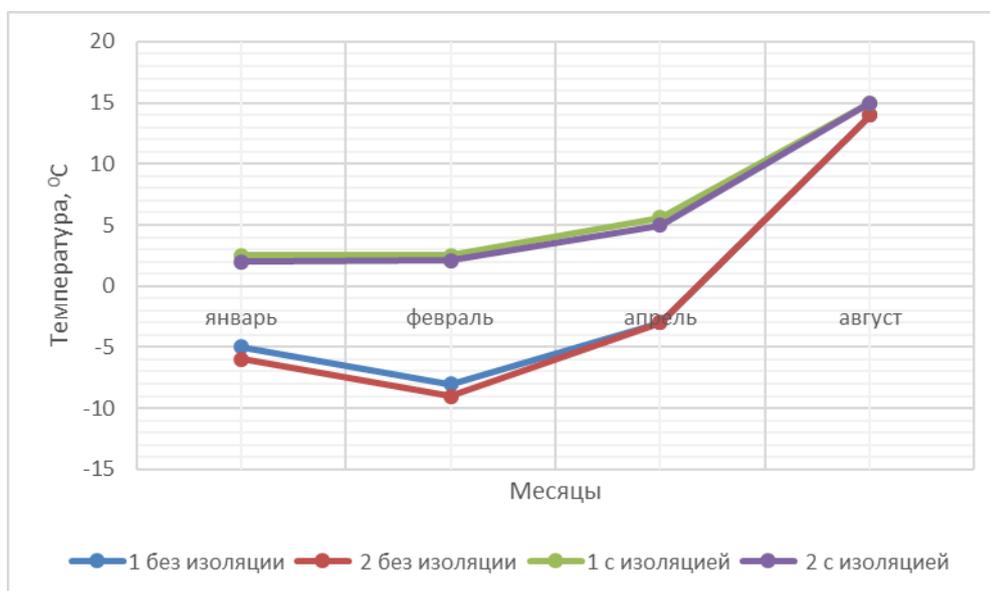


Рис.3.8. Значения температур в термоскважинах по месяцам без применения теплоизоляции и с применением теплоизоляции толщ. 300 мм

В ходе проведения наблюдений за деформацией свайного фундамента для исследования температурного режима грунта свайного фундамента были устроены две термоскважины, глубиной 1 м. из полипропиленовых труб (рис. 3.10). Значения температуры наружного воздуха указаны на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Показатели наружной температуры воздуха в 2011 и 2012 г.

Измерения температуры проводились на расстоянии 1 м от поверхности грунта. Измерения проводились в январе, феврале, апреле и августе в два этапа: первоначально без утеплителя, повторно в те же месяцы после укладки утеплителя; результаты измерений представлены на рис. 3.8.

Схема устройства термометрических скважин представлена на рис. 3.10.



Рис.3.10. Схема расположения термоскважин.

Результаты наблюдений показаний температуры в скважинах глубиной 1,0 м. от дневной поверхности в период наблюдений 2011-2012 гг., а также результаты, полученные при численном моделировании, показали следующие результаты, указанные на рис. 3.8. По сравнению с замерами не утепленного фундамента эффект от утепления буронабивных свай позволил сохранить высокие показатели температуры в толще грунт, в то время как тело фундамента представляет собой мостик холода [6,43,56].

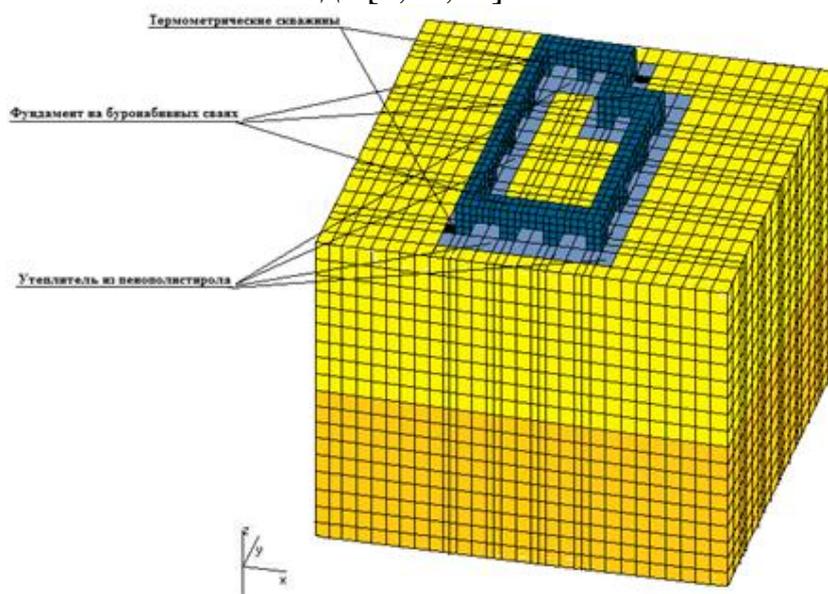


Рис. 3.11. Исходная схема, используемая при решении в МКЭ.

Следующим шагом стало проведение численного моделирования в программе FEM «models» «Termoground», был смоделирован процесс промораживания грунтов основания и промерзания буронабивного свайного фундамента (исходная схема рис. 3.11).

Теплофизические характеристики материалов для исходной задачи (табл. 11).

Таблица 11. Значения (теплофизические характеристики) материалов.

Наименование слоев	$\rho_d, \text{т/м}^3$	$W_{tot}, \text{д. е.}$	$W_p, \text{д. е.}$	$T_s, \text{град}$	$T_{bf}, \text{град}$	$T_{з.с}, \text{град}$	$T_f, \text{град}$	λ_{th}	λ_f	C_{th}	C_f	$L_{Кдж/м}^3$
								Кдж/ мес·м·°С		Кдж/ м ³ ·°С		
Бетон	2.4	-	-	-16.6	-	-	-	4600	4600	2016	2016	-
Пенополистирол	0.15	-	-	-16.6	-	-	-	131	131	170	170	-
Суглинок (пылеватый, мягкопластичный)	1.66	0.28	0.12	-16.6	-0.3	-0.5	-5	4415	4888	1840	2480	335

Моделирование численными методами было выполнено для февраля месяца в период достижения максимальной глубины промерзания, позволяющий увидеть разницу температурного режима грунта как не утепленного фундамента, так и фундамента с укрытого утеплителем. Как видно на рис. 3.12, 3.13, промерзание грунта за пределами размещения утеплителя достигает характерных для данного периода времени величин. Непосредственно под утеплителем наблюдается слой грунта с низкой (-1,2-1,4 °С) температурой, характерной для фазовых переходов «вода-лед». Нижележащие слои грунта имеют температуру в пределах -0,5 °С, то есть, находятся в охлажденном состоянии. Грунты, залегающие ниже, сохраняют положительную температуру. Для достижения максимального воздействия касательных сил мощности промерзающего слоя грунта в 100-150 мм недостаточно для развития больших вертикальных деформаций (перемещений).

Полученные результаты расчета представляют собой эпюры и изолинии температурных и влажностных полей, поскольку результаты представлены для конкретных отрезков времени, то их можно сравнить с данными, полученными в результате натурных наблюдений. Стоит отметить, что натурные наблюдения и результаты численного моделирования хорошо коррелируются между собой (рис. 3.12 и 3.13).

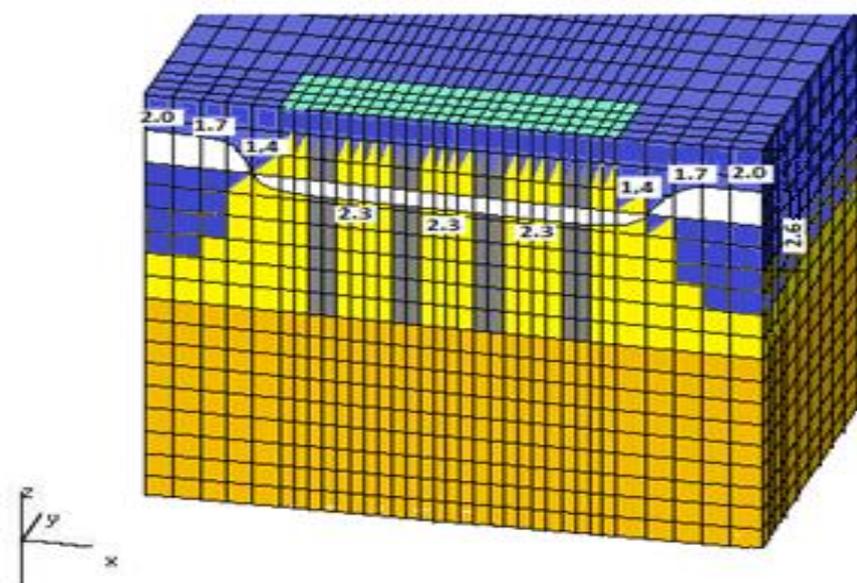


Рис.3.12. Изолинии и эпюры тепловых полей грунта в феврале, наблюдаемых по сваям 1-4, с применением теплоизоляции пенополистиролом толщиной 300 мм.

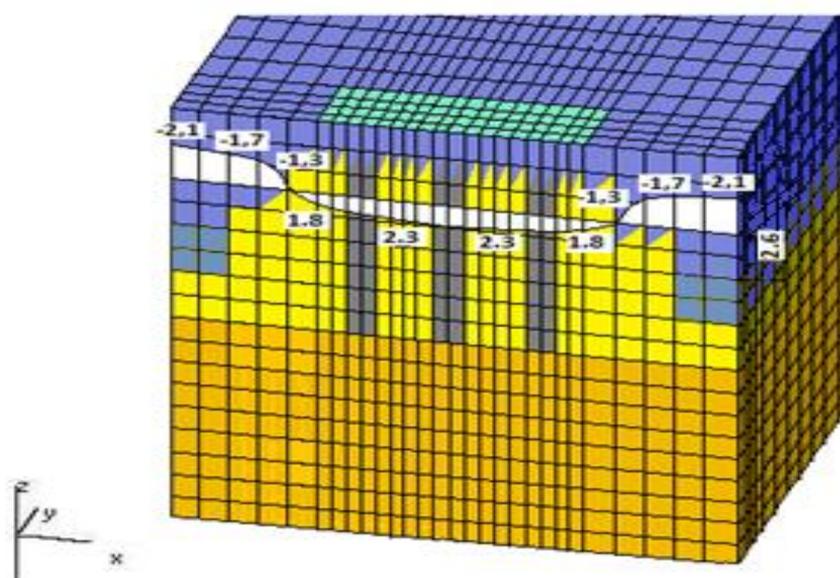


Рис. 3.13. Изолинии и эпюры тепловых полей грунта в феврале, наблюдаемые по сваям 1-3, с применением теплоизоляции пенополистиролом толщиной 300 мм.

Распределение эюр влажностных полей представлено на рис. 3.14.

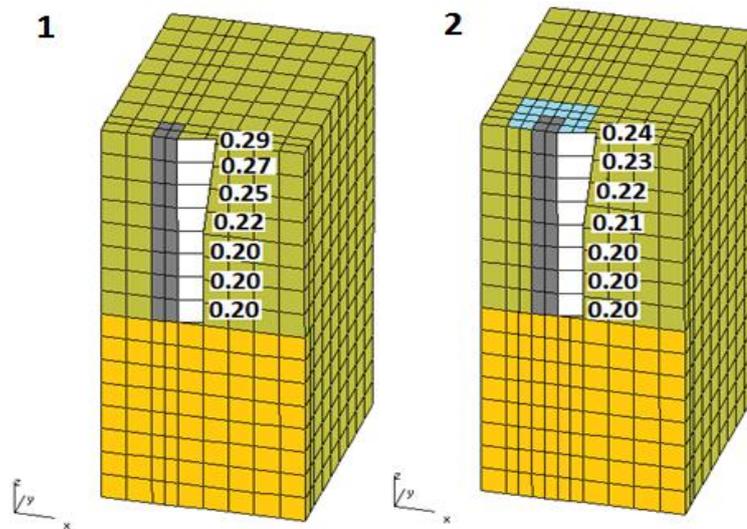


Рис. 3.14. Эпюры распределения влажностных полей грунтов в феврале, 1 – без утеплителя, 2- с утеплением пенополистиролом толщ. 300 мм.

Как видно из результатов расчета и распределения эюр влажности, величина снижения миграционной влажности к фронту промерзания при использовании теплозащитных мероприятий составила 17%.

Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания с применением теплозащитных мероприятий и без них представлены на рис. 3.15.

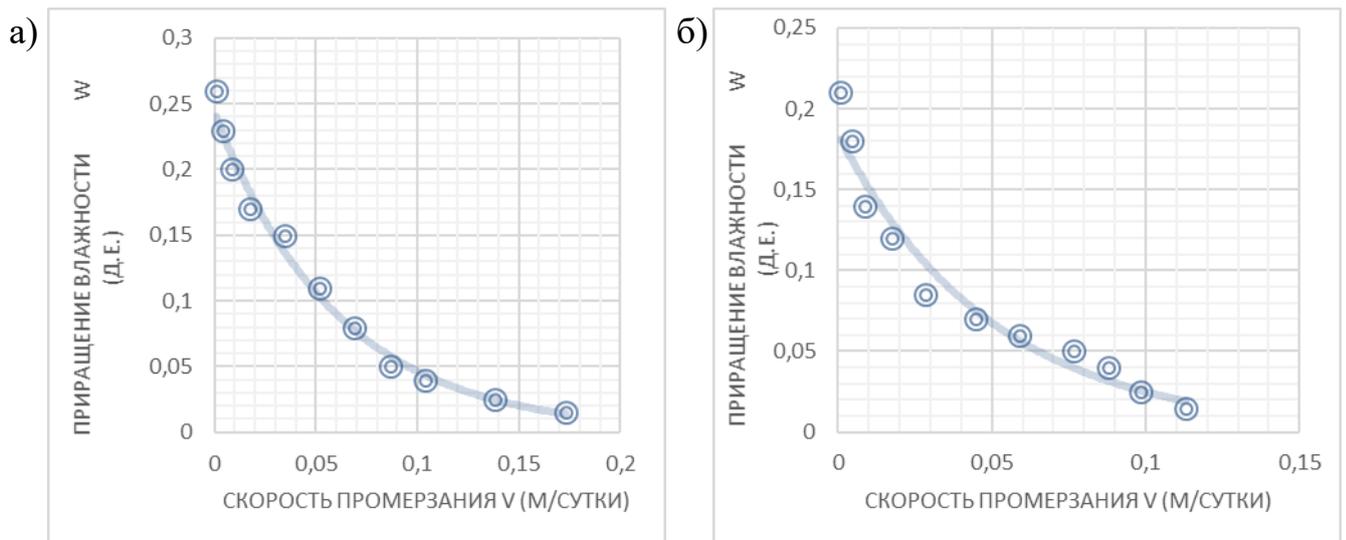


Рис. 3.15. Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания: а) без применения теплозащитных мероприятий; б) с применением теплозащитных мероприятий.

