

На правах рукописи



Хритин Илья Владимирович

**ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВА ГРУНТА, ВМЕЩАЮЩЕГО
КОТЛОВАН, НА УСИЛИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ ОГРАЖДЕНИЯ
КОТЛОВАНА ПРИ СЕЗОННОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Специальность 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2018

Работа выполнена в Акционерном обществе «Научно-исследовательский центр «Строительство» – Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (АО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н.М. Герсеванова)

Научный руководитель: кандидат технических наук
начальник отделения - главный инженер проекта
Буданов Вячеслав Григорьевич

Официальные оппоненты: **Никифорова Надежда Сергеевна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кафедра «Механика грунтов и геотехника»
Конюхов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, АО «Мосинжпроект», советник заместителя генерального директора по строительству объектов метрополитена

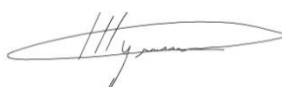
Ведущая организация: **АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства»**

Защита состоится «14» июня 2018 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 303.020.02, созданного на базе АО «НИЦ «Строительство» по адресу: 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6 (корпус 5, конференц-зал НИИЖБ им. А.А. Гвоздева).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке по адресу 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6 и на сайте www.cstroy.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Шулятьев Станислав Олегович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Актуальность работы обусловлена необходимостью учета изменения напряженно-деформируемого состояния (НДС) конструкций ограждения котлованов за счет перепада температур наружного воздуха, в том числе при оценке влияния на осадки близлежащих зданий и инженерных коммуникаций.

Степень разработанности темы.

Несмотря на то, что вопрос НДС конструкций ограждения котлованов изучен широко, учет температурных воздействий требует дополнительных исследований. Методики, применяемые при определении температурных напряжений в конструкциях котлованов, не учитывают деформации (податливость) массива грунта за стеной ограждения.

Цель и основные задачи диссертационной работы.

Целью исследований является разработка методики учета грунтовых условий и других факторов в расчете распорной системы и конструкций ограждения котлованов от сезонного изменения температуры распорок, позволяющего уменьшить или исключить негативное влияние температурного фактора и оптимизировать материалоемкость при проектировании.

Для достижения указанной цели в основные задачи диссертационной работы ставились:

- анализ существующего состояния вопроса исследования;
- планирование и проведение расчетно-теоретических и экспериментальных исследований для изучения влияния деформаций массива грунта, вмещающего котлована, на НДС конструкций ограждения котлована при изменении температуры распорок;
- разработка методики определения дополнительных усилий в распорной системе конструкции ограждения котлована с учетом податливости массива грунта за ограждающей стеной при повышении температуры распорок.

Научная новизна работы.

Научную новизну диссертационной работы составляют:

- определение факторов, влияющих на формирование НДС системы «массив грунта - ограждающая конструкция - распорная крепь» в условиях изменения температуры последней;
- прогнозирование усилий в конструкциях ограждения котлована и осадок поверхности окружающего массива грунта;
- определение влияния податливости массива грунта за ограждающей стеной на усилия в конструкциях ограждения котлована при температурных деформациях распорной системы;
- расчетно-теоретические исследования влияния температурных деформаций распорной системы на усилия в конструкциях ограждения котлованов;
- комплексные экспериментальные крупномасштабные исследования влияния температурных деформаций распорной системы на усилия в конструкциях ограждения котлованов и осадки поверхности массива грунта.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в оценке влияния сезонного изменения температур на НДС системы «массив грунта – ограждающая конструкция котлована», в том числе в:

- определении основных факторов, влияющих на усилия в конструкциях ограждения котлованов при температурных деформациях распорок;
- в подтверждении, что дополнительные «температурные» усилия в распорках, определенные с учетом податливости ограждающих стен, существенно меньше усилий, определенных по схеме с неподвижными опорами;
- определении зависимости податливости ограждающих стен от вида грунта и конструкции ограждающих стен.

Практическая значимость работы состоит в разработке аналитической методики определения дополнительных усилий в распорной системе ограждения котлованов при повышении температуры, позволяющей сократить время и трудозатраты при проектировании ограждающих конструкций котлована и оптимизировать материалоемкость.

Методология и методы исследований.

Работа выполнена на основе расчетно-теоретических, экспериментальных лабораторных и натурных исследований. Расчетно-теоретические исследования влияния деформаций массива грунта, вмещающего котлован, на НДС конструкций ограждения котлована при изменении температуры проведены путем численного моделирования температурных деформаций распорной системы. Экспериментальные исследования выполнены на крупномасштабной физической модели ограждающей конструкции котлована и на натурном котловане с использованием как традиционных способов и средств измерений, так и с помощью современной системы автоматизированного мониторинга напряжений в конструкциях. При обработке экспериментальных данных применены традиционные статистические методы обработки информации с использованием цифровых таблиц.

Положения, выносимые на защиту.

На защиту выносятся результаты исследования влияния температурных деформаций распорок на НДС системы «массив грунта – конструкция ограждения котлована», включающие:

- оценку факторов, влияющих на формирование НДС системы «массив грунта - ограждающая конструкция - распорная крепь» в условиях изменения температуры последней;
- результаты расчетно-теоретических исследований влияния изменения температуры распорок на усилия в конструкциях ограждения котлованов;
- методику определения дополнительных усилий в распорной системе конструкции ограждения котлована с учетом податливости массива грунта за ограждающей стеной при повышении температуры распорок;
- результаты экспериментальных лабораторных исследований температурных деформаций распорок на усилия в конструкциях ограждения котлованов, в том числе с учетом типа ограждающих стен, а также влияние на дополнительные осадки окружающего котлован массива грунта.

Степень достоверности результатов исследования.

Достоверность результатов исследований обеспечена:

- учетом при выполнении численных расчетов положений действующих нормативных документов;
- использованием численных методов расчетов в сертифицированных геотехнических программных комплексах;
- применением в экспериментальных исследованиях сертифицированного измерительного оборудования, прошедшего метрологическую аттестацию в соответствии с ГОСТ 8.543-86 ГСИ;
- приемлемой сходимостью результатов расчетно-теоретических исследований и разработанной методики с данными проведенных экспериментальных исследований, а также с данными ранее выполненных натурных и теоретических исследований отечественных и зарубежных авторов.

Личный вклад автора.

Личный вклад состоит в участии соискателя на всех этапах исследования: в разработке методики и выполнении численного моделирования и расчетного анализа влияния изменения температуры распорок на НДС ограждающих конструкций котлованов; в проведении натурных исследований влияния изменения температуры воздуха на усилия в распорной системе ограждения котлована; в планировании, подготовке и реализации многофакторных лабораторных исследований влияния температурных деформаций распорок на усилия в конструкциях ограждения котлованов; в обработке и интерпретации экспериментальных данных; анализе и обобщении полученных результатов; в подготовке и написании основных публикаций по выполненной работе.

Апробация работы.

Основные положения проведенных исследований докладывались на следующих конференциях:

- I Российская учебно-практическая молодежная конференция по геотехнике. МГСУ (Москва, 2015);

- Всероссийская научно-практическая конференция «Геотехника: теория и практика» . СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2017).

Результаты работы внедрены.