Полученные в результате исследований результаты натурных наблюдений и численного моделирования указывают, что применение теплоизоляции грунта с применением экструдированного пенополистирола для каждой отдельной сваи снижает глубину промерзания, при этом температура грунта не опускается до величин, при которых возможно начало процесса морозного пучения [57].

3.3 Влияния защитных мероприятий на деформации фундамента

На момент начала исследований был возведен только фундамент, при этом дополнительных мер по уменьшению сил морозного пучения не проводилось. Точкой стоянки нивелира была точка, установленная в ходе инвентаризации с. Бычиха. Измерение превышения отметок проводились нивелиром VegaL24, отсчеты брались по односторонней рейке.

Влияние морозного пучения на свайный фундамент имеет неравномерный характер. При наблюдении за деформациями в первые три месяца было выявлено следующее: в первый период наблюдений 8-190 мм, во второй период наблюдений 4 – 46 мм, в третий период наблюдений 291 – 391 мм.

График накопления вертикальных деформаций фундамента на буронабивных сваях за зимний период наблюдения показаны на рис.3.16.

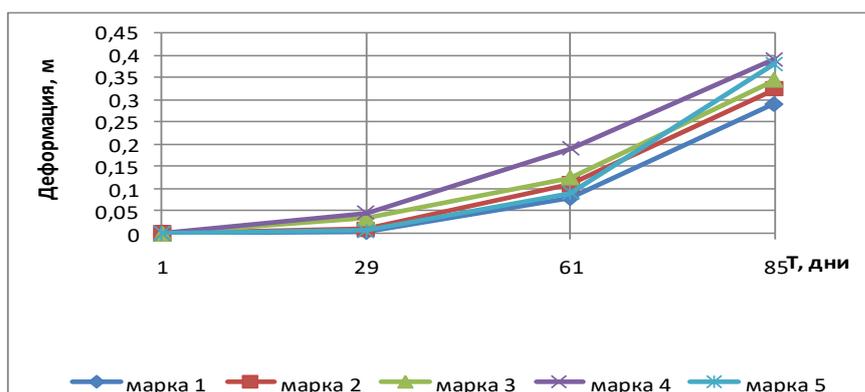


Рис.3.16. График вертикальных деформаций свайного фундамента в зимний период без утеплителя.

В первый период происходило промерзание верхних слоев грунта при наступлении устойчивых отрицательных температур, при этом действие касательных сил приходилось на верхнюю часть тела сваи; начинается морозное

пучение в ходе процесса миграции влаги из нижележащих слоев к фронту промерзания, в то же время при небольшой глубине промерзания состояние нижележащих слоев грунта и, следовательно, низком трении не промерзших слоев грунта и тела сваи наблюдается увеличение подъема фундамента. Во второй период при образовании устойчивого снежного покрова происходит снижение скорости промерзания грунта под дневной поверхностью и процесс цементирования грунта промёрзшего грунта вдоль тела сваи с образованием фронта промерзания, направленным от фундамента к окружающему грунту. В третий период происходит значительное увеличение глубины промерзания с резким увеличением количества ледяных включений в нижележащих слоях грунта и увеличения площади действия касательных сил. В то же время происходит промерзания грунта под пятой сваи с действием уже нормальных сил. В этот период наблюдается максимальная деформация фундамента [108].

Повторные наблюдения проводились в 2010-2011 г. Вокруг свай была уложена теплоизоляция толщиной не менее 300 мм (размерами 1,0x1,0 м), поскольку при исследованиях удалось установить, что толщина утеплителя менее 200 мм неэффективно снижает скорость и глубину промерзания грунта [45, 57]. В первые 3 месяца наблюдения деформации составили – 2 – 10 мм, в первый период наблюдений 3 -10 мм, во второй период наблюдений 3 -10 мм, в третий период наблюдений 3 – 10 мм (рис.3.17).

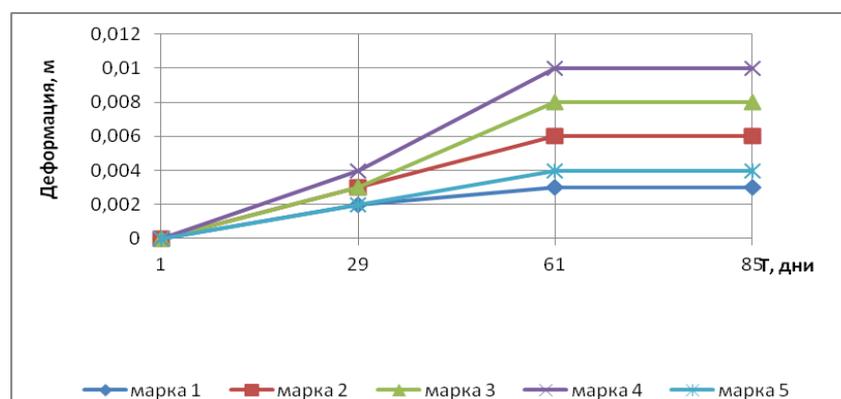


Рис.3.17. График вертикальных деформаций свайного фундамента в зимний период с утеплителем.

Как видно, максимальная величина перемещения ниже расчетного перемещения для данного типа фундамента (30 мм). Стоит отметить, что большая

величина деформации, в том числе и при наблюдении за фундаментом с утеплителем, обусловлена малой нагрузкой от фундамента без дополнительной нагрузки от вышележащих конструкций. При этом значительный вклад в вертикальное перемещение фундамента вызывают, в первую очередь, касательные силы, достигающие для данного вида грунта 90 кН.

3.4 Определение деформации фундаментов при воздействии морозного пучения в программе «Termoground»

Возникающие деформации, действующие перпендикулярно к направлению фронта промерзания, рассчитываются на основании уравнения [33, 37, 46, 65]:

$$\varepsilon_{fh\perp} = \underbrace{0.09(w_{tot} - w_w)}_1 \underbrace{\frac{\rho_d}{\rho_w}}_2 + \underbrace{1.09 \int_0^{t_z} q_{wf} dt}_3 + \varepsilon_{cr} \quad (3.6)$$

Первая составляющая формулы – показатель деформации, вследствие увеличения объема грунтового массива вследствие кристаллизации влаги, которая присутствует в грунтовых порах до начала криогенных процессов; вторая составляющая формулы – показатель деформации, возникающей вследствие кристаллизации влаги, которая мигрирует в зону промерзания грунтового массива; третья составляющая формулы – относительная деформация вследствие образования морозобойных трещин.

Величина деформации грунтового массива при появлении морозобойных трещин определяется (формула А.Г. Конюшенко, 1977) [37,46]:

$$|\varepsilon_{cr}| = \frac{-0.001972516 + 0.0081876987 \cdot w}{1 - 7.732496 \cdot w + 14.969634 \cdot w^2} \quad (3.7)$$

Относительные деформации грунтового массива, имеющие направление, перпендикулярные к фронту промерзания, определяются по уравнению [46]:

$$\varepsilon_{fhII} = \psi \varepsilon_{fh\perp} \quad (3.8)$$

где: ψ – является коэффициентом для морозного пучения.

Численное моделирование было выполнено для фундаментов без тепловой изоляции и с изоляцией.

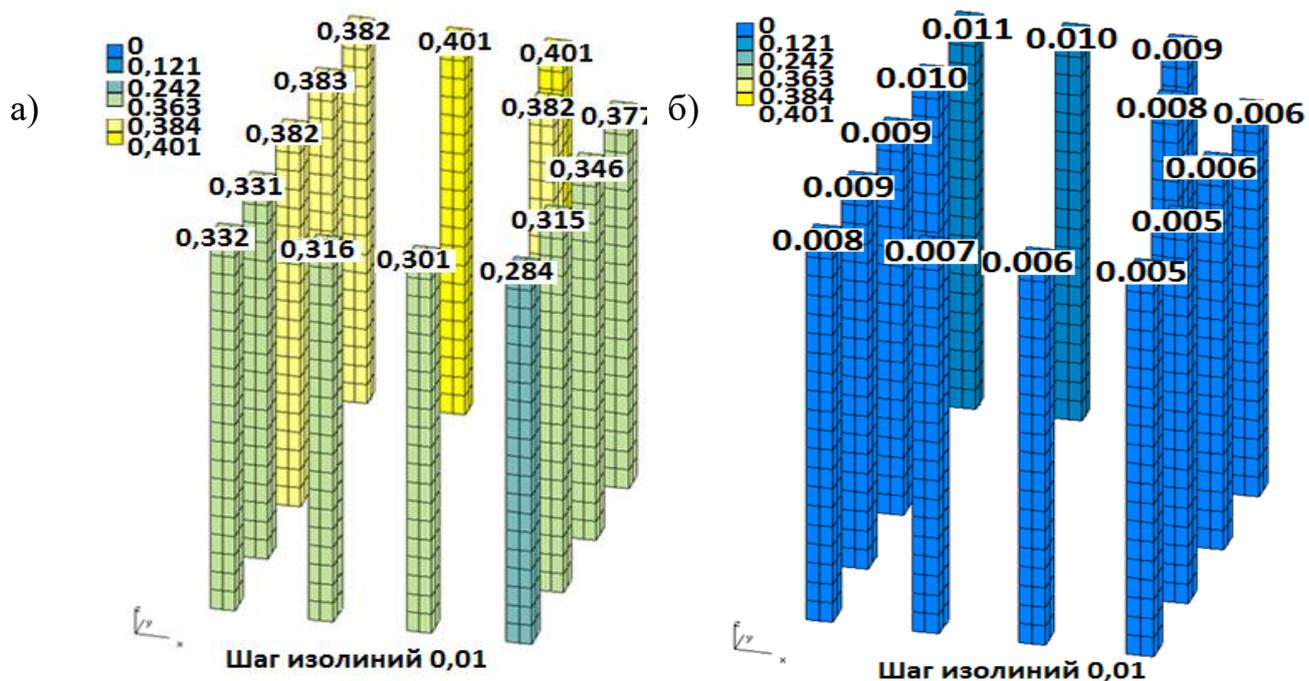


Рис. 3.19. Перемещение свайного фундамента при морозном пучении грунта: а) без изоляции; б) с теплоизоляцией.

На основании наблюдений можно сделать выводы: для недостроенных зданий и сооружений, не имеющих высоких надфундаментных нагрузок, целесообразно рассматривать мероприятия, позволяющие предотвратить развитие действия касательных сил, возникающих в ходе происходящих в грунте криогенных процессов при промерзании. Этими средствами могут быть компенсация усилий, возникающих при морозном пучении, либо сохранение в массиве грунта примыкающих к свае температур, препятствующих началу морозного пучения. В качестве подобной меры целесообразным является применение теплоизоляции вокруг тела сваи.

3.5 Сравнения результатов натуральных наблюдений и численного моделирования изменений температурного режима

Поскольку при определении температурных полей в программе «Termoground» для больших массивов при расчетах, граничные условия 1 рода, не учитывается изменения толщины снежного покрова, степень инсоляции в период

проведения исследований, необходимо сопоставление результатов численного моделирования с натурными наблюдениями [43,46].

Для организации таких сопоставлений необходимо сравнение результатов численного моделирования с результатами натурных наблюдений в процентном отношении. Сопоставления производятся для каждого замера и соответственной численной оценкой в каждый период времени, когда проводились замер, т.е. в зимнее и летнее время. Сравнения проводились как для грунта с установленной теплоизоляцией, так и без теплоизоляции. На основании результатов сравнения построены графики, позволяющие сравнить полученные результаты.

При сопоставлении учитывалось расположение точек замера температуры при натурных исследованиях и температурных полей при численном моделировании. На рис.3.20 показан график температур в термоскважинах без утеплителей при замерах в зимнее время в сравнении с данными температурных полей численного моделирования. Сопоставления проводились для всего периода наблюдений, поскольку замеры осуществлялись ежемесячно непрерывно. Как видно из графика, эти данные хорошо соотносятся между собой, расхождение составляет не более $1,2^{\circ}\text{C}$. То же самое наблюдается на графике, отображенном на рис 3.21. для термоскважины с утеплителем. Общее расхождение между результатами численного моделирования и натурных наблюдений находится в тех же пределах: $0,1^{\circ}\text{C}-1,2^{\circ}\text{C}$.

Для сравнения натурных наблюдений и численного моделирования для свайного фундамента в августе также во внимание принимались данные второй половины месяца, поскольку интенсивное оттаивание нижних слоев грунта происходит во второй декаде при достижении максимальных среднесуточных температур. Также для сравнения в январе принимались температуры за вторую декаду - в период сохранения стабильных минимальных среднесуточных температур. Аналогичный период – вторая декада была выбрана и для апреля – в этот период наблюдается интенсивное таяние снега и установление положительных температур в дневное время, и сохранение отрицательных температур в ночное время.

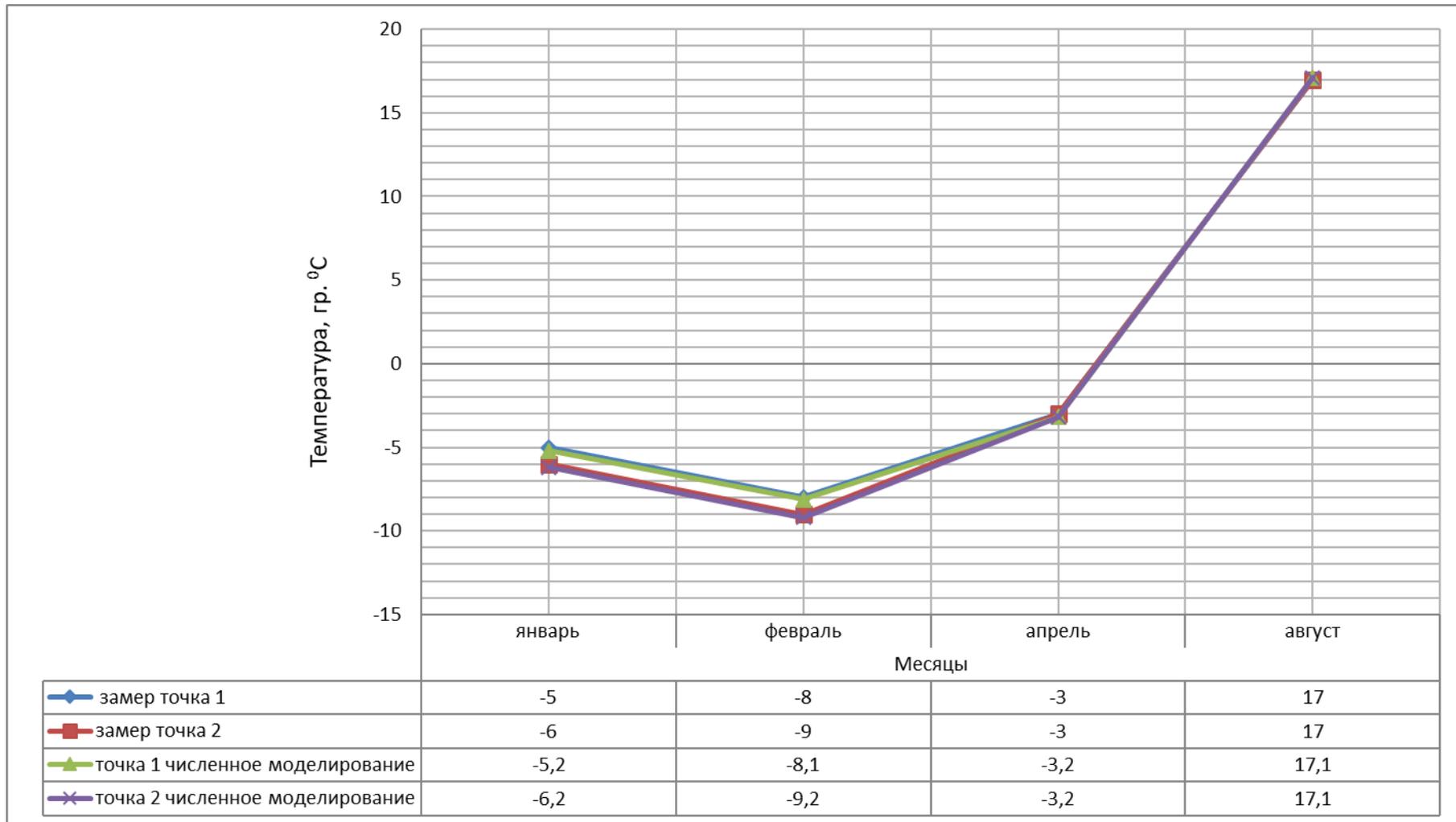


Рис.3.20. Сопоставление результатов значений температуры грунта свайного фундамента в результате натуральных наблюдений и численным методом без применения утепления.