Результаты работы использованы:

- при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по определению правил проведения инженерных изысканий, определению нормируемых параметров и разработке методик расчета оснований, фундаментов и параметров усиления грунтов (по заказу Федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»);

- при разработке проекта изм. 2 СП22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений».

Публикации.

По теме диссертации автором опубликованы 2 научные работы в научных журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ. Общее число печ. листов: 1,62; в т.ч. авт. печ. листов. 1,62.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 130 страниц, из них основного текста 120 страниц, 64 рисунка, 29 таблиц, список литературы из 77 наименований, в том числе 14 на иностранном языке.

Содержание диссертации соответствует пунктам 1, 2, 10 паспорта специальности 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса влияния температурных воздействий на конструкции ограждений котлованов. Показана необходимость учета сезонного перепада температур, достигающего в средней полосе России 60°C , при проектировании конструкции ограждений котлованов и выполнении геотехнического прогноза.

Представлен обзор работ отечественных и зарубежных авторов в части исследования вопросов НДС конструкций ограждения котлованов, в т.ч. с учетом температурных воздействий. Большой вклад в разработку и совершенствование методов расчета и устройства подземных сооружений, котлованов и их влияния на окружающую застройку внесли труды Абелева М.Ю., Буданова В.Г., Готман Н.З., Готмана А.Л., Зерцалова М.Г., Знаменского В.В., Ильичева В.А., Колыбина И.В., Конюхова Д.С., Мангушева Р.А., Мозгачевой О.А., Никифоровой Н.С., Петрухина В.П., Разводовского Д.Е., Скачко А.Н., Скорикова В.А., Ставницера Л.Р., Тер-Мартirosяна А.З., Тер-Мартirosяна З.Г., Улицкого В.М., Шапиро Д.М., Шейнина В.И., Шишкина В.Я., Шулятьева О.А., Burland J.B., Standing, J.R., Jardine F.M., Moormann, Ch. Moormann, H.R., Реск, R В и др.

Рассмотрены современные методы расчета конструкций ограждения котлованов с учетом температурных воздействий. Отмечено, что в практике проектирования котлованов расчеты элементов крепления на температурные воздействия, как правило, производятся по схеме с неподвижными опорами. При подобном подходе определенные расчетом температурные напряжения в распорных конструкциях превышают напряжения, определенные с учетом податливости ограждающих стен котлована. В результате проектирование ведется с перерасходом материала.

Проанализированы результаты исследований Moormann Ch., в которых предложен метод определения усилий в распорной системе, основанный на понижении значения усилий, определенных для распорок с неподвижными опорами. Автором эмпирически определен понижающий коэффициент в диапазоне от 0,2 до 0,3 для ограждения котлована в виде «стены в грунте» из

буросекущихся свай в полутвердых глинах. Ранее в работах WeiBenbach A. были предложены следующие значения коэффициента: 0,15- для ограждения котлована из отдельных элементов; 0,25-0,35 – для сплошного ограждения котлована в виде «стены в грунте» траншейного типа или из буросекущихся свай. Отмечено, что предложенный метод не учитывает длину и глубину установки распорок, а также податливость ограждающей стены в различных грунтовых условиях.

Представлен обзор экспериментальных исследований влияния изменения температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов и на осадки окружающего котлован массива грунта отечественных и зарубежных авторов. Натурные исследования, проведенные Петрухиным В.П., Шулятьевым О.А. и др. показывают значительное влияние циклического изменения температуры на напряжения в распорках и дополнительные горизонтальные перемещения ограждающей стены. Увеличения усилий в распорках при повышении температуры также зафиксированы в экспериментальных исследованиях Moormann Ch. (Германия) и Zarembo N. L. (Австралия).

Сделан вывод о необходимости дополнительных исследований учета сезонного изменения температуры при проектировании ограждающих конструкций котлованов и выполнении геотехнического прогноза.

Во второй главе приведены результаты лабораторных многофакторных экспериментов по оценке влияния изменения температуры распорок на НДС системы «массив грунта-конструкции ограждения котлована». Исследования выполнены на крупномасштабной физической модели ограждающей конструкции котлована в большом грунтовом лотке Экспериментального корпуса АО "НИЦ "Строительство" НИИОСП им. Н.М. Герсеева (рисунок 1).

Основные задачи лабораторных исследований:

- выявление характера действительных условий работы ограждающих и распорных конструкций ограждения котлована, подверженных температурным воздействиям;

- изучение влияния типа ограждающей стены на формирование напряженно-деформируемого состояния в конструкциях ограждения котлована при изменении температуры распорок;

- определение влияния уменьшения длины распорок при температурных перепадах на осадки поверхности окружающего котлован массива грунта.

Подготовка и проведение исследований выполнено с учетом теории планирования многофакторного эксперимента. Опытами было предусмотрено моделирование изменения температуры распорок на 60°C для двух типов ограждающих стен: сплошной стены и стены из отдельных элементов.

Прототипом физической модели послужил котлован глубиной 6,0м с одним ярусом распорок из труб. Учитывая габариты грунтового лотка, модель котлована принята в виде пропорционально уменьшенного в 3 раза котлована-прототипа.



Рисунок 1 - Общий вид опытного котлована и установленного оборудования

Испытаниям предшествовало численное моделирование (рисунок 2), позволившее определить факторы, которые являются определяющими при формировании напряженно-деформируемого состояния конструкции ограждения котлованов, подверженных температурным воздействиям.