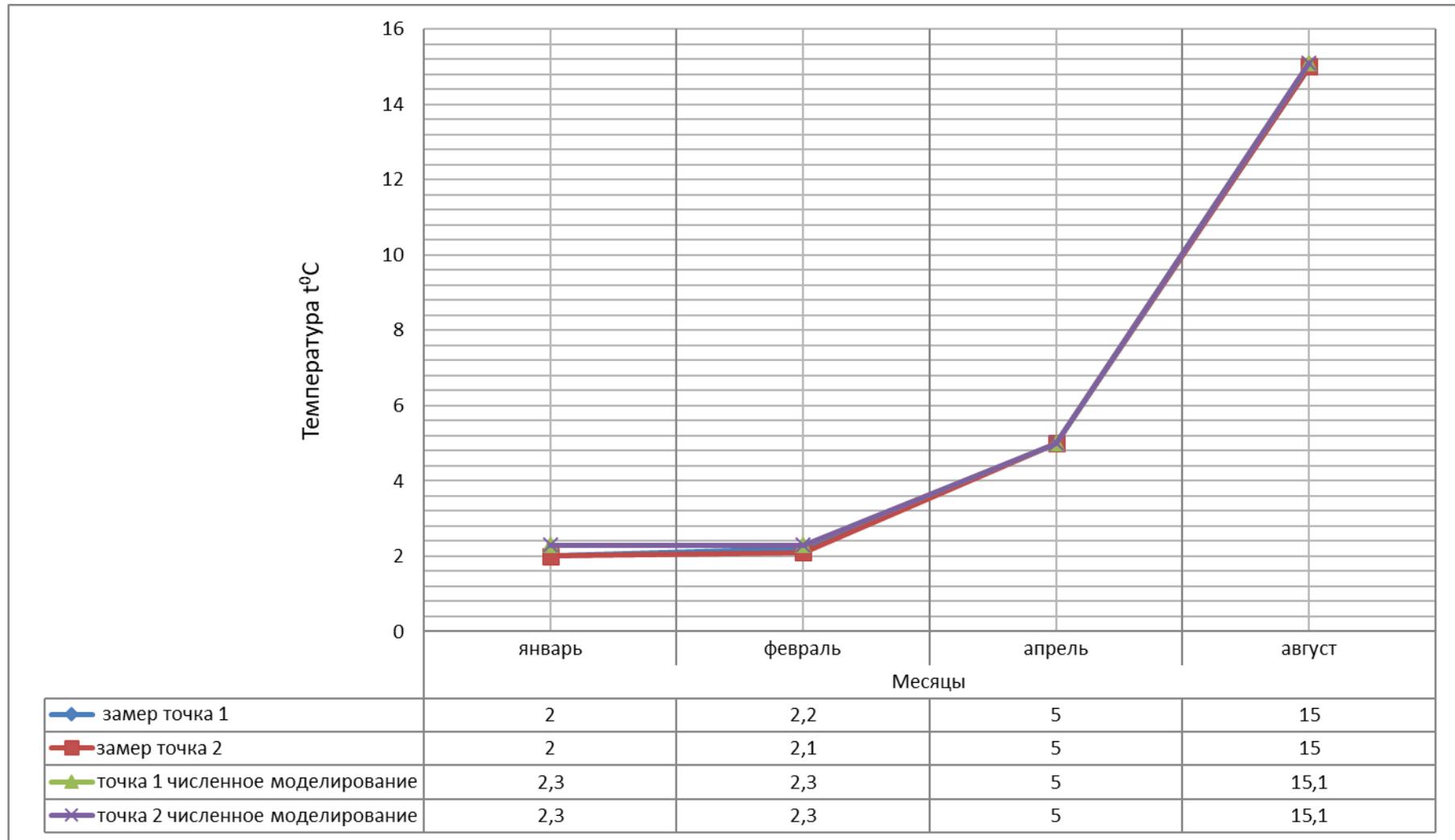


Рис. 3.21. Сопоставление результатов значений температуры свайного фундамента в результате натуральных наблюдений и численным методом с применением утепления.

Выводы по главе 3

1. Методы сейсмического зондирования позволяют оценить и получить представление о состоянии подземных конструкций для определения разработки компенсирующих мероприятий.

2. Применение теплоизоляции позволяет сохранять температуру, исключая начало процесса морозного пучения в толще грунта непосредственно под утеплителем как для группы свай в составе сооружения, так и для отдельно стоящих объектов и сооружений с одиночными фундаментами, при этом наблюдается сохранение эффективности в случае размещения утеплителя в уровне дневной поверхности грунта.

3. Величина вертикальных перемещения фундамента при использовании утеплителя уменьшается на 70-80 %, при этом при наличии нагрузки от надфундаментных конструкций возможно еще большее уменьшение величины перемещения вследствие компенсации имеющихся касательных сил.

4. Расхождение между результатами измерений температуры датчиками и результатами численного моделирования составляет 0 -1,1 °С, что позволяет с большой долей достоверности оценивать и прогнозировать процессы промерзания и оттаивания грунта в различные временные периоды.

5. По результатам исследований получена зависимость сопротивления от влажности, используемая для численной грунтовой модели.

ГЛАВА 4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕГКОНАГРУЖЕННОГО ОБЪЕКТА

4.1 Информация об объекте исследования

Ввиду того, что в ходе проведения исследований подтвердился эффект применение теплоизоляции в качестве меры снижения сил морозного пучения, в частности, при локальном применении для единичной конструкции была рассмотрена возможность применения теплоизоляции в качестве мер защиты от деформаций из-за морозного пучения для масштабного линейного объекта [118].

В качестве объекта рассматривались конструкции внутрицеховой эстакады технологических трубопроводов на территории АО «ННК» по результатам технической оценки, которая проходила в 2013 г. В результате проведенного обследования было выявлено значительное количество стоек эстакад, имеющих деформации, связанные с отклонением от вертикали. На рис. 4.1 представлены типичные деформации стоек в осях 32-36.



Рис. 4.1. Деформация надфундаментных конструкций стоек эстакады.

Конструкции эстакады представляют собой п-образные рамы из ж/б конструкций с опиранием на буронабивные сваи диаметром 300 мм с глубиной заложения 2,78 м. Узлы соединения стоек с фундаментами выполнены через ж/б стакан. В уровне дневной поверхности выполнено обетонирование верхней части стакана [71, 87]. Конструктивная схема рамы поперечного пролета эстакады с указанием сечений конструкций представлена на рис.4.2.

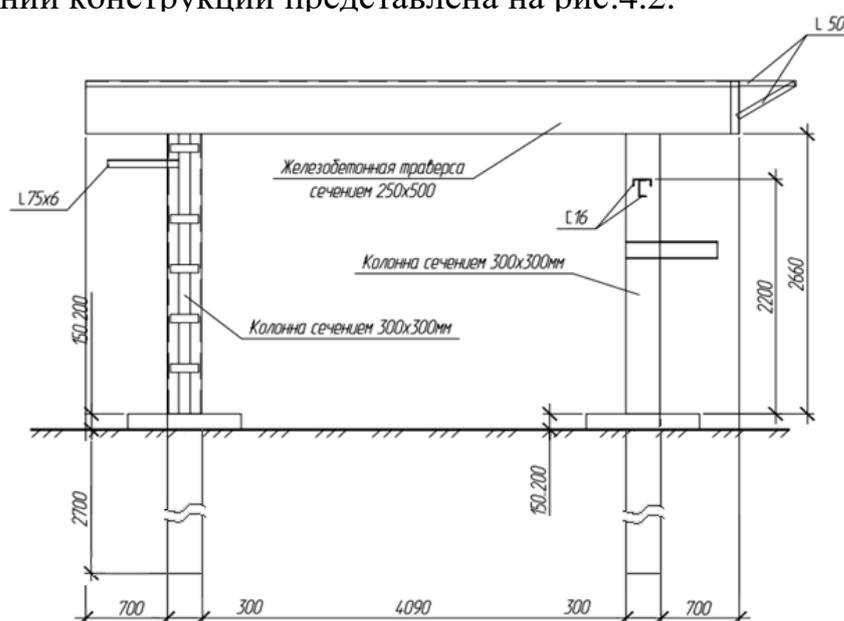


Рис.4.2. Разрез поперечного пролета на рассматриваемом участке эстакады.

Для оценки физических характеристик грунта, а также фактического состояния фундамента, в том числе наличия возможных повреждений, было проведено сейсмоакустическое зондирование.

Инженерно-геологические условия представлены суглинками мягкопластичными, распространяющимися на глубину 7 м. Уровень грунтовых на отметке 2,8 м от дневной поверхности грунта.

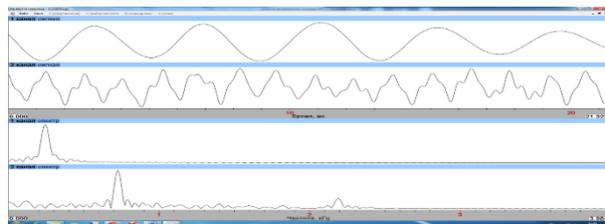
Основание под фундаменты обследуемой эстакады - установки ЛГ-35-11-500/95, Каталитического риформинга на территории ОАО «Хабаровский НПЗ» служат:

-суглинки мягкопластичные без включений (плотностью - $1,60 \text{ г/см}^3$, углом внутреннего трения, $\varphi - 21^\circ$, удельным сцеплением, $c - 21 \text{ кПа}$).

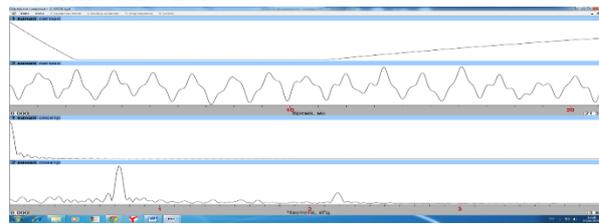
Глубина промерзания 2,68 м. Грунтовые воды встречены на глубине 3м, в весенний период наблюдается повышение уровня (в пределах 0,2 м от поверхности грунта).

Диаграммы вертикальных и горизонтальных колебаний по результатам сейсмозондирования приведены на рис. 4.3.

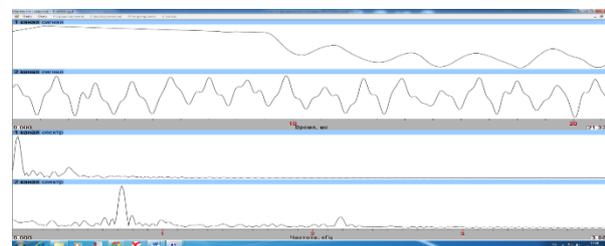
Стойка № 32



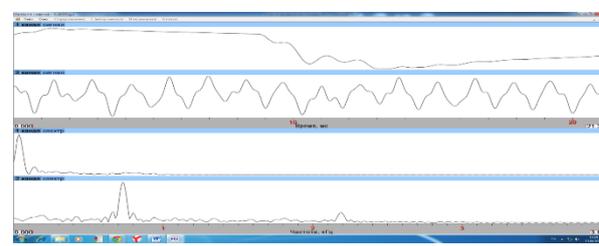
Стойка № 32-1



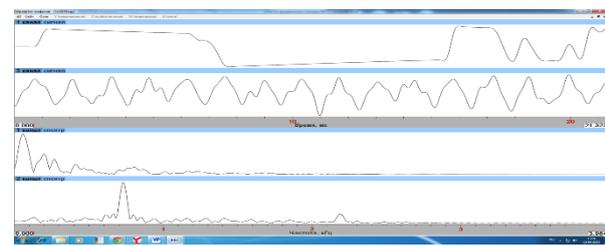
Стойка № 33



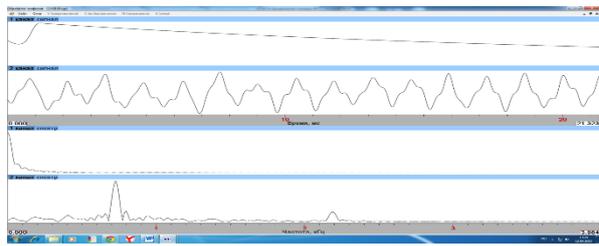
Стойка № 33-1



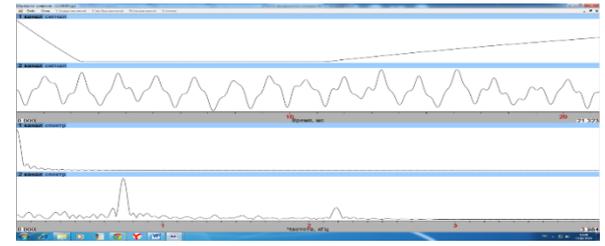
Стойка № 34



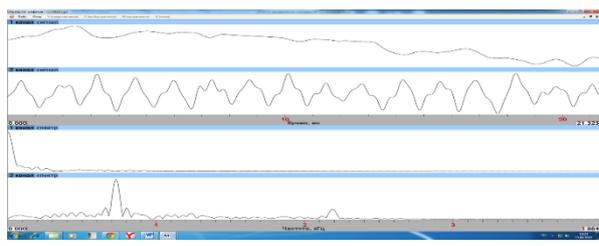
Стойка № 34-1



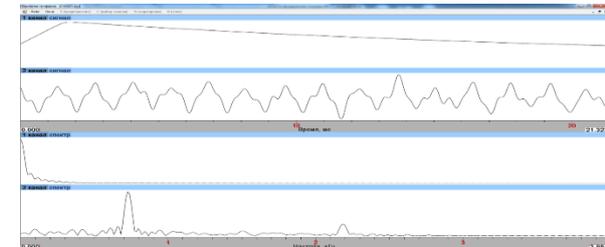
Стойка № 35



Стойка № 35-1



Стойка № 36



Стойка № 36-1

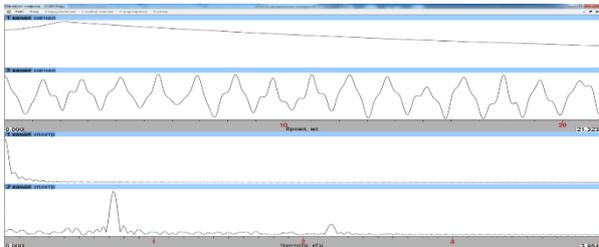


Рис. 4.3 Диаграммы вертикальных и горизонтальных колебаний по результатам сейсмозондирования фундаментов стоек эстакады.

На рис. 4.4. приведены результирующие схемы фактического положения фундамента в грунте.

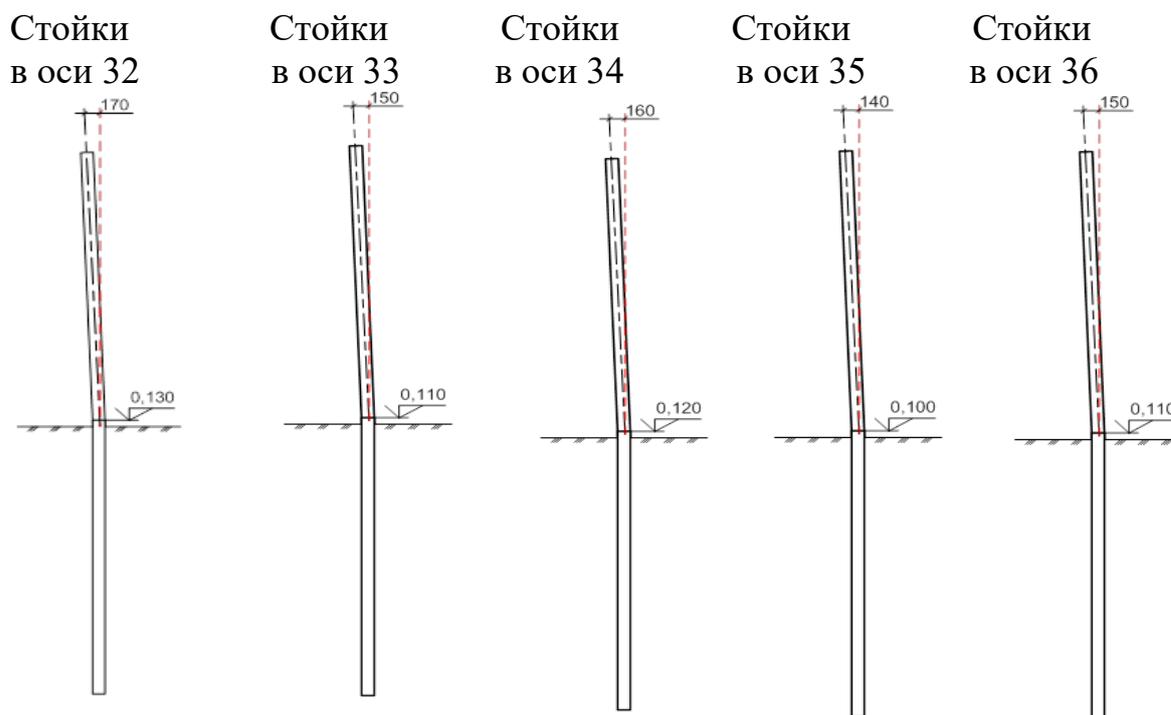


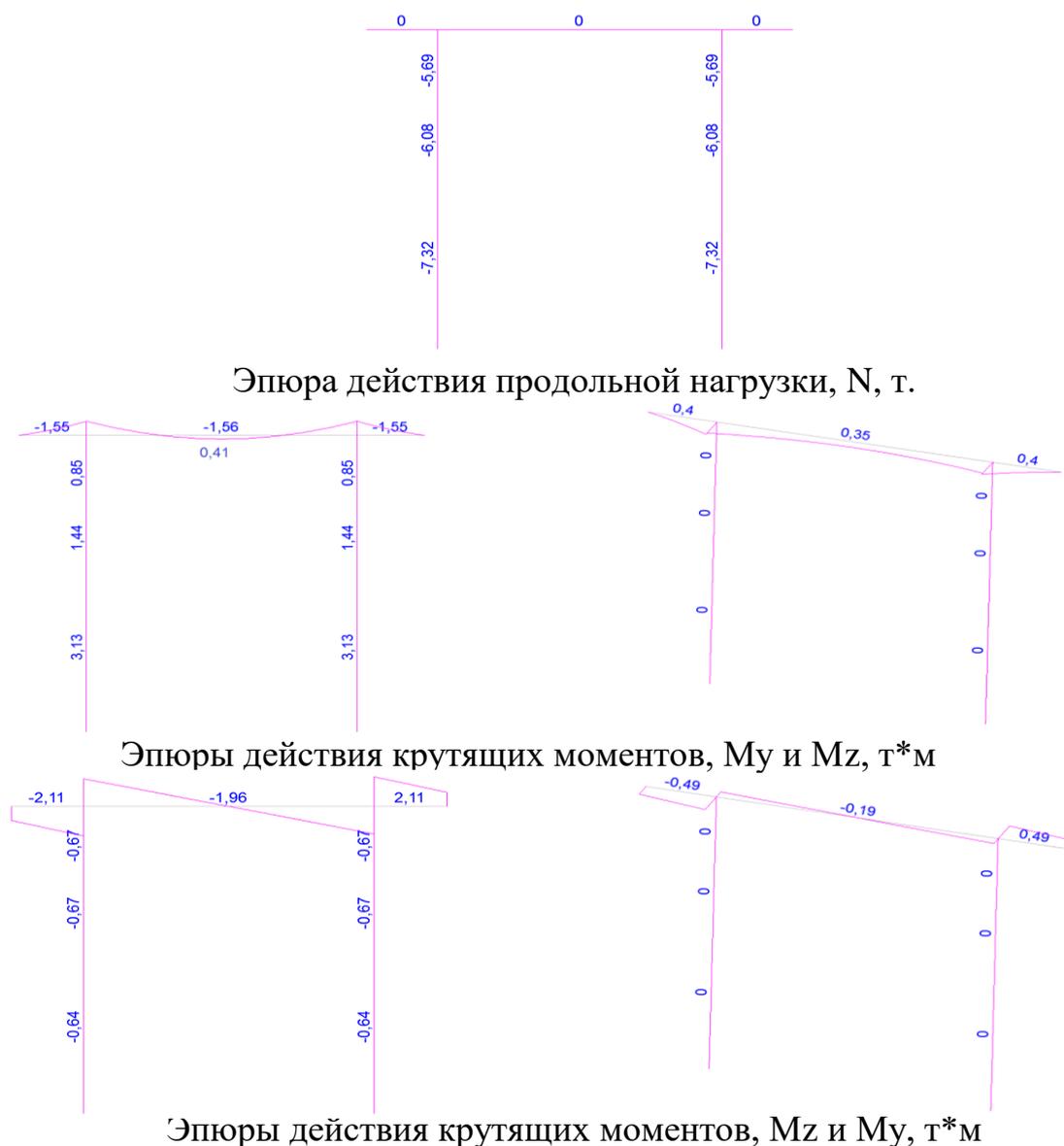
Рис. 4.4. Деформации фундаментов и стоек эстакады.

Сравнение полученных данных, а также изучение проектной документации позволило сделать вывод о том, что данные деформации стоек эстакады были вызваны вертикальной деформацией фундаментов в грунтах с глубоким сезонным промерзанием. Нагрузка от конструкций эстакады и расположенных на ней трубопроводов ниже величины сил морозного пучения, возникающие для данного вида грунта. В таблице 12 указаны усилия в конструкциях по осям 32-36.

Для уменьшения воздействия от морозного пучения по дальнейший деформации фундаментов был предложен вариант применения теплоизоляции фундаментов. В качестве утеплителя - экструдированный пенополистирол толщиной 300 мм, уложенный в уровне дневной поверхности грунта. Данная мера обусловлена тем, что на действующей установке отсутствует возможность производства масштабных земляных работ, а также работ, позволяющих произвести усиление надземных конструкций эстакады для предотвращения возможности дальнейшего перемещения строительных конструкций.

Для оценки температурного режима грунта фундаментов эстакады были устроены температурные скважины. Для сравнения температурного режима температурные скважины были устроены у устья фундаментов стоек в осях 32-36 – с применением теплоизоляции и для стоек в осях 32-1-36-1 – без применения теплоизоляции. Замеры температуры грунта производились по глубине 0,5 и 1,0 м от поверхности грунта, периодичность замеров составляла 3 раза в месяц в течение декабря-февраля 2013, затем апреля, затем в августе 2014 г. Наблюдения проводились с ноября 2012 по август 2013 г. Результаты замеров температур на рисунке 4.5.

Таблица 12. Усилия в конструкциях и узлах для рам эстакады, в опорах № 32-36.



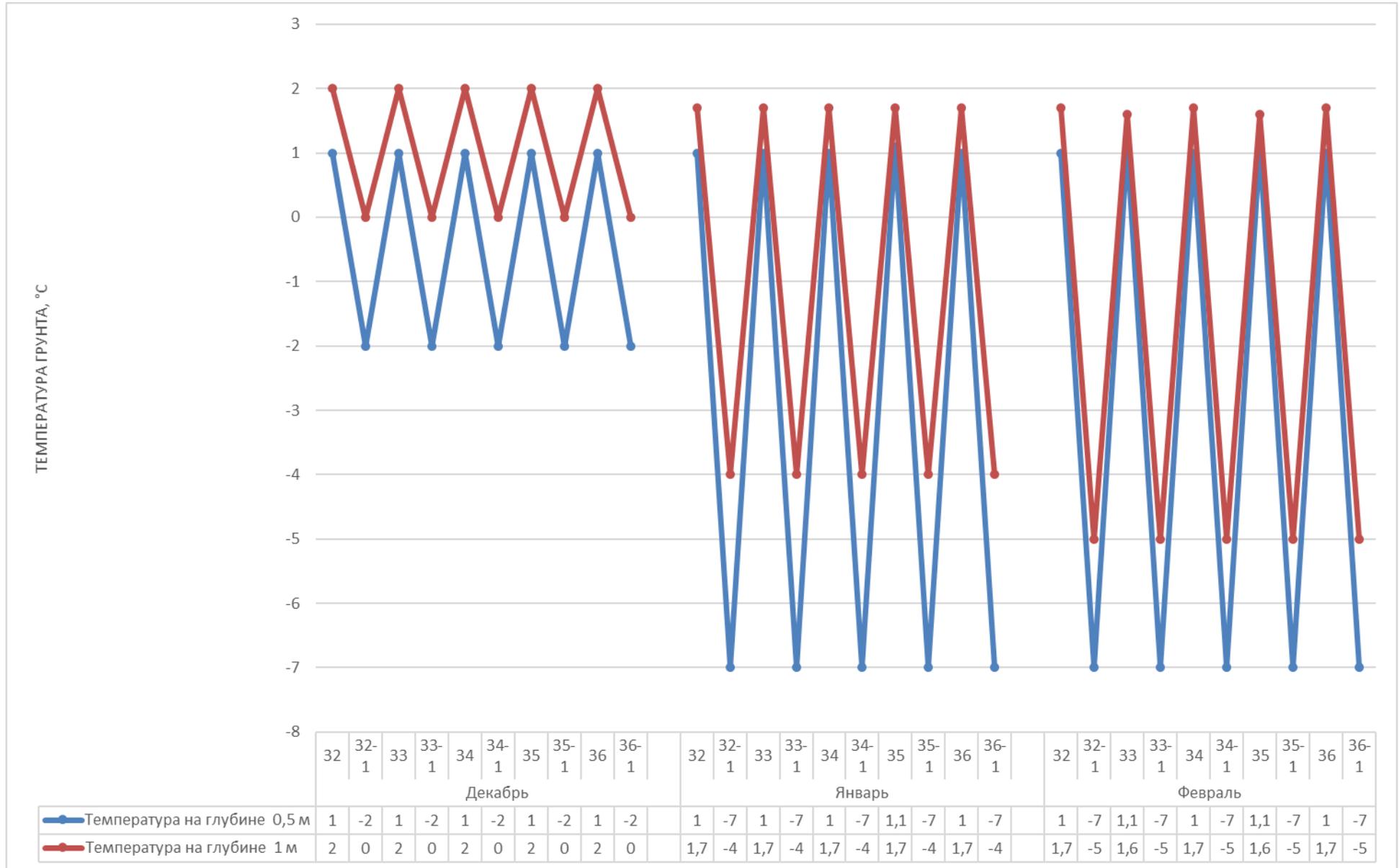


Рис. 4.5. Температуры грунта по глубине в скважинах в период проведения замеров.

Результаты наблюдений указывают, что температура грунта в термоскважине по глубине 0,5 м от поверхности грунта стоек с изолированными фундаментами находятся в пределах 1,2-1,5 °С, стоек с неизолированными фундаментами -6-8 °С. В термоскважине по глубине 1,0 м от поверхности грунта наблюдаются более высокие значения температуры: 1,9-2,2 °С для изолированных фундаментов, -2-2,5 °С - для неизолированных фундаментов. Таким образом, данные натурных наблюдений имеют схожесть с ранее проведенными экспериментами, при которых температура грунта изолированных фундаментов сохраняет положительную температуру на глубине в пределах 0,5 метров от дневной поверхности, а ближе к дневной поверхности температура грунта находится в пределах, которые выше значений начала фазовых переходов воды. Целесообразным является оценить температурные значения грунта по результатам численного моделирования.

Данные, полученные в результате наблюдений, использовались при сопоставлении результатов численного моделирования.

4.2 Численное моделирование при решении теплофизической задачи в программном модуле «Termoground»

В рамках решения теплофизической задачи методом конечных элементов была составлена расчетная схема (рис. 4.6).

В расчетную схему входили массив грунта и фундаменты. При моделировании грунтов применялись объемные элементы фундаментов и надфундаментных конструкций – объемные элементы. Исходя из глубины устройства свай и выявления возможного мостика холода, под пятой сваи была выбрана глубина грунтового массива, равная 3,5 м.

Решение теплофизической задачи осуществлялось с помощью модуля «Termoground» (принцип работы описан во 2 главе); начальные условия закладывались на основании условия для первого рода, при этом в качестве

температуры для поверхности грунта использовались данные метеослужб по г. Хабаровску с сайта pogodaklimat.ru. (таблица 13).

Расчетный период должен был охватывать период наступления постоянных отрицательных температур до момента достижения максимальной глубины промерзания, которые можно наблюдать в марте и в апреле; сам расчет был выполнен для периода декабрь 2013 – апрель 2014 гг.

Таблица 13. Температура наружного воздуха в период проведения исследований.