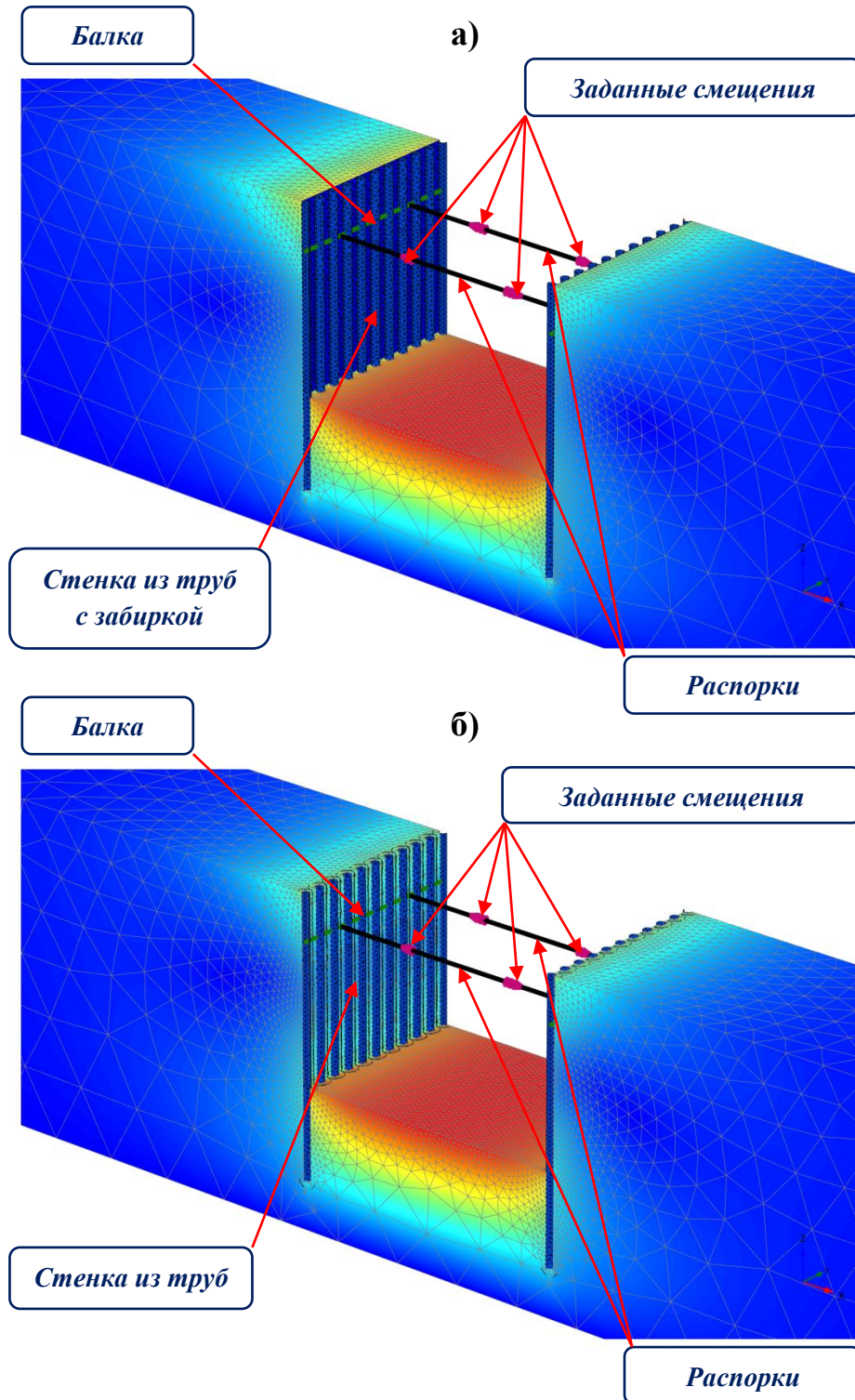


Рисунок 2 – Схема конечных элементов при численном расчете для ограждающих стенок: а) сплошной; б) из отдельных элементов

Как показали результаты испытаний, усилия в конструкциях ограждения котлована от действия статических нагрузок при повышении температуры распорок в среднем увеличиваются: на 50% - продольные усилия в распорках; на 10% - изгибающие моменты в ограждающей стенке. При этом усилия в распорках составляют до 0,14 от расчетных значений, определенных по схеме с неподвижно-жесткими опорами. Экспериментальные данные подтвердили, что дискретное ограждение в сравнении со сплошным ограждением при прочих равных условиях обладает большей податливостью, и температурные усилия в распорках с подобным типом ограждения будут ниже на 15-25%.

В ходе проведенных опытов установлено, что понижение температуры распорок оказывает влияние на дополнительные осадки поверхности массива грунта в пределах расстояния от ограждения, не превышающего глубину котлована (рисунок 3).

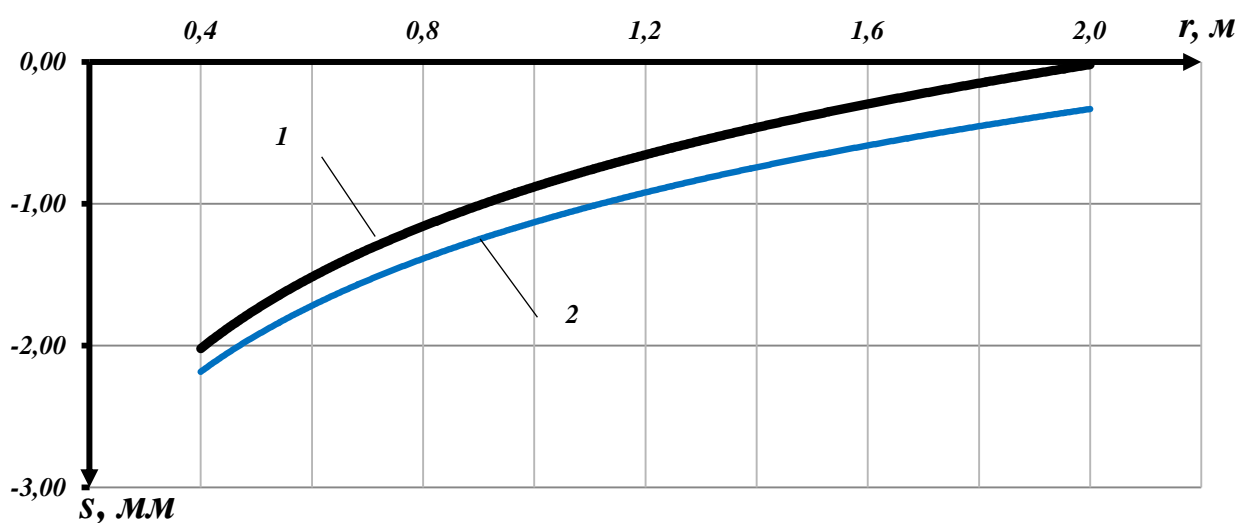


Рисунок 3 - Графики вертикальных деформаций s поверхности массива грунта при понижении температуры распорок на 60°C : 1 – экспериментальные значения; 2 - расчетные значения

Результаты испытаний после статистической обработки сопоставлены с данными численных исследований и показали хорошую сходимость (рисунок 4, 5).

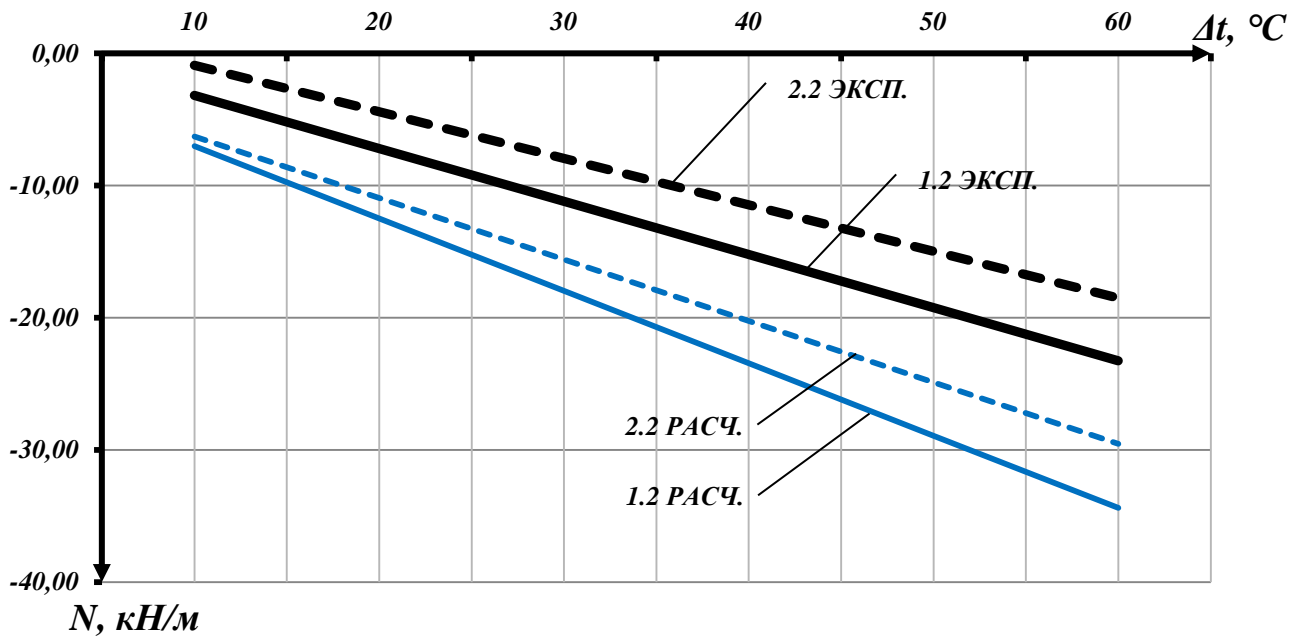


Рисунок 4 – Графики экспериментальных и расчетных значений усилий в распорках при изменении температуры распорок, для ограждающих стенок: 1.2 – сплошной; 2.2 – из отдельных элементов

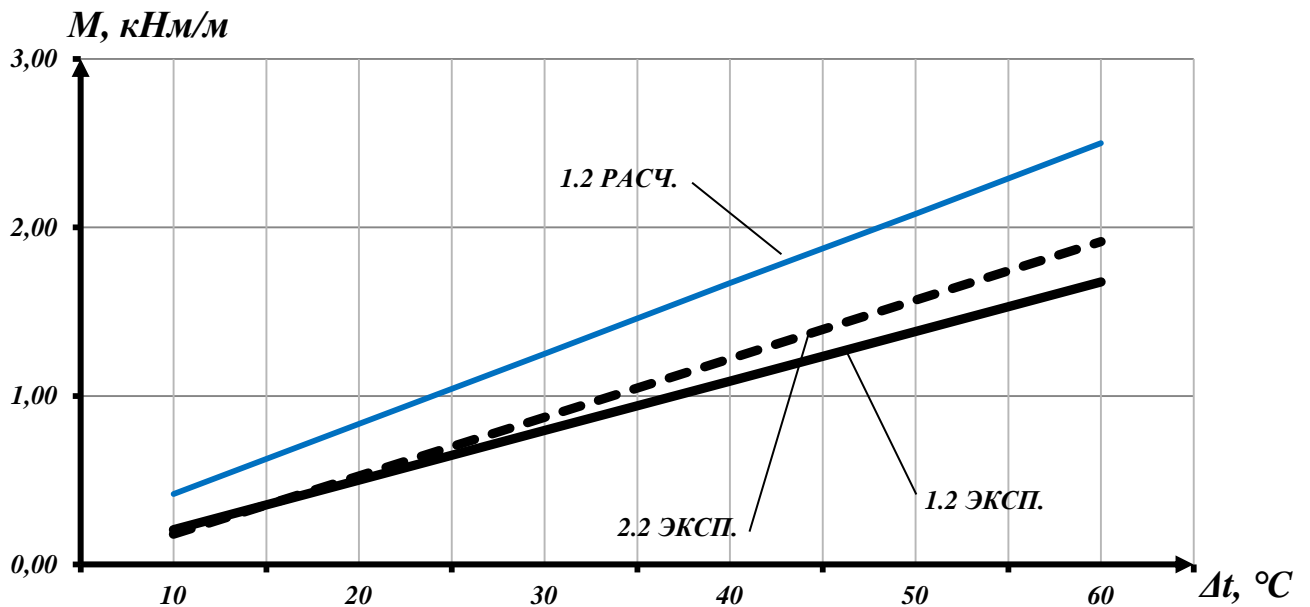


Рисунок 5 – Графики экспериментальных и расчетных значений изгибающих моментов в ограждении при изменении температуры распорок для ограждающих стенок: 1.2 – сплошной; 2.2 – из отдельных элементов

В третьей главе представлены результаты натурных исследований изменения температуры на усилия в распорных конструкциях ограждения котлована глубиной 9,4-11м, устраиваемого при строительстве подземной части жилого дома в г. Москве. Два яруса распорных конструкций ограждения котлована в виде «стены в грунте» из буронабивных свай диаметром 820мм выполнены из труб диаметром 630х8мм, длиной до 23,5м (рисунок 6).

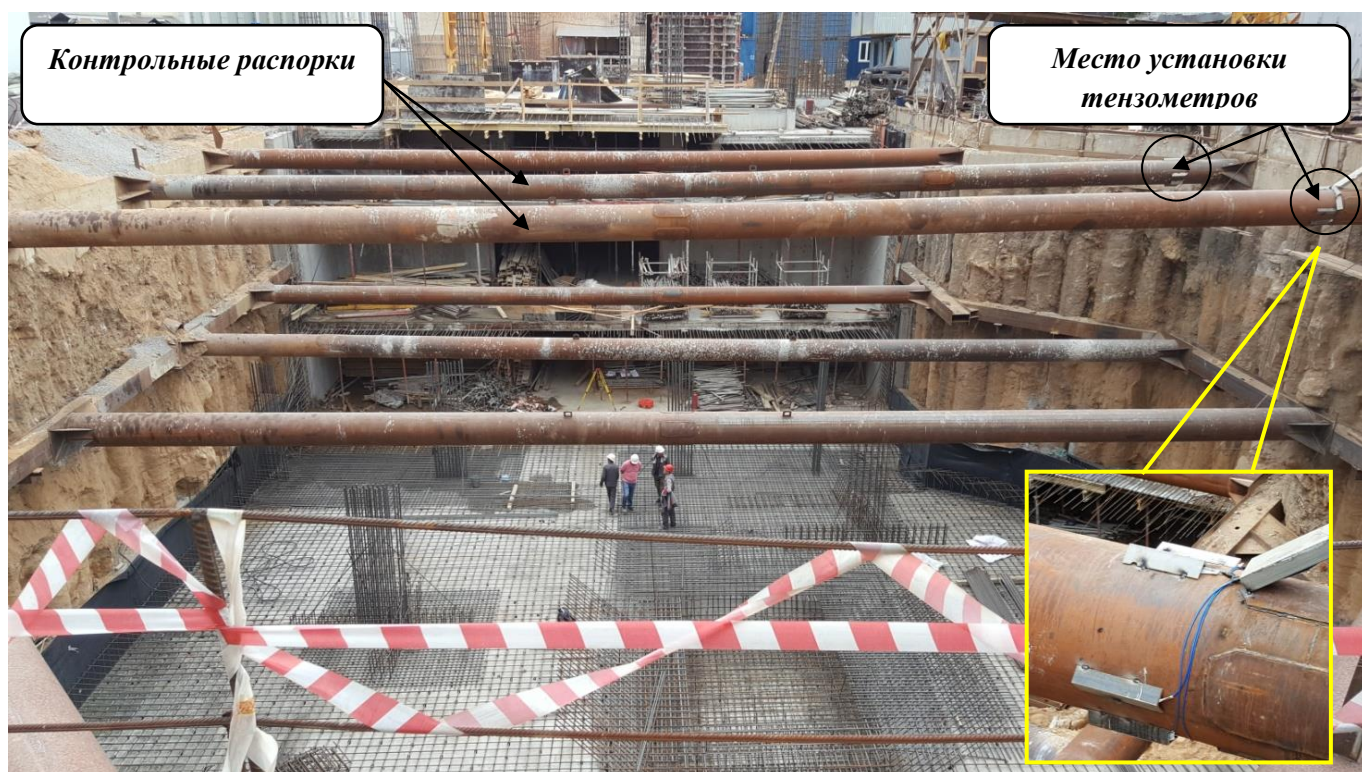


Рисунок 6 – Общий вид котлована на этапе начала эксперимента

За период наблюдений с 27.07.2017г. по 21.08.2017г. зафиксировано изменение средней температуры распорок в диапазоне от 13,1°C (ночное время) до 38,9°C (дневное время при солнечной погоде). Максимальная температура на участках, незащищенных от солнечных лучей, достигала 47,9°C.