Год	2012			2013			
Месяц	Декабрь	Январь	Февраль	Июнь	Июль	Август	Апрель
Температура наружного воздуха, °С	-19,7	-22,1	-17,2	18,1	21,3	19,9	2,4

В таблице 14 приведены теплофизические характеристики материалов.

Таблица 14. Характеристика материалов

Наименование слоев	$\rho_d, \text{т/м}^3$	$W_{tot}, \text{д. е.}$	$W_p, \text{д. е.}$	$T_s, \text{град}$	$T_{bf}, \text{град}$	$T_{z.c}, \text{град}$	$T_f, \text{град}$	λ		C		$L_{Kдж}/ \text{м}^3$
								λ_{th}	λ_f	C_{th}	C_f	
								Кдж/мес·м·°С		Кдж/м³·°С		
Бетон	2.4	-	-	-17.2	-	-	-	4600	4600	2016	2016	-
Пенополистирол	0.15	-	-	-17.2	-	-	-	131	131	170	170	-
Суглинок (пылеватый, мягкопластичный)	1.60	0.3	0.13	-17.2	-0.3	-0.5	-7	4415	4888	1840	2480	335

Объем промерзающего грунтового массива рассматривался на февраль 2013 г. в период достижения максимальной глубины промерзания. Расчетная схема приведена на рисунке 4.4, продольные и поперечные сечения с указанием

максимальной глубины промерзания грунта показаны на рисунках 4.7 и 4.8 соответственно.

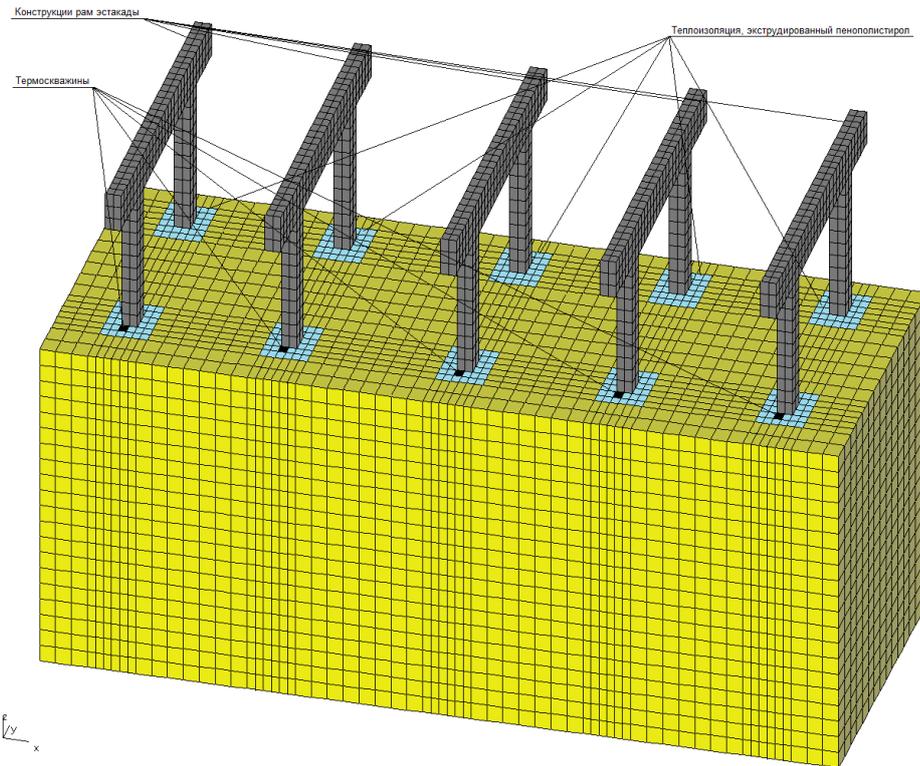


Рис.4.6. Расчетная схема.

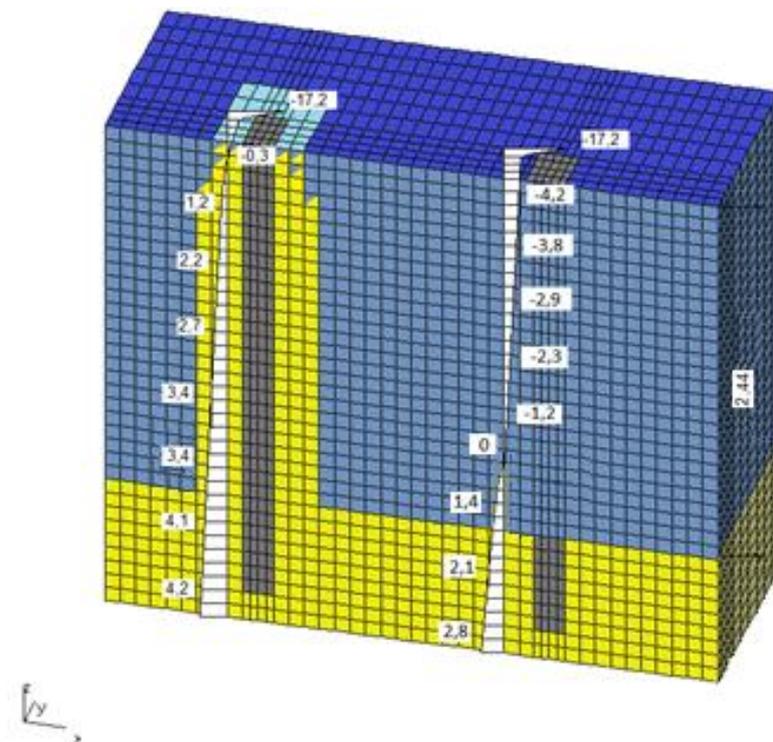


Рис.4.7. Распределение температурных полей фундаментов эстакады в поперечном сечении.

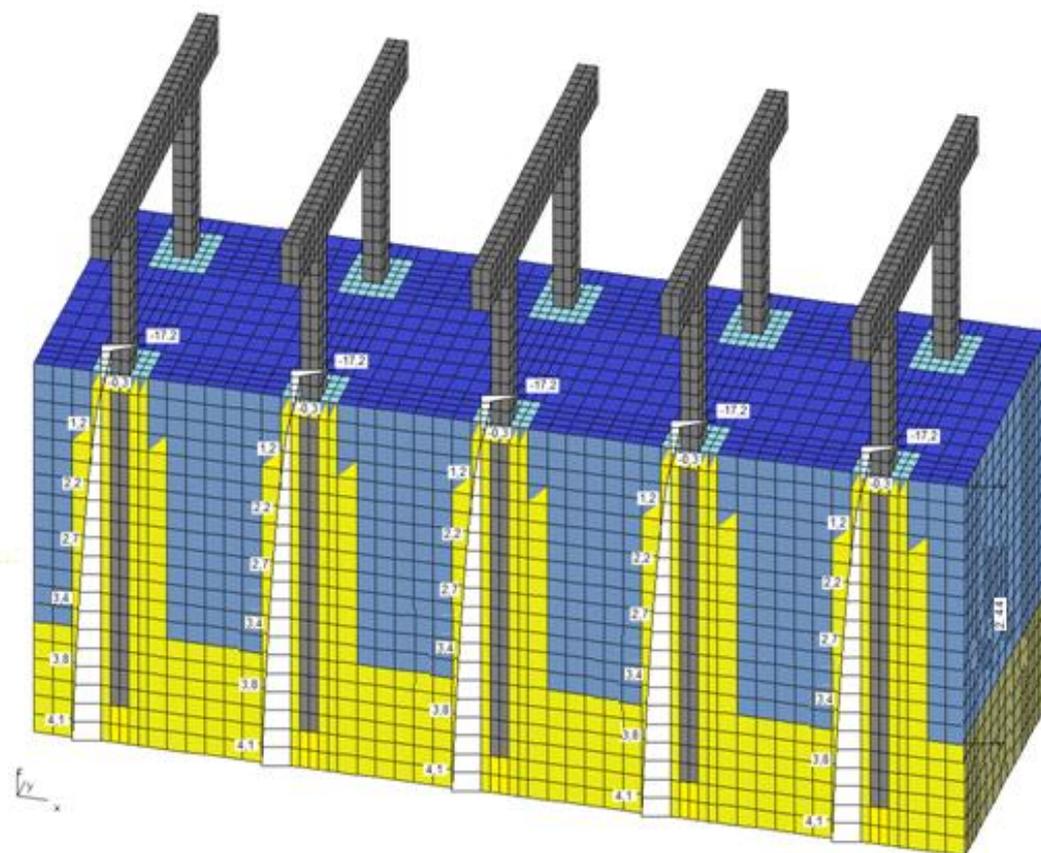


Рис.4.8. Распределение температурных полей фундаментов стоек.

На рис. 4.7 и 4.8 синим цветом обозначен промерзший грунт. При этом максимальная глубина распределения отрицательных температур в толще грунта на участках без теплоизоляции. Предельная глубина, на которой указано отрицательное значение грунта, находится в тех же пределах, что и на основании данных температурных наблюдений, в данном случае она равна 2,45 м, что обусловлено внешними температурными воздействиями, и может свидетельствовать о выполнении корректного расчета.

По результатам построенных температурных полей можно увидеть распространение промерзания ниже теплоизоляции на глубину 5-10 см, что обусловлено образованием мостика холода по телу бетона фундамента. Стоит отметить, что при аналитических способах расчета определение подобных явлений невозможно.

Таким образом, в результате расчетов методом численного моделирования установлена глубина сезонного промерзания – до 2,68 м.

Поскольку пылевато-глинистые грунты приобретают твердомерзлое состояние при температуре от 0°C до $-0,6^{\circ}\text{C}$, когда фазовый переход влаги резко снижается или прекращается вовсе, проведен аналитический расчет для определения достижения максимальной глубины промерзания грунта с применением защитных мероприятий при начале замерзания грунта при температуре замерзания 0 и $-0,6^{\circ}\text{C}$. График приведен на рис. 4.9.

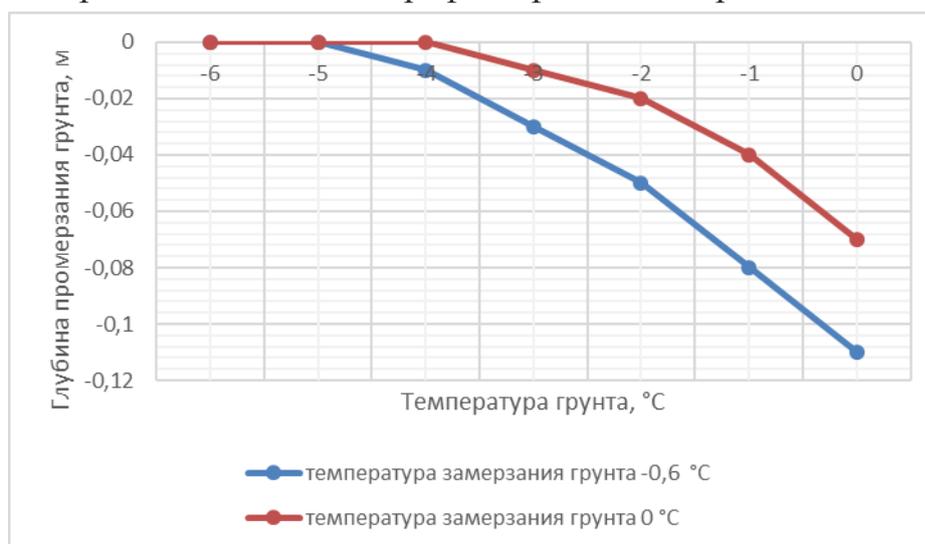


Рис. 4.9. Зависимость глубины распределения отрицательных температур в грунте при использовании теплоизоляции толщиной 300 мм и температурах замерзания грунтового массива 0°C и $-0,6^{\circ}\text{C}$.

Отрицательные температуры находятся в верхних слоях грунта на глубине не более $0,1$ м от дневной поверхности грунта, что соответствует натурным наблюдениям и результатам численного моделирования.

По мере промерзания грунта влага мигрирует из нижележащих слоев по направлению к фронту промерзания по направлению к более холодным участкам, направленным от фундамента. При сравнении температурных значений по результатам замеров и численного моделирования наблюдается распределение фронта промерзания с огибанием теплоизоляции, что подтверждает корректность расчета. Полученные по результатам численного моделирования эпюры распределения влажностных полей позволяют определить величину снижения миграционной влажности при использовании защитных мероприятий на 25%, по сравнению со значениями без применения теплоизоляции. Эпюры указывают равномерное распределение влажности грунта по глубине, что подтверждает

корректность решаемой задачи, а также отсутствие зон обезвоживания или избыточного водонасыщения.

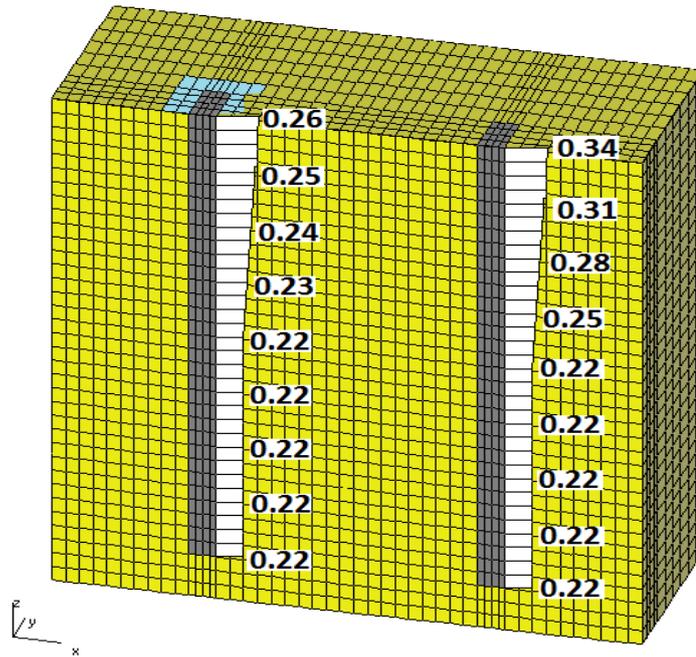


Рис.4.10. Распределение влажностных полей фундаментов стоек.

Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания с применением теплозащитных мероприятий и без них представлены на рис. 4.11 и 4.12.

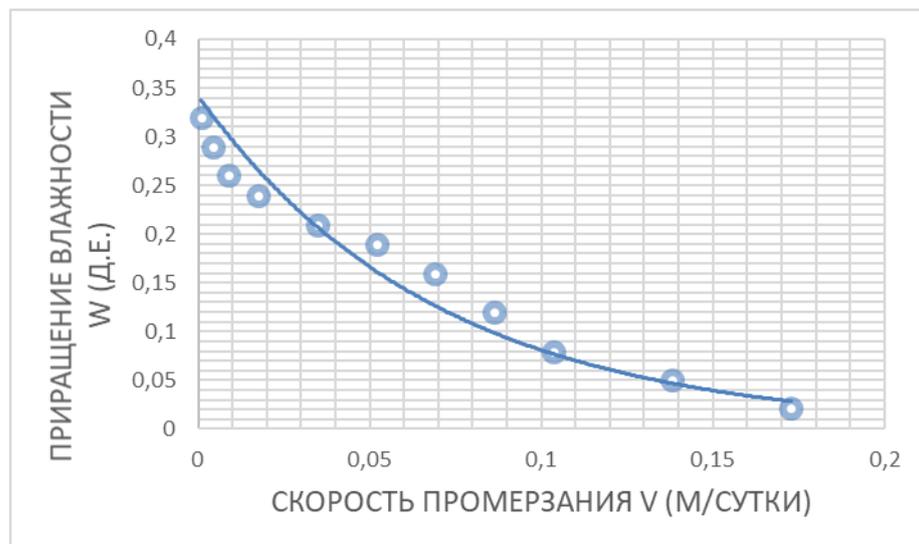


Рис. 4.11. Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания без применения теплозащитных мероприятий.