По результатам измерения дополнительные осевые усилия в распорках верхнего яруса при изменении температуры на 18°C составили порядка 400 кН, что увеличивает усилия от расчетных статических нагрузок до 80%.

Установлено, что фактические усилия в распорках в среднем составляют 0,46, достигая 0,56 от расчетных усилий, определенных по схеме с неподвижными опорами (рисунок 7).

Полученные результаты согласуются с данными аналогичных натуральных исследований других, в т.ч. зарубежных авторов.

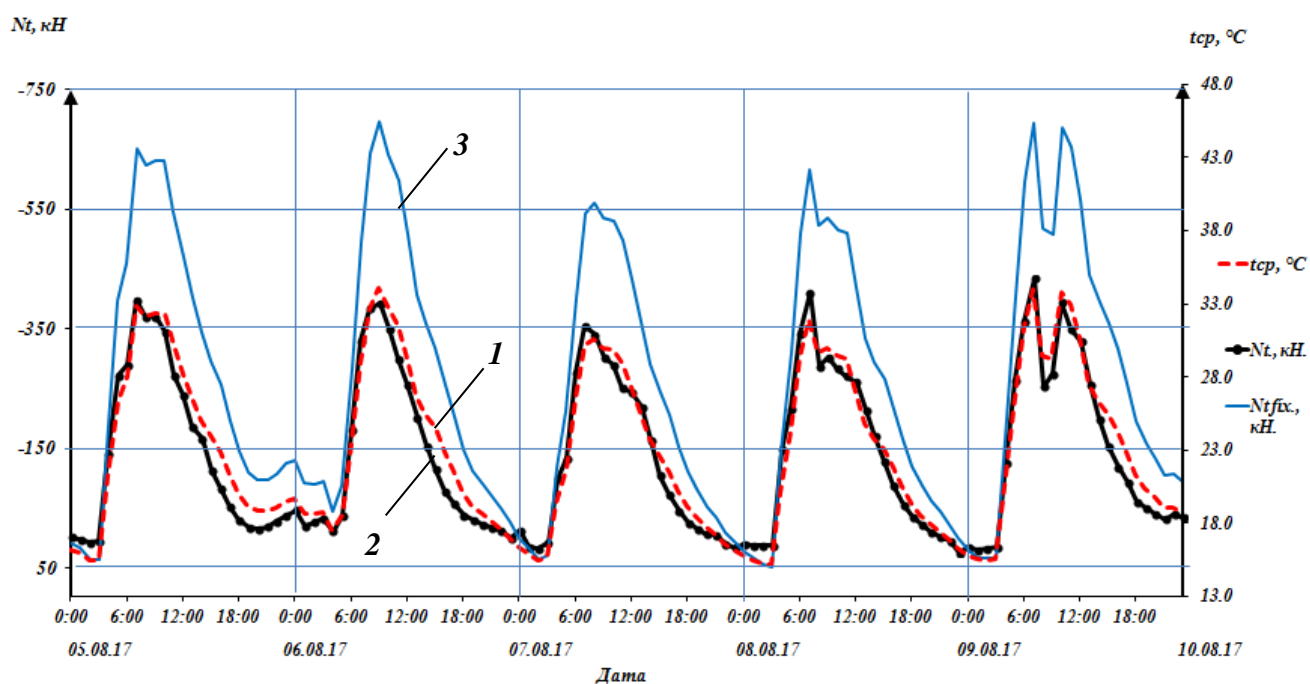


Рисунок 7 – График изменения средней температуры (1) и усилий в распорках: 2 – по результатам измерений; 3 – по расчету с неподвижными опорами

Четвертая глава посвящена расчетно-теоретическим исследованиям влияния изменения температуры распорок на НДС трехкомпонентной системы «массив грунта - ограждающая конструкция - распорная крепь».

Исследования проведены путем численного моделирования на основе совместного использования метода конечных элементов и метода планирования многофакторного эксперимента. Это позволило на основании решения частных задач дать количественную оценку влияния различных факторов на НДС конструкций ограждения котлована при изменении температуры распорок (таблица 1).

При выполнении исследований варьированию подвергались 7 основных параметров: - грунтовые условия; - гидрогеологические условия; - глубина котлована; - длина распорных конструкций; - жесткость ограждающей стены котлована; - жесткость распорных конструкций; - возможное разуплотнение грунта на контакте с ограждающей стенкой.

Моделирование выполнялось в конечно-элементной программе PLAXIS AE. Изменение длины моделирующего распорку стержня при изменении температуры реализовано в расчетах при помощи имеющейся в программе PLAXIS процедуры *prescribed displacement* (заданные смещения). В расчетах использована нелинейная упруго-идеально-пластическая грунтовая модель Кулона-Мора.

Обобщенный вид расчетной схемы котлована приведен на рисунке 8

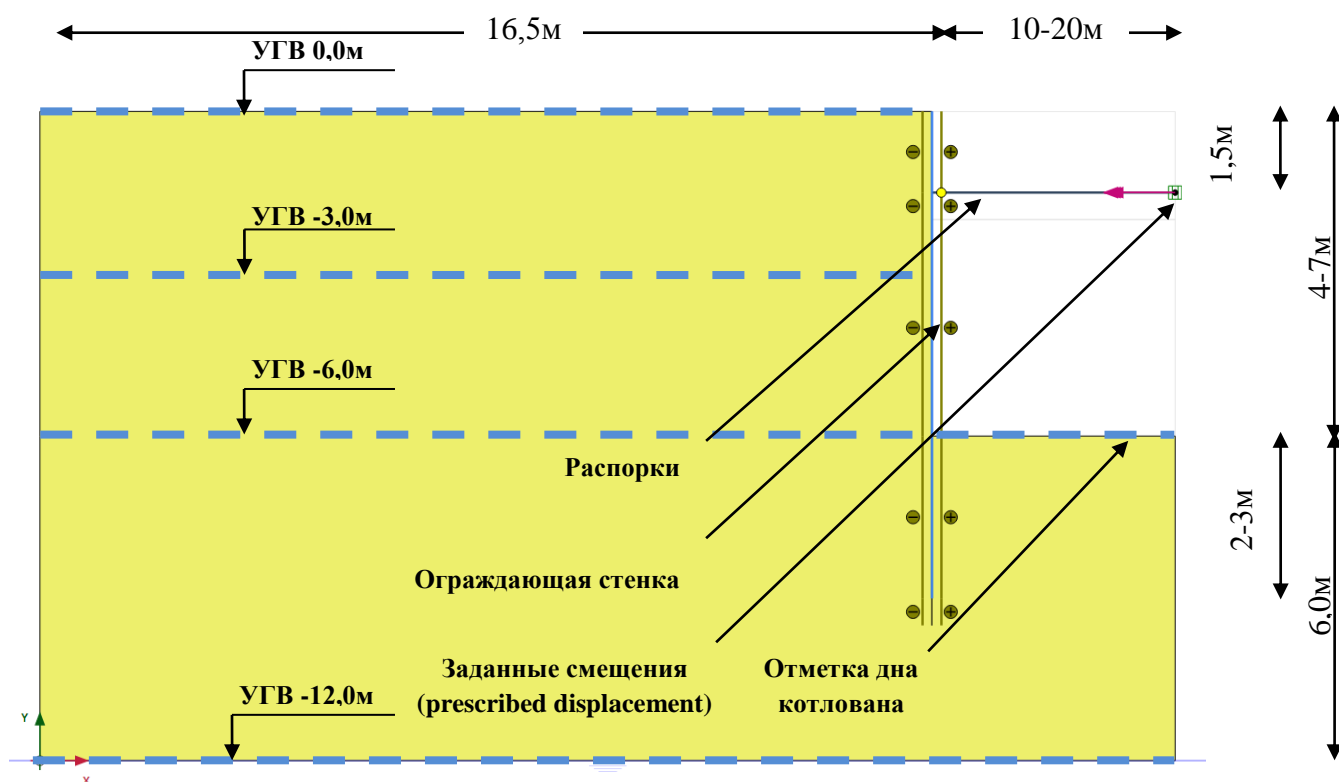


Рисунок 8 - Обобщенный вид расчетной схемы котлована

Анализ и обобщение результатов расчетно-теоретических исследований позволили сделать следующие основные выводы:

- На формирование напряженного состояния распорных и ограждающих конструкций котлована оказывает влияние податливость ограждающих стен котлована при удлинении распорок за счет повышения температуры последних.

- Дополнительные усилия в конструкциях ограждения котлована при изменении температуры распорок пропорциональны модулю деформации грунта и практически не зависят от прочностных характеристик грунта (рисунок 9).

- В среднем при повышении температуры распорок на 30°C приращения усилий в конструкциях ограждения котлованов относительно усилий, определенных статическим расчетом, составляют: 60% - для усилий в распорной системе; 15% - для изгибающих моментов в ограждающей стене. В качестве примера, на рисунке 10, приведены графики зависимости приращения усилий в конструкциях ограждения котлованов в пылевато-глинистых грунтах.

- Существенное влияние на дополнительные усилия в распорных конструкциях оказывают геологические условия, длина и жесткость распорок, а на усилия в ограждении котлована также глубина котлована и жесткость ограждающей стены (таблица 1). При этом глубина котлована и гидрогеологические условия существенно влияют на приращение начальных усилий от статических нагрузок.

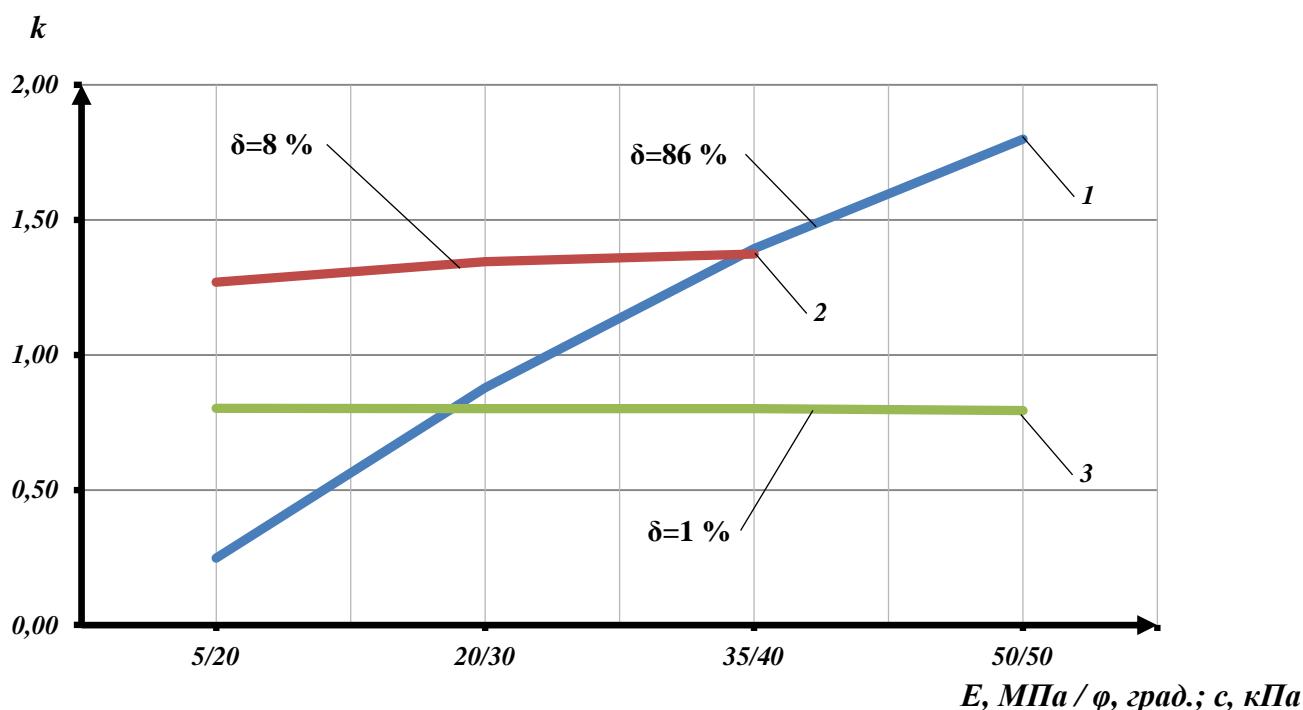


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента $k = \frac{\Delta N_t}{\Delta t}$ от деформационных (E) и прочностных (ϕ и c) характеристик грунтов: 1 - $k(E)$; 2 - $k(\phi)$; 3 - $k(c)$