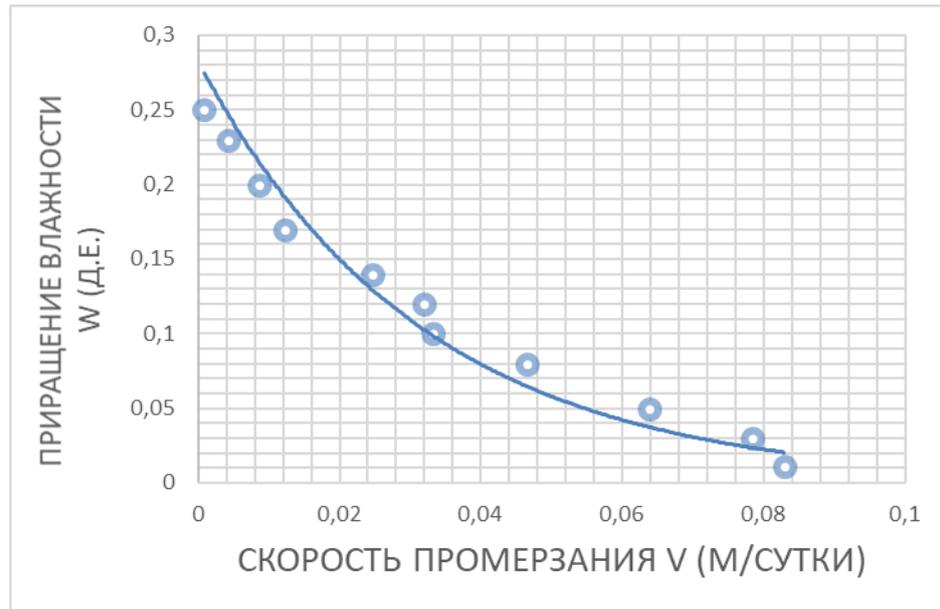


Рис. 4.12. Значения зависимости по приращению влажности (Δ_w) на границе распространения фронта промерзания от скорости самого промерзания с применением теплозащитных мероприятий.

Значения, полученные по результатам аналитического решения зависимости приращения влажности от скорости промерзания, находятся в пределах, схожих с результатами численного моделирования, максимальное значение влажности имеет значение 0,33 д.е при отсутствии защитных мероприятий и 0,25 д.е. при наличии теплоизоляции. При этом стоит отметить на графиках характерное увеличение скорости промерзания при увеличении влажности грунта, что свидетельствует о корректности вычислений.

На рисунке 4.13 показаны графики температуры грунта по натурным наблюдениям и численному моделированию. Необходимо отметить то, что результаты этих графиков совпадают с графиками, указанными в главе 3, в обоих случаях наблюдается незначительная разница между натурными наблюдениями и численным моделированием. Максимальное значение температуры грунта по расчету на глубине 0,5 м равно 1,2 °С и 2,2 °С на глубине 1 м. Наблюдаемые по результатам натурные наблюдения находятся в пределах 1,5 °С на глубине 0,5 м и 2,4-2,6 °С на глубине 1 м, что является показателем хорошей сходимости результатов.

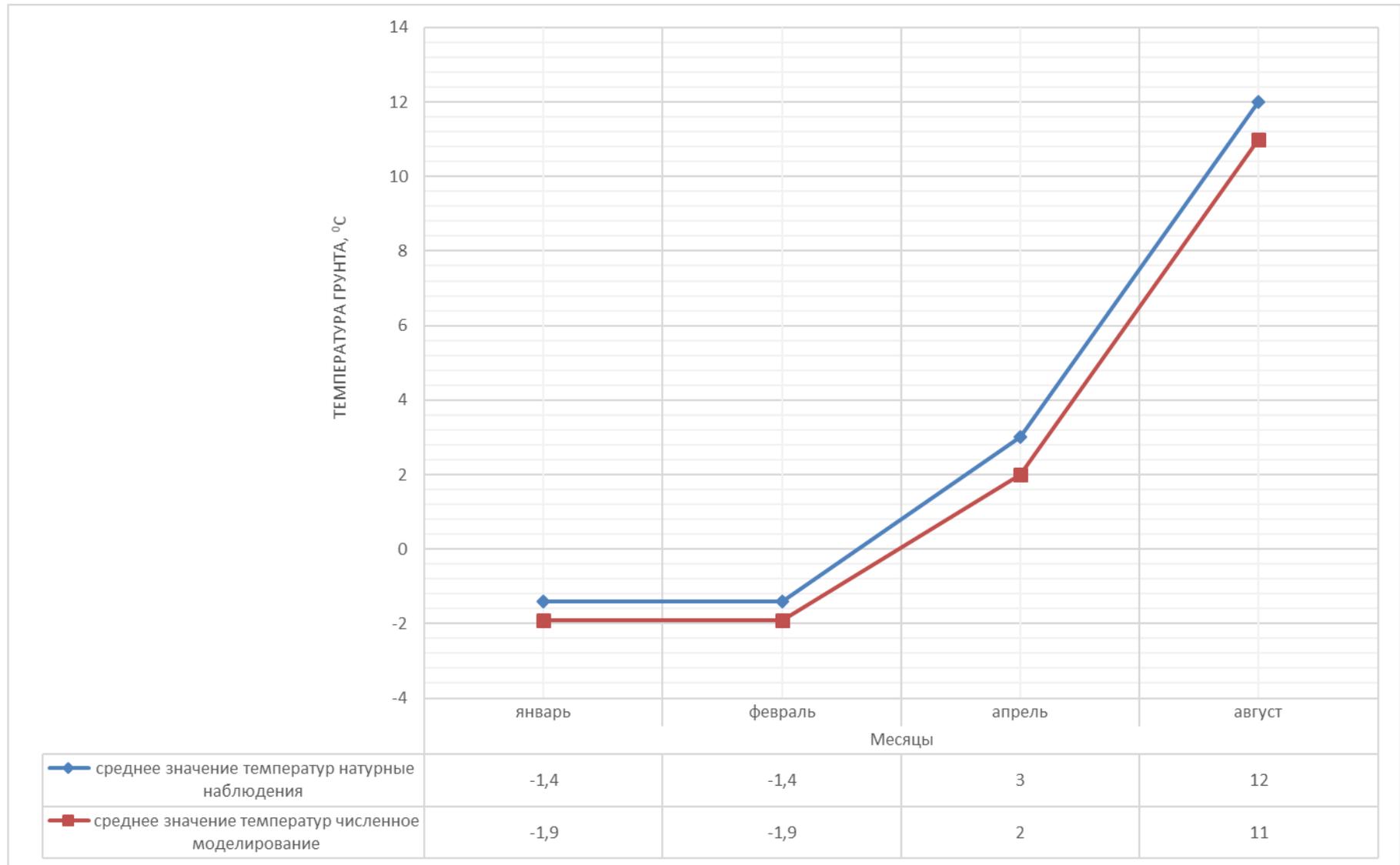


Рис. 4.13. Распределения температуры грунта по наблюдениям в термоскважинах и по численному моделированию.

4.3 Решение задачи НДС с определением перемещения фундаментов

Для определения эффективности применяемых мероприятий была проведена оценка величины деформаций отдельно стоящих фундаментов от морозного пучения. В зимний период 2012-2013 г. и в летний период 2013 г. проводились наблюдения за вертикальным перемещением фундаментов с применением нивелира.

На рисунке 4.14 показан график вертикальных перемещений фундаментов при промерзании грунта с теплоизоляцией и без применения теплоизоляции. Разность перемещений фундаментов составляет 15 мм.

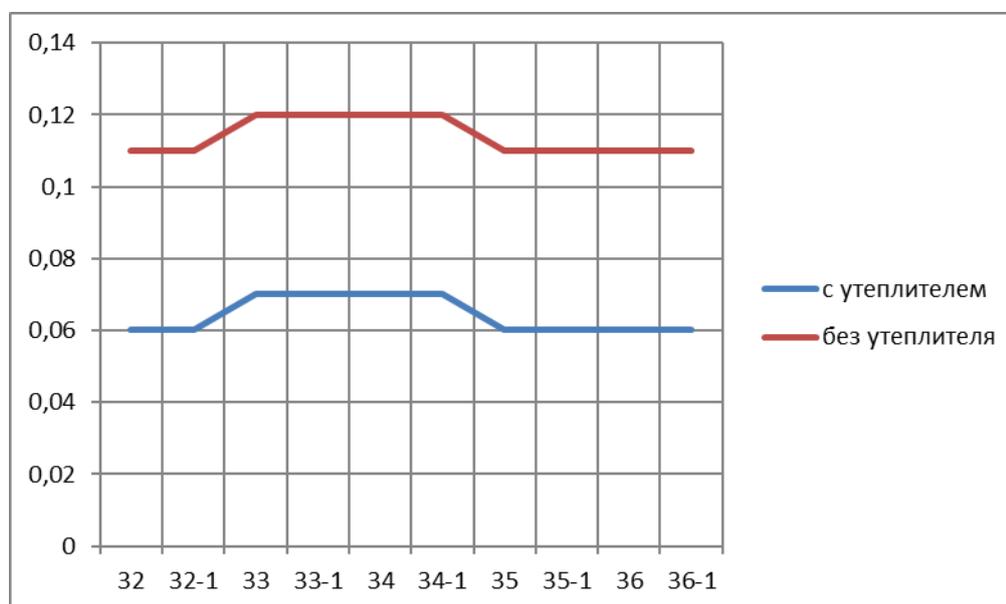


Рис. 4.14. График вертикальных перемещений фундаментов в период действия отрицательных температур.

Дополнительно были выполнены расчеты деформации фундаментов численными методами: при сезонном промерзании грунта и при сезонном оттаивании.

На рисунке 4.14 показан график вертикальных перемещений фундаментов эстакады в период действия отрицательных наружных температур. Максимальная величина вертикальных перемещений фундаментов с применением теплоизоляции составляет 5 мм – для фундаментов в осях 32; 5 мм – для фундамента в осях 33; 6 мм – для фундамента в осях 34; 6 мм – для фундамента в

осях 35; 6 мм - для фундамента в осях 36. Максимальная разность вертикальных перемещений при морозном пучения составила 6 мм, что свидетельствует о малой величине неравномерных деформаций. Для фундаментов без теплоизоляции величина вертикальных перемещений составляет 12,1 мм – для фундаментов в осях 32-1; 13,3 мм – для фундамента в осях 33-1; 13,8 мм – для фундамента в осях 34-1; 13,5 мм – для фундамента в осях 35-1; 12,4 мм - для фундамента в осях 36-1.

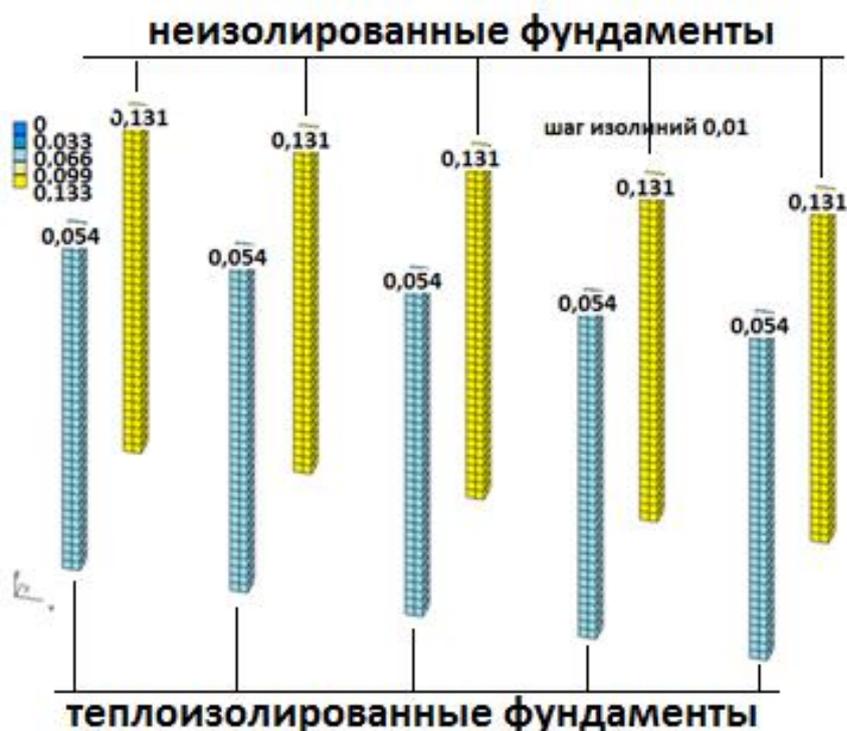


Рис.4.15. Изолинии перемещения фундаментов эстакады при промерзании грунтового массива.

В этом случае разность вертикальных перемещений при морозном пучении составила от 0,3 до 1,7 мм, что свидетельствует о наличии неравномерных деформаций. Разность вертикальных перемещений при морозном пучения составила 1 мм. Для фундаментов без теплоизоляции величина вертикальных перемещений фундаментов с применением теплоизоляции составляет 5,5 мм - для фундаментов в осях 31; 6,8 мм - для фундамента в осях 32; 6,8 мм - для фундамента в осях 33; 6,5 мм - для фундамента в осях 33; 5,4 мм - для фундамента в осях 34; 6,6 мм - для фундамента в осях 35. Разность вертикальных перемещений в этом случае составила от 0,3 до 1,7 мм, что свидетельствует о

наличие неравномерных деформаций. Наличие неравномерных вертикальных перемещений в период сезонного промерзания и оттаивания грунта вызывает дополнительные усилия в узлах надземных конструкций эстакады.

На рис. 4.15 показаны изолинии вертикальных деформаций (перемещений) фундаментов в зимний период. Мозаика деформаций показывает, что максимальные перемещения фундаментов в зимний период находятся в пределах 0,066 и 0,133 и соответствуют значениям вертикальных перемещений зафиксированных в феврале (0,061 – для фундаментов с утеплением и 0,14 для фундаментов без утепления).

Результаты расчета, совпадающие с наблюдаемыми дефектами эстакады, позволяют сделать вывод о влиянии неравномерного вертикального перемещения фундаментов на взаимное перемещение надземных конструкций. Таким образом, можно сделать вывод, что выполнение численного моделирования в программе FEMmodels показывает результаты, сопоставимые с натурными наблюдениями, в то же время позволяет иметь представление о процессах, происходящих при морозном пучении и взаимодействии грунтов с фундаментами.