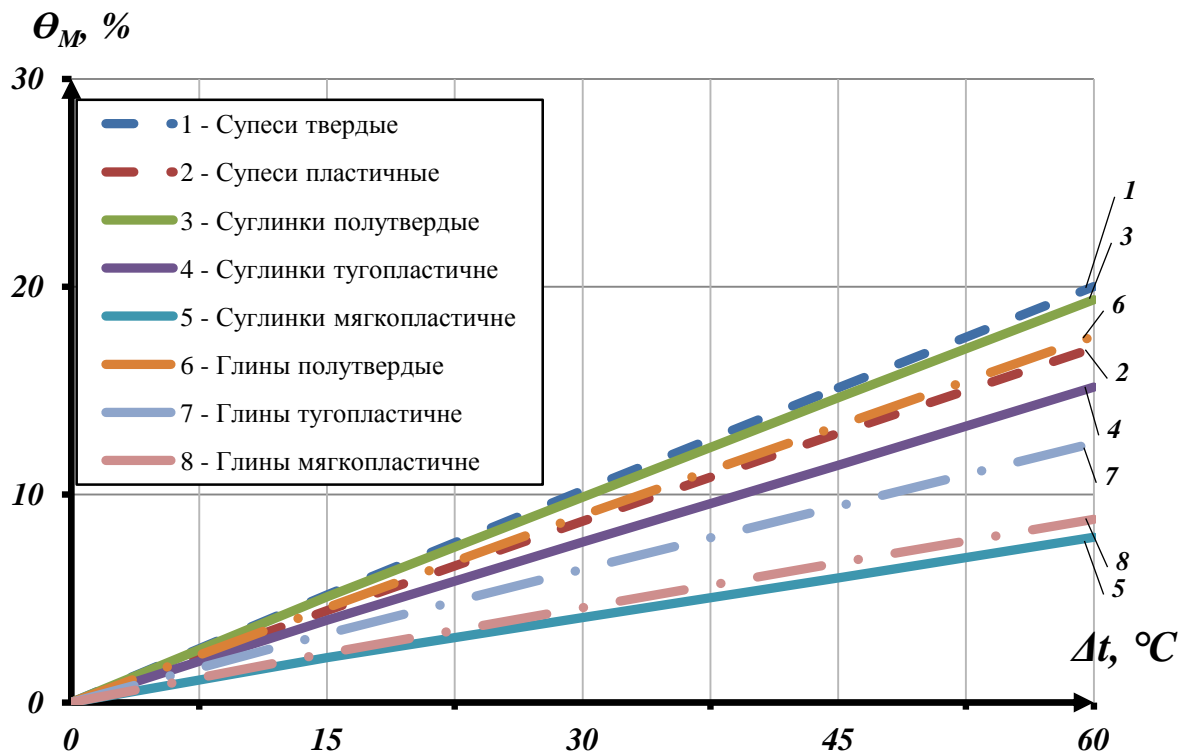
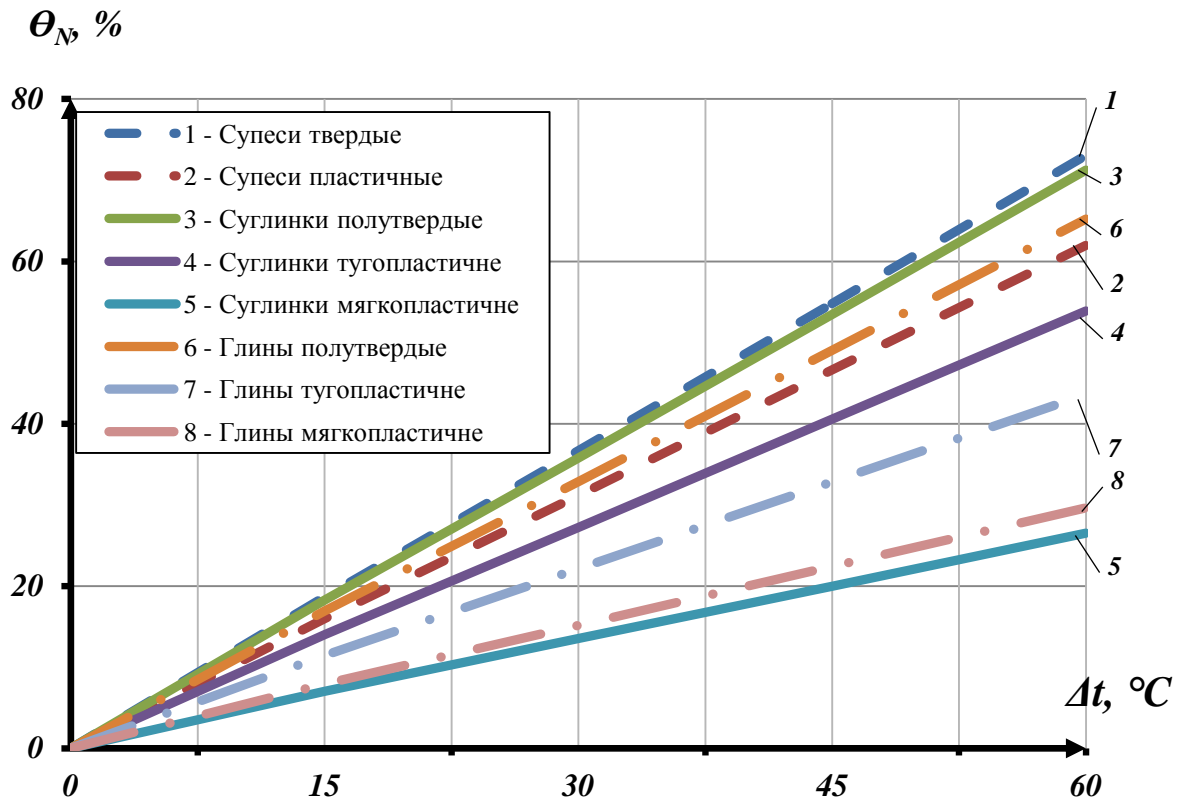


Рисунок 10 - Зависимость приращения усилий в конструкциях ограждения котлована от изменения температуры распорок: - в распорной системе $\theta_N =$

$$\frac{N_{ti} - N_{t0}}{N_{t0}} \cdot 100\%; \quad - \text{ в ограждающей стене } \theta_M = \frac{M_{ti} - M_{t0}}{M_{t0}} \cdot 100\%$$

Таблица 1 - Обобщенные результаты исследований

Исследуемый параметр	Влияние исследуемых параметров на значения δ^I , % усилия в конструкциях ограждения котлованов при повышении температуры распорок		
	низкое (>25%)	среднее (25-75%)	высокое (<75%)
Грунтовые условия			$\delta_N=95$ $\delta_M=94$ $\delta_{\Delta N}=87$ $\delta_{\Delta M}=80$
Длина распорных конструкций		$\delta_N=50$ $\delta_M=52$ $\delta_{\Delta N}=48$ $\delta_{\Delta M}=52$	
Глубина котлована	$\delta_{\Delta N}=4$	$\delta_N=68$ $\delta_M=57$ $\delta_{\Delta M}=58$	
Гидрогеологические условия	$\delta_{\Delta N}=2$ $\delta_{\Delta M}=10$	$\delta_N=76$ $\delta_M=66$	
Жесткость ограждающей стены котлована	$\delta_N=10$ $\delta_{\Delta N}=10$	$\delta_M=50$ $\delta_{\Delta M}=72$	
Жесткость распорных конструкций	$\delta_N=3$	$\delta_M=25$ $\delta_{\Delta N}=29$ $\delta_{\Delta M}=33$	
Разуплотнение грунта на контакте с ограждением	$\delta_N=4$ $\delta_M=2$ $\delta_{\Delta N}=19$ $\delta_{\Delta M}=14$		

Примечания:

¹ - значения δ определены из условия:

$$- \delta_N = \frac{\theta_{Nmax} - \theta_{Nmin}}{\theta_{Nmax}} \cdot 100\%; \quad - \delta_M = \frac{\theta_{Mmax} - \theta_{Mmin}}{\theta_{Mmax}} \cdot 100\%;$$

$$- \delta_{\Delta N} = \frac{\Delta N_{max} - \Delta N_{min}}{\Delta N_{max}} \cdot 100\%; \quad - \delta_{\Delta M} = \frac{\Delta M_{max} - \Delta M_{min}}{\Delta M_{max}} \cdot 100\%$$