4.4 Выводы по главе

1. В рамках оценки эффективности защиты малонагруженных объектов в сезонно промерзающих морозоопасных грунтах был рассмотрен крупномасштабный объект, расположенный на НПЗ в Хабаровском крае. В данной главе выполнено сравнение результатов теплофизической задачи и определения деформации фундаментов численными методами и натурными наблюдениями.

2. В ходе решения теплофизических расчетов можно сделать следующие выводы:

2.1. По результатам численного моделирования глубина сезонного промерзания грунтового массива близка данному региону;

2.2. Данные численного моделирования температурного режима грунта соответствуют данным, полученным в ходе замеров в натуральных условиях.

3. Анализ данных, полученных при расчете деформации фундаментов при морозном пучении, показал следующее:

3.1. В крупномасштабных задачах, решаемых методом конечных элементов, можно прогнозировать величину деформации (вертикального перемещения) фундаментов для оценки эффективности применения выбранных мероприятий по уменьшению деформаций от морозного пучения.

3.2. Величина взаимного вертикального перемещения отдельных фундаментов в случае применения теплоизоляции для утепления фундаментов не превышает 30 % от общего перемещения фундаментов, что не оказывает существенного влияния на каркас сооружения.

4. В качестве экстренной меры для возможности дальнейшей эксплуатации объекта после анализа причин, вызывающих затруднение дальнейшей эксплуатации, эффективно применение теплоизоляционных материалов.

Заключение

По результатам выполнения диссертационной работы достигнуты поставленные цели с получением следующих результатов:

1. На основании анализа экспериментальных и теоретических исследований методов прогнозирования, устройства и защиты фундаментов малонагруженных объектов, устраиваемых в пучинистых грунтах установлено, что для эксплуатируемых зданий и сооружений наиболее целесообразным является применение оптимальной толщины горизонтальной теплоизоляции в уровне дневной поверхности грунта, что позволяет снизить деформации фундаментов от морозного пучения, а также минимизировать объем и стоимость работ.

2. Предложенная в работе методика диагностики предназначена для эксплуатируемых объектов в условия отсутствия возможности полномасштабных исследований и позволяет оценивать фактическое состояния оснований фундаментов малонагруженных объектов на основании определения следующих критериев: фактические физико-механические характеристики грунта, наличие дефектов и глубину заложения фундамента – с помощью георадарного профилирования и сейсмозондирования, а также фактическую глубину промерзания – с помощью мониторинга температурного режима грунта.

3. В работе предложена методика расчета толщины теплоизоляции фундаментов, определяемая по формуле, основанной на отношении глубины промерзания грунта по результатам численного моделирования (учитывающими такие факторы, как: фактические физико-механические характеристики грунта, фактическую влажность грунта, температуру замерзания грунта) и длительности градусо-суток отрицательных температур, представленной зависимостью коэффициента теплоизоляции.

4. Выполненные работы по исследованию температурных значений промерзающего грунта основания фундаментов малонагруженных объектов свидетельствует об изменении НДС грунта при промерзании (изменения объема грунта за счет влажности в предзимний период и миграционной влаги в ходе

промерзания, формирование льдосодержащих трещин по телу грунта) при использовании теплоизоляции фундаментов. Применение теплоизоляции позволяет уменьшить влияние ежегодного накопления деформаций фундамента, получившего деформации и предотвратить ухудшение технического состояния объекта.

5. Выполненные исследования температурного режима грунта численными методами указывают на целесообразность решения теплофизических задач, поскольку численные методы позволяют определять температурные и влажностные значения в любой точке исследуемого объекта в годичном цикле. Данные, полученные в ходе выполнения работ по численному моделированию, имеют значения, которые соответствуют результатам, которые получены при натуральных экспериментах.

Дальнейшее направления по исследованиям — применение предложенных методик долгосрочной диагностики, расчета теплоизоляции при проектировании и строительстве объектов энергетики и нефтехимии на территории Дальневосточного Федерального округа: при строительстве НПЗ-2 на территории Хабаровского муниципального района и ТЭЦ-4 города Хабаровска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианов, П.И. Температура замерзания грунта / П.И. Адрианов м.: Изд-во АН СССР, 1936. – 54 с.
2. Балобаев, В.Т. Процессы теплообмена на поверхности обнаженных мерзлых мелкозернистых грунтов при послойном оттаивании. - Сб. Тепло – массообмен. в мерзлых толщах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 25-43.
3. Беккер, А.Т. Исследование устойчивости сооружений в горизонтальном направлении на действие сил морозного пучения грунтов: автореф. дисс. канд. Техн. Наук. – Владивосток, 1975. – 30 с.
4. Быков, Н.И. вечная мерзлота и строительство на ней / Н.И. Быков, П.Н. Каптерев. – М.: Трансдолжелдориздат, 1940. – 372с.
5. Велли, Ю.Я. Результаты полевых и лабораторных исследований сил смерзания мерзлых грунтов / Ю.Я. Велли, В.М. Карпов, В.И. Иванов // Труды IV совещания –семинара по обмену опытом строительства в суровые климатические условия. – Воркута, 1966. – с. 45-51.
6. Веселов, В.В. Методика расчета теплоизолированных фундаментов в сезоннопромерзающих грунтах: дисс. канд. техн. наук: 05.23.02: Екатеринбург, 2003 148 с. РГБ ОД, 61Ж04-5/1946.
7. Войслав, С.Г. Краткое описание исследований причины пучения полотна Николаевской железной дороги / С.Г. Войслав // Тр. бюро исследований почвы. – СПб., 1888 – 1896.
8. Вялов, С.С. Вопросы теории деформации связных грунтов / С.С. Вялов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. - № 3. – с. 1-4.
9. Вялов, С.С. Реология мерзлых грунтов / С.С. Вялов. М.: Стройиздат, 2000. - 464с.
10. Вялов, С.С. Экспериментальное определение сил пучения грунтов / С.С. Вялов, Н.И. Игорев // Труды института мерзлоотведения. М.: Изд-во Ан СССР, 1958. - С.46-55.

11. Голдштейн, М.Н. Деформация земляного полотна и оснований сооружений при промерзании и оттаивании / М.Н. Гольдштейн. М., 1948. – 212 с.
12. Гольдштейн, М.Н. О деформации подпорных стен в районах глубокого промерзания / М.Н. Гольдштейн, Е.Л. Шеф // Исследование работы грунта в железнодорожных сооружениях. – М.: Трансжелдориздат, 1940. – с 131-141.
13. Горяинов, Г.Ф. О нормативной глубине промерзания грунтов на Дальнем Востоке // Основания и фундаменты и механика грунтов. – 1973. – с. 7. – 10.
14. ГОСТ 25100 – 2020 «Грунты, Классификация». – М.; Стандартинформ, 2020. – 35 с.
15. ГОСТ 30416 – 2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М.; Стандартинформ, 2012. – 20 с.
16. ГОСТ 31937 – 2011. Здания и сооружения. Правила проведения обследования и мониторинга технического состояния. – М.; Стандартинформ, 2014. – 60 с.
17. Гречищев, С.Е. Теоретические и экспериментальные исследования температурных напряжений и деформаций в земляных полотнах в зимний период / С.Е. Гречищев, Ю. Б. Шешин // Тепловое и механическое воздействие мерзлых пород с инженерными сооружениями. М.: ВСЕГИНГЕО, 1973. 78 с.
18. Гречищев, С.Е. Криогенные физико – геологические процессы и их прогноз/ С.Е. Гречищев, Ю.Л. Шур, Л.В. Чистотинов // М.: Недра, 1980. 382 с.
19. Голли, О.Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве: автореф. дисс. докт. техн.наук. – М, 2000. – 46с.
20. Далматов, Б.И. Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений / Б.И. Далматов. – М., Л.: Стройиздат, 1957. 60 с.
21. Далматов, Б.И. Устройство газопроводов в пучинистых грунтах /Б.И. Далматов., В.С. Ласточкин. – Л.: Недра, 1978. – 199с.

22. Деформации и напряжения в промерзающих и оттаивающих грунтах / под ред. Э.Д. Ершов. – М.: МГУ, 1985. – 167с.
23. Докучаев, В.В. Расчет грунтов на вечномерзлых грунтах по предельным состояниям. Л.: Изд-во литературы по строительству, 1968. 120 с.
24. Дубнов, Ю.Д. Лабораторные исследования касательных сил морозного пучения. / Ю.Д. Дубнов // Тр. ВНИИ трансстроя. Вып. 62. М.: Транспорт, 1967. 61 с.
25. Ершов, Е.Д. Деформирование промерзающих и оттаивающих пород / Э.Д. Ершов, Ю.П.Э. Лебедеенко, Е.М. Чувилин // Инженерно-геологическое изучение и оценка мерзлых, промерзающих и оттаивающих грунтов (ИГК-92): Материалы III науч.-техн. семинара ВНИИГ им. Веденеева Б.Е. – СПб., 1993. -с. 18-23.
26. Карлов, В.Д. Влияние напряженного состояния грунта на влагопроводность его при промерзании и прогноз величин морозного пучения грунта основания фундаментов / В.Д. Карлов // Строительные свойства слабых и мерзлых грунтов, используемых в качестве оснований сооружений: Межвуз. темат. сб. тр. – Л., 1991.
27. Карлов, В.Д. Исследование особенностей морозного пучения неводонасыщенного моренного суглинка: автореф. дисс. канд. техн. наук. – Л. 1969. – 19 с.
28. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т 4. Дальний Восток. Под ред. Е.П. Чаповского. М. 1977, 502 с.
29. Исследование потенциала влагопереноса в неводонасыщенном грунте. Механика грунтов, основания и фундаменты. Сб. докл. XXVII конф. ЛИСИ. Л. 1968, с. 41-44.
30. Карлов, В.Д. Новые методы оценки влияния промерзания и оттаивания на изменение механических свойств сезонно промерзающих грунтов оснований сооружений / В.Д. Карлов // Инженерно - геологические изыскания и исследования в криолизотоне – теория, методология, практика. – СПб., 2000, с. 124-130.

31. Карлов, В.Д. Об определении относительной осадки оттаивающих мерзлых глинистых грунтов / В.Д. Карлов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1978. - № 4. – с. 16.
32. Карлов, В.Д. Основания и фундаменты на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах / В.Д. Карлов. – СПб.: СПбАСУ, 2007. 362с.
33. Карлов, В.Д. Сезонно промерзающие грунты, как основания сооружений: дисс. д-ра техн. наук. – СПб., 1998. – 320 с.
34. Ким, В.Х. Определение давления пучения при промерзании грунта в замкнутом объеме: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 271 с.
35. Киселев, М.Ф. Мероприятия против деформации зданий и сооружений от действия сил морозного выпучивания фундаментов / М.Ф. Киселев. – М.: 1971. – 102 с.
36. Киселев, М.Ф. Теория сжимаемости и оттаивания грунтов под давлением / М.Ф. Киселев. – Л.: Стройиздат, 1978. – 176 с.
37. Конюшенко, А.Г. Об увеличении объема пор в грунте при замерзании в нем влаги. / А.Г. Конюшенко, Г.Л. Анисимова// Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Выпуск 43. 1977. 78 с.
38. Кроник, Я.А. Расчет температурных полей и напряженно – деформированного состояния грунтовых сооружений методом конечных элементов / Я.А. Кроник, И.И. Демин. – М.: МИСИ, 1982. – 102 с.
39. Крылов, М.М. К теплотехническому анализу промерзания грунтов. - Вестн. Инж. и техн., 1934, № 10, с 24-32.
40. Кудрявцев, В.А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. Л.: изд-во АН СССР, 1954. 153 с.
41. Кудрявцев, В.А., Меламед, В.Т. Новая формула расчета глубины сезонного промерзания грунтов (в случае равных теплофизических характеристик талого и мерзлого грунтов). Мерзлотные исследования. Выпуск II. Изд-во МГУ, 1961, с. 3-17.
42. Кудрявцев, В.А., Меламед, В.Т. Формула расчета глубины сезонного промерзания грунтов (в случае неравных теплофизических характеристик талого

и мерзлого грунтов). Мерзлотные исследования. Выпуск III. Изд-во МГУ, 1963, с. 3-9.

43. Кудрявцев, С.А. Геотехническое моделирование процесса промерзания и оттаивания морозноопасных грунтов / С.А. Кудрявцев. – СПб., М.: АСВ, 2004. – 37 с.

44. Кудрявцев, С.А. Расчетно – теоретическое обоснование проектирования и строительства сооружений в условиях промерзающих пучинистых грунтов: дисс.... докт. техн. наук. – СПб., 2004. – 344 с.

45. Кудрявцев, С.А., Петерс, А.А., Шестаков, И.В. Численное моделирование при реконструкции и ремонте линейных сооружений на буронабивных свайных фундаментах в сезоннопромерзающих грунтах Дальнего Востока. // Вестник ТОГУ. – 2016. – №2 (41). – с. 65-74.

46. Кудрявцев, С.А., Сахаров, И.И., Парамонов, В.Н., Шашкин, К.Г., Исследование процессов промерзания основания фундаментов эстакады в г. Хабаровске. Опыт строительства и реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах: Материалы Международной научно – технической конференции. – Архангельск: изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. с. 83-88.

47. Кудрявцев, С.А., Сахаров, И.И., Парамонов, В.Н. Промерзание и оттаивание грунтов практические примеры и конечноэлементные расчеты / СПб., 2014., - 248 с.

48. Кудрявцев, С.А., Тюрин, И.М. Теория и практика проектирования фундаментов зданий и сооружений в пучинистых грунтах Дальнего Востока: Учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1999., - 83 с.

49. Численные исследования теплофизических процессов в сезонно промерзающих грунтах. Криосфера Земли. № 4. Том VII, 2003. с. 76-81.

50. Лукьянов, В.С., Головкин, М.Д. Расчет глубины промерзания грунтов. М., Трансжелдориздат, 1957, 165 с.

51. Лыков, А.В. Теория проводимости. М.: Гостехиздат., 1952. 392 с.

52. Мазуров, Г.П. Физико-механические свойства мерзлых грунтов. Л., Стройиздат, 1975. 215 с.

53. Мельников, А.В. Оценка горизонтального давления морозного пучения грунта на ограждение котлована / А.В. Мельников, В.А. Васенин // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сборник трудов научно - технической конференции. – СПб., 2010. – с. 376-381.

54. Мельников, А.В. Расчетные и конструктивные методы устройства теплоизоляции фундаментов в пучинистых грунтах в условиях глубокого сезонного промерзания: дисс. канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 169 с.

55. Мельников, Б.Н. Исследование послойных деформаций глинистых грунтов при их промерзании / Б.Н. Мельников // Исследование работы оснований и фундаментов промышленных зданий и сооружений. – Свердловск, 1969. – с. 50-57. – (Сборник трудов / Уралпромстройиниипроект, № 22).

56. Методические рекомендации. Проектирование оснований фундаментов на пучинистых грунтах. – М.: ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки в строительстве», Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2019. – 53 с.