На основе обобщения результатов расчетно-теоретических исследований в пятой главе разработана методика, позволяющая достаточно достоверно определить дополнительные температурные усилия в распорной системе без выполнения численных расчетов с применением конечно-элементных программ. Проанализировав температурные осевые деформации в распорках с учетом отпора грунта за ограждающей стеной котлована, получена зависимость, связывающая дополнительные усилия в распорной системе N_t , кН/м при повышении температуры с податливостью ограждающих стен котлована, характеризуемой коэффициентом C_t .

$$N_t = \gamma_c \frac{\alpha \cdot l \cdot \Delta t}{\left(\frac{l}{EA} + \frac{1}{C_t}\right)} \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы ограждающей стены: $\gamma_c=1$ (для сплошных стен); $\gamma_c=0,85$ (для стен из отдельных элементов); α – коэффициент линейного температурного расширения материала распорных конструкций, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; l – длина распорки, м; Δt – перепад температуры, $^{\circ}\text{C}$; E – модуль упругости материала распорных конструкций, кН/м²; A – площадь поперечного сечения распорных конструкций на 1 м.п., м²/м; C_t – коэффициент податливости ограждающих стен котлована при температурных деформациях распорок, кН/м², определяемый из условия:

$$C_t = K_t \cdot \beta_z + \zeta_w \quad (2)$$

где K_t – коэффициент пропорциональности податливости ограждающей стены в зависимости от вида грунта, кН/м³; z – глубина установки распорной системы, м; β_z – коэффициент, учитывающий глубину установки распорной системы; $\beta_z = \gamma_z + 0,63 \cdot z$, м; γ_z – размерный коэффициент учета глубины z ; $\gamma_z=1$, м; ζ_w – коэффициент, учитывающий жесткость ограждающей стены; $\zeta_w = \gamma_w \cdot EI$, кН/м; γ_w – коэффициент пропорциональности жесткости ограждающей стены; $\gamma_w = 0,0014$, м⁻³; E – модуль упругости материала

ограждающей стены, кН/м^2 ; I – момент инерции ограждающей стены на 1 м.п., $\text{м}^4/\text{м}$.

На основании численного решения задачи влияния деформаций массива грунта, вмещающего котлован, на усилия в распорной системе при температурных воздействиях на распорки определена зависимость между коэффициентами K_t и коэффициентами пропорциональности, используемых при расчетах свай на горизонтальную нагрузку.

$$K_t = \gamma_t \cdot K \quad (3)$$

где K – коэффициент пропорциональности для расчета свай на горизонтальную нагрузку, принимаемый по Таблице В.1 СП24.13330.2011; γ_t – коэффициент перехода, м^{-1} .

Коэффициенты γ_t для различных типов грунта приведены в Таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Грунты и их характеристики	γ_t
1	Глины и суглинки текучепластичные ($0,75 \leq I_L \leq 1$)	0,2
2	Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем; Пески гравелистые и крупные ($0,55 \leq e \leq 0,7$); супеси твердые ($I_L < 0$); глины и суглинки от твердых до мягкопластичных ($0 < I_L \leq 0,75$)	0,33
3	Пески мелкие ($0,6 \leq e \leq 0,75$) и пылеватые ($0,6 \leq e \leq 0,8$)	0,45
4	Пески средней крупности ($0,55 \leq e \leq 0,7$), супеси пластичные ($0 \leq I_L \leq 0,75$)	0,55

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам расчетно-теоретических и экспериментальных исследований установлено влияние на дополнительные усилия в конструкциях ограждения котлованов с одноярусным креплением различных факторов: геологических (вида грунта и его характеристик), гидрогеологии, глубины котлована, длины распорок, жесткостей ограждающей стены котлована и распорных конструкций. Наиболее значимыми факторами для дополнительных усилий в распорной системе являются геологические условия и жесткость распорок, для ограждения котлована - геологические условия, глубина котлована и жесткость ограждающей стены.

2. Сезонные температурные воздействия оказывают существенное влияние на напряженно-деформируемое состояние конструкций ограждения котлована. В среднем при повышении температуры распорок на 30°C приращения усилий в распорной системе относительно усилий, определенных статическим расчетом, составляют 60%, приращения изгибающих моментов в ограждающей стене - 15%.

3. Дополнительные усилия в конструкциях ограждения котлованов при изменении НДС распорной системы практически пропорциональны модулю деформации окружающего котлован массива грунта. Чем выше значение модуля деформации, тем при прочих равных условиях в конструкциях ограждения котлована возникают большие значения дополнительных усилий.

4. Для учета влияния деформаций массива грунта, вмещающего котлован, определены коэффициенты пропорциональности сопротивления (податливости) ограждающей стены воздействию дополнительного усилия в распорках для различных песчаных и пылевато-глинистых дисперсных грунтов ненарушенного сложения.

5. Дополнительные «температурные» усилия в распорках, определенные с учетом податливости ограждающих стен, существенно меньше усилий, определенных по схеме с неподвижными опорами, используемой в расчетах в

настоящее время. Для рассмотренных условий соотношение усилий определено в диапазоне от 0,09 для грунтов с $E=5\text{МПа}$ до 0,46 для грунтов с $E=50\text{МПа}$.

6. Разработанная в диссертации методика учета податливости грунта за ограждающей стеной позволяет без выполнения расчетов в конечно-элементных геотехнических программах достоверно определить дополнительные усилия в распорной системе при температурных воздействиях на распорки с применением коэффициентов пропорциональности, используемых при расчетах свай на горизонтальную нагрузку СП 24.13330.2011.

7. Применение разработанной методики при проектировании и устройстве конструкций ограждений котлованов позволит снизить материалоемкость, объем строительно-монтажных работ и избежать возможных аварийных ситуаций.

8. Температурные деформации распорной системы при понижении температуры в осенний период могут оказывать существенное влияние на дополнительные осадки окружающего котлован массива грунта и, в меньшей степени, на зону влияния, определенную статическим расчетом.

9. Результаты расчетно-теоретических исследований достаточно хорошо согласуются с данными экспериментальных лабораторных и натурных исследований.

10. Результаты диссертационной работы использованы при разработке проекта изм. 2 СП22.13330.2011.

Рекомендациями и перспективами дальнейшей разработки темы являются:

- исследование влияния давления деформаций морозного пучения грунта за ограждающей стеной на НДС конструкций ограждения котлованов;
- разработка методики расчета дополнительных усилий в конструкциях ограждения котлована с двумя и более ярусами распорной системы;
- разработка конструктивных решений, позволяющих компенсировать негативное влияние температурных деформаций распорной системы при сезонном изменении температуры.

**Список работ, опубликованных автором по теме диссертации
в изданиях из перечня ВАК:**

1. Хритин И.В. Сезонные изменения усилий в ограждении котлованов//Промышленное и гражданское строительство. - 2016. - № 10. - С. 85-89.
2. Хритин И.В. Экспериментальные исследования влияния сезонных изменений температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов//Вестник гражданских инженеров. - 2017. - №2 (61). - С. 154-162.