57. Методы определения механических свойств мерзлых грунтов / под ред. Э.Д. Ершова. Л.Т. Роман. – М.: МГУ, 1995. – 160 с.

58. Морарескул, Н.Н. Исследование нормальных сил ленточной глины при замерзании / Н.Н. Морарескул, Б.И. Далматов // Сб. трудов ЛИСИ. – Л., 1959. – с 19-26. – (вып.2).

59. Морарескул, Н.Н. Исследование нормальных сил морозного пучения грунтов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., 1950. – 14 с.

60. Невзоров, А.Л., Кригер Е.В., Сахаров И.И., Захаров А.Е., Парамонов В.Н., Кудрявцев С.А. Оценка деформации грунтов, связанных с промерзанием и оттаиванием. Основания и фундаменты: Теория и практика. Межвузовый тематический сборник трудов. СПбАСУ. СПб., 2004., с. 134-140.

61. Невзоров, А.Л. Фундаменты на сезонно промерзающих грунтах: учебное пособие / А.Л. Невзоров. – М.: АСВ, 200. – 151 с.

62. Орлов, В.О. Закономерности морозного пучения грунтов оснований и методы его оценки в практике строительства: автореф. дисс. техн. наук. – М.: 1979. - 38с.
63. Орлов, В.О. Криогенное пучение тонкодисперсных грунтов / В.О. Орлов. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 188 с.
64. Орлов, В.О. Мороопасные грунты как основания сооружений. В.О. Орлов, И.И. Железняк, В.Д. Филиппов, В.В. Фурсов. – Новосибирск: Наука [Сибирское отделение], 1992. – 166с.
65. Орлов, В.О. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В.О. Орлов, Ю. Д. Дубнов, Н.Д. Маренков. – Л.: Стройиздат, 1977. – 183 с.
66. Парамонов, М.В. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений / В.О. Орлов, Ю.Д. Дубнов, Н.Д. Меренков. – Л.: Стройиздат, 1977. – 183 с.
67. Пантелеев, А.В., Алаев Г.С. Величина сил пучения в Хабаровске. – Основания, фундаменты, механика грунтов. 1965, № 6. с. 24-26.
68. Петрухин, Н.А. Сила морозного пучения выпучивания фундамента / Н.А. Петрухин // Морозное пучения грунтов и способы защиты сооружения от его воздействия. М.: Транспорт, 1967, 1967. – с. 25-54.
69. Подгорная, Т.И. Оценка природных условий территорий для градостроительства: учеб. пособие. Хабаровск, 2007. 135 с.
70. Полянкин, Г.Н., Ким А.Ф., Пусков В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния промерзающего слоя грунта при его взаимодействии с боковой поверхностью фундамента. Инженерно-геологические условия и особенности фундамент строения при транспортном строительстве Сибири. Новосибирск. НИИЖТ, 1980. С 50-59.
71. Полянкин, Г.Н. Исследование совместной работы основания и фундамента в промерзающих пучинистых грунтах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. НИИЖТ. Новосибирск, 1982. 130с.

72. Пономарев, В.П. Пучины на железных дорогах и методы борьбы с ними. Транс. желдор. изд-во. М.; 1952. 256с.

73. Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 59 с.

74. Пусков, В.И. Прогноз касательных сил морозного выпучивания фундаментов с учетом интенсивности пучения грунта в слое сезонного промерзания / В.И. Пусков // Геотехнические исследования для транспортных сооружений Сибири. – Новосибирск, 1985. – С.28-38.

75. Пусков, В.И. Силовые воздействия морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений и методы их расчета: автореф. дисс. докт. техн. наук. – М., 1993. – 37 с.

76. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций сил морозного пучения грунтов. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.

77. Роман, Л.Т. Механика мерзлых грунтов / Л.Т. Роман. – М.: Наука / Интерпериодика, 2002. – 426с.

78. Рошин, В. Пример исследования температурного поля грунта под неотапливаемым зданием в районе глубокого сезонного промерзания / В.В. Рошин // Рациональные методы устройства фундаментов в районах глубокого сезонного промерзания грунтов. – Л., 1964. – с.44-55. (Материалы семинара; вып. 1).

79. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах актуализированное издание от 01.02.2018. М.: Стройиздат, 1979 - 39 с.

80. Сажин, В.С. Исследования взаимодействия мелкозаглубленных фундаментов со слабопучинистым грунтом / В.С. Сажин, В.В. Борщев, А.В. Сажин // Основания и фундаменты и механика грунтов. – 1984 - № 4 – с. 21-24.

81. Сажин, В.С. Расчет ленточных фундаментов на воздействие сил морозного пучения // В.С. Сажин, В.Я. Шишкин, А.Ф. Светенко, В.В. Борщев

// Конструкции и расчет жилых и промышленных зданий сельскохозяйственного назначения. – 1984 - № 4. – с. 32-40.

82. Сахаров, И.И. Методология расчета оснований и фундаментов при глубоком сезонном промерзании грунтов / И.И. Сахаров // Проблемы фундаментостроения в грунтовых условиях новой столицы: труды I Казахстанской национальной геотехнической конференции. - Акмола, 1997. – (Том 2).

83. Сахаров, И.И. Решение трехмерной температурно-влажностной задачи промерзания и пучения на примере малоэтажного кирпичного здания / И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов, К.Г. Шашкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. № 2. – с.56-68.

84. Сахаров, И.И. Физические аспекты кристаллизации и переноса влаги в промерзающих грунтах / И.И. Сахаров // Материалы конференции и совещаний по гидротехнике. – Л.: Энергоатомиздат. 1988. С. 58-63.

85. Сигерленд, Л. Примеры метода конечных элементов. М., Мир. 1979. 392 с.

86. Симагин, В.Г. Фундаменты в пучинистых грунтах / В.Г. Симагин. – Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1973. – 103 с.

87. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений (СНиП 2.02.83*. Актуализированная редакция)/ Минрегион России. – М.: 2011. - 161 с.

88. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты/ Минрегион России. – М., 2011. – 86с.

89. СП 43.13330.2011. Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85/ Минрегион России. - М., 2011. – 101с.

86. СНиП 23-01-99. Строительная климатология/ Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2000. – 58 с.

87. Стоценко, А.В. Сезонное промерзание грунтов Дальнего Востока вне области вечной мерзлоты. М.: АН СССР, 1952. 246 с.

88. Толкачев, Н.А. Экспериментальные исследования нормальных сил морозного пучения грунтов / Н.А. Толкачев // Мероприятия против морозного пучения грунтов и его вредного влияния на фундаменты. – М.: Госстройиздат. 1963. С. 92-116. – (сб. трудов НИИОСП, № 52).

89. Туренко, И.И. К теории взаимодействия промерзающего пучинистого грунта с фундаментами / И.И. Туренко, В.Д. Харлаб // Механика стержневых систем и сплошных сред. – Л., 1970. – с. 67-75. – (сб. трудов ЛИСИ, № 63).

90. Улицкий, В.М. Деформация легких зданий от воздействия сил морозного пучения в условиях суровой малоснежной зимы / В.М. Улицкий // Проблемы строительства в условиях Забайкалья. – Чита, 1967. – с. 67-74.

91. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геотехнике. М.: Недра, 1987. 221 с.

92. Фадеев, А.Б., Сахаров И.И., Репина П.И. Численное моделирование процессов промерзания и пучения в системе «фундамент- основание» / Основания, фундаменты и механика грунтов. 1994. № 54. С. 6-9.

93. Федосеев, А.Е. Физико-механические процессы в грунтах при их промерзании и оттаивании / А.Е. Федосов. – М.: Трансжелдориздат. 1935. – 48 с.

94. Фурсов, В.В. Исследование влияния промораживания и оттаивания грунтов на их физико – механические свойства / В.В. Фурсов // Исследования по строительным конструкциям и фундаментам. – Томск. Изд-во Томского университета, 1979. С. 214-217.

95. Харлаб, В.Д. Теоретические исследования взаимодействия промерзающего пучинистого грунта с боковой поверхностью фундамента / В.Д. Харлаб // Механика стержневых и сплошных сред. – Л. С. 100 -112. (сб. трудов ЛИСИ, № 57).

96. Хачикянц, Е.И. Влияние фронтов промерзания на процесс пучения грунтов / Е.И. Хачикянц, И.А. Васильева // Инженерное мерзловедение в гидротехническом строительстве: материалы конференции и совещания по гидродинамике. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – с. 26-30.

97. Цытович, Н.А. К теории равновесного состояния воды в мерзлых грунтах // Изд. АН СССР. Серия геогр. И геофиз. – 1945. – т. 9. - № 5-6. с. 493-502.
98. Цытович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для вузов. – 5-е изд. / Н.А. Цытович. – М.: Книжный дом «Лоброком», 2009. – 272 с.
99. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов: учебн. пособие / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1973. – 448с.
100. Цытович, Н.А. Основания и фундаменты на мерзлых грунтах / Н.А. Цытович. М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 168с.
100. Цытович, Н.А., Нерсесова З.А., Фазовый состав воды в мерзлых грунтах – В кн.: Материалы по лабораторным исследованиям мерзлыхгрунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1957, сб. 4 с. 14-20.
101. Цытович, Н.А., Сумгин, М.И. Основания механики мерзлых грунтов. М-Л. Изд-во АН СССР, 1937. 432 с.
102. Шестаков, И.В. Исследование температурного режима пучинистых грунтов южных районов Дальнего Востока // Фундаментальные исследования. – 2016. - № 11 (2).
103. Шестаков, И.В., Кудрявцев, С.А., Кажарский, А.В. Геотехнический мониторинг легконагруженных сооружений опасных производственных объектов в сезонно промерзающих грунтах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2016. - № 4(52).
104. Шушерина, Е.П. Изменение физико – механических свойств грунтов в результате промерзания и последующего оттаивания / Е.П. Шушерина // Материалы по физике и механике мерзлых грунтов. – М., 1959. с. 99-114.
105. Штукенберг, В.И. Заментки о пучении на железных дорогах и о мерах для уничтожения их / В.И. Штукенберг // «Инженер» - журнал Министерства путей сообщения. Том IV, книга 10. СПб 1885 – 23 с.
106. Штукенберг, В.И. О борьбе с пучинами на железных дорогах / В.И. Штукенберг // Журнал Министерства путей сообщения, книга 2. СПб 1894. – 5с.

107. Andersland, O., Ladanyi B. Frozen Ground Engineering. John Wiley & Sons, - 2004-363p.
108. Beskow, G. Freezing and Heaving with Application to Roads and Railways// Sver. Geol. Unders., ser. № 375 Traus, Technical Institute, Northwestern Uni. Evanstone. III. 1947. pp. 340-364.
109. Crory, F.C., Reed R. Measurement of frost heaving forces of pile// USA CRELL. Technical Report. 1965. 145 p.
110. Crindland, O. Frost protection of structures in the road network/ Grindland O. // Frost i Jord. – 2005. - № 108. –p. 41-43.
111. Hoekstra, P. Moisture movement in soil under temperature gradients with the cold side below freezing/ Hoekstra P. // Water Res., - 1966.-p. 45-53. - (Vol. 2).
112. Kudryavtsev, S.A. Numerical forecast of freezing, heave and thawing of soils under footings in three – dimensional mode / Kudryavtsev S.A., Sakharov I.I, Paramonov, V.N. // Proceeding of the fifth International symposium of permafrost engineering. Vol. 1- Yakutsk: Permafrost Institute Press, 2002. – p. 198-202.
113. Ladanyi, B., Foriero A. Evolution of frost heaving stress acting on pile // proc. 7-th Intern. Symp. on Permafrost, Yellowknife. 1988. Pp. 623-633.
114. Morris, R., Foriero A. Frost – protected shallow foundation: current state – of – the-art-and potential application in the U.S. / Morris R. – Reston: NAHB, 1988. 231p.
115. Penner, E. Uplift forces on foundation in frost heaving soils / Penner E. //Canad. Geotechn. J. 1974. – 11. – p. 323-338.
116. Pike, C. W., Saurin B F. Buoyant foundations in soft clay for oil-refinery structures at Grangemouth. – Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 1, issue 6. – Nov. 1952. – pp. 301-321.
117. Revised builders guide to frost – protected shallow foundations / NAHB Research Center Inc. – 2004. – 34 p.
118. Ruckli, R. Relevé des sols et fondations des routes. Bull. Techn. Suisse romande. Lausanne, 1943. 32 p.

119. Spenser, W.G. Frost heave and water uptake relations in variably saturated aggregate base materials / Spenser W.G., Hermansson A. // Transportation Research Board 82nd Annual Meeting. – Washington, 2003. – p. 126-142.

120. Stefan, I. Über einige Probleme der Theorie der Wärmeleitung. – Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, 1889, Bd. 98, Abt. II, pp. 473-484.

121. Taber, S. Freezing and thawing of soils a factor in destruction of road pavements // Public Roads. 1930. Vol. 11, № 6 pp. 113-132.

Акт внедрения



В диссертационный совет

АКТ
о внедрении результатов
кандидатской диссертационной работы
Шестакова Ильи Викторовича

Настоящим подтверждаю, что результаты кандидатской диссертационной работы Шестакова Ильи Викторовича «Совершенствование метода защиты оснований фундаментов эксплуатируемых малонагруженных производственных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах», выполненной в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), на кафедре «Мосты, тоннели и подземные сооружения» под руководством доктора технических наук, доцента, проректора по научной работе ФГБОУ ВПО ДВГУПС Кудрявцева Сергея Анатольевича, внедрены при проектировании реконструкции эстакады технологических трубопроводов установки каталитического риформинга.

Научная новизна работы заключается в применении максимально эффективного и имеющего высокую технико-экономическую составляющую метода защиты зданий и сооружений топливно-энергетического комплекса, что позволяет предотвратить развитие негативных процессов и обеспечить безопасную эксплуатацию в межремонтный период.

Технический директор –
главный инженер

А.В. Барон

ПРИЛОЖЕНИЕ Б**Акт внедрения**

РН-КОМСОМОЛЬСКИЙ НПЗ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

от 03.06.2014 № 246

на _____ № _____

В диссертационный совет
по месту защиты

АКТ

о внедрении результатов
кандидатской диссертационной работы
Шестакова Ильи Викторовича

Настоящим подтверждаю, что результаты кандидатской диссертационной работы Шестакова Ильи Викторовича «Совершенствование метода защиты оснований фундаментов эксплуатируемых малонагруженных производственных зданий и сооружений в сезонно промерзающих грунтах», выполненной в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), на кафедре «Мосты, тоннели и подземные сооружения» под руководством доктора технических наук, доцента, проректора по научной работе ФГБОУ ВПО ДВГУПС Кудрявцева Сергея Анатольевича, внедрены при проектировании реконструкции эстакады технологических трубопроводов топливного парка.

Научная новизна работы заключается в применении максимально эффективного и имеющего высокую технико-экономическую составляющую метода защиты зданий и сооружений топливно-энергетического комплекса, что позволяет предотвратить развитие негативных процессов и обеспечить безопасную эксплуатацию в межремонтный период.

Зам генерального директора
по развитию

М.Г. Муращенко