

На правах рукописи



Ганболд Адьяажав

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КОТЛОВАНА
ТИПА «СТЕНА В ГРУНТЕ» НА ОСАДКИ И КРЕН ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА
ПЛИТНОМ ФУНДАМЕНТЕ**

2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ).

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Знаменский Владимир Валерианович

Официальные оппоненты: **Шулятьев Олег Александрович**
доктор технических наук, доцент,
Акционерное общество «НИЦ «Строительство» –
Научно-исследовательский институт строительного
профиля, НИИОСП имени Н. М. Герсеванова,
заместитель директора

Калошина Светлана Валентиновна
Кандидат технических наук,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», кафедра
«Строительное производство и геотехника», доцент

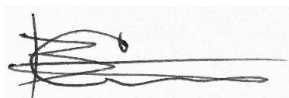
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный технический
университет» (ВолгГТУ)

Защита состоится « 7 » июня 2023 г. в 12:00 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.05 (Д 212.138.14), созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», по адресу: 129337, г Москва, Ярославское шоссе, д.26, зал Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» и на сайте <http://www.mgsu.ru>.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сидоров
Виталий Валентинович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В современной строительной практике при устройстве глубоких котлованов в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях часто прибегают к устройству ограждений в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа. По сравнению с другими конструктивными типами ограждений стена в грунте обладает рядом преимуществ, такими как возможность ее устройства практически в любых инженерно-геологических и гидрогеологических условиях строительных площадок, надежная защита котлована от подтопления при ее качественном исполнении и повышенная жесткость. Однако само устройство стены в грунте этого типа оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) вмещающего ее грунтового массива, что негативно сказывается не только на окружающей застройке, что проявляется в виде ее дополнительных осадок, но и приводит к неравномерным деформациям грунтового массива в основании плитных фундаментов возводимых высотных зданий, увеличивая их крен. Но если изучению влияния устройства стены в грунте на дополнительные осадки зданий окружающей застройки в последние годы был посвящен ряд работ, позволивший установить закономерности их развития и разработать эффективные защитные мероприятия, то влияние стены в грунте на осадки и крены возводимых в котловане зданий практически не изучалось, а их правильная оценка особенно важна при строительстве высотных зданий, крены которых жестко ограничены действующими нормативными документами. Учитывая это, а также в связи с постоянно увеличивающимся объемом возведения высотных зданий, выполнение исследований, направленных на изучение влияния ограждения котлована в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа на осадки и крены высотных зданий на плитном фундаменте с целью повышения точности их расчета следует считать актуальной геотехнической задачей.

Степень разработанности темы. Изучению влияния устройства котлованов и их ограждений на изменение НДС окружающего массива грунта занимались многие отечественные и зарубежные ученые и специалисты. В нашей стране - А.Л. Готман, Н.З. Готман, В.В. Знаменский, К.Е. Егоров, В.А. Ильичев, Р.А. Мангушев, Д.С. Конюхов, И.Т. Мирсяпов, В.Н. Парамонов, А.Б. Пономарев, В.П. Петрухин, З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян, В.В. Сидоров, В.М. Улицкий, С.Б. Ухов, А.Б. Фадеев, В.Г. Федоровский, А.Г. Шашкин, О.А. Шулятьев, Н.С. Никифорова, Д.Ю. Чунюк, Е.Б. Морозов, Д.К. Минаков и др. За рубежом – М. Puller, С. Xiangfu, Н.Е. Lemme и др.

Изучалось, в основном, влияние устройства котлованов и их ограждений на дополнительные осадки зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния нового строительства, как одного из проблемных вопросов при возведении зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки, что связано с необходимостью обеспечения ее

сохранности и нормального эксплуатационного состояния. Результаты проведенных исследований были отражены в соответствующих нормативных документах. Что касается влияния устройства и работы стены в грунте на НДС грунтового массива в основании плитного фундамента возведенного здания, то до недавнего времени этот вопрос практически не изучался, однако с началом массового строительства высотных зданий, особо чувствительным к кренам, повысились и требования к точности их определения. Было установлено, что наряду с изменением НДС грунтового массива в основании плитных фундаментов, вызванных устройством стены в грунте, на крен высотного здания оказывает влияния и ее включение в работу после его возведения, что со всей очевидностью показали данные мониторинга, представленные в работе О.А. Шулятьева и др. (2016) на примере возведенного в г. Москве здания, что еще раз подтвердило необходимость дальнейшего изучения этого вопроса.

Целью диссертационной работы является исследование влияния ограждающих конструкций котлована в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа на осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах, установление зависимости этого влияния от различных факторов и разработка методики его учета при проектировании.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи диссертационной работы:

1. Изучение и анализ экспериментальных и расчетных данных о влиянии устройства и работы стены в грунте траншейного типа на дополнительные осадки окружающей застройки и деформации грунтового массива в основании плитных фундаментов возводимых в котловане зданий.

2. Исследования численным методом зависимости влияния ограждения котлована типа «стена в грунте» на осадки и крены высотных зданий на плитном фундаменте от параметров ограждения при его одностороннем и двухстороннем расположении относительно здания.

3. Установление границ существенного влияния стены в грунте на деформации грунтового массива в основании фундаментных плит высотных зданий.

4. Математико-статистический анализ степени влияния параметров стены в грунте, ее положения относительно фундамента, нагрузки на основание, модуля деформации грунтового основания, глубины заделки стены в грунте и условия на контакте бетон-грунт на осадки и крен высотного здания на плитном фундаменте.

5. Получение уравнений регрессии, связывающих осадку и крен высотного здания на плитном фундаменте с параметрами ограждения, его местоположением относительно фундамента и нагрузки на основание.

6. Разработка инженерного метода определения осадки и крена высотного здания на плитном фундаменте с учетом влияния на них ограждения котлована типа «стена в грунте».

7. Разработка рекомендаций по изменению параметров стены в грунте и ее положения

относительно фундаментной плиты с целью снижения средних осадок и кренов высотного здания до нормативных пределов.

Объект исследования – грунтовый массив в основании плитного фундамента, устроенного в глубоком котловане под защитой стены в грунте траншейного типа.

Предмет исследования – закономерности влияния ограждения котлована типа «стена в грунте» на осадку и крен высотного здания на плитном фундаменте.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Получены новые данные о зависимости средних осадок и кренов высотных зданий на плитных фундаментах, возведенных в котлованах под защитой ограждений типа «стена в грунте», от расстояния от ограждения котлована до края плиты, глубины заделки ограждения в грунт ниже дна котлована, условий контакта грунтового массива со стороны котлована с поверхностью ограждения (грунт-бетон), деформационных характеристик основания и действующей на него нагрузки.

2. Определена степень влияния каждого из указанных факторов на средние осадки и крены зданий, а также выделены наиболее значимые из них, к которым для средних осадок здания относятся интенсивность равномерно-распределенной нагрузки на фундаментную плиту и деформационные характеристики грунта, а для кренов - конструктивные параметры ограждения котлована, расстояние от ограждения до края фундаментной плиты и интенсивность нагрузки на основание.

3. Получены аналитические зависимости, позволяющие определять средние осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах с учетом влияния на них ограждающей конструкции котлована типа «стена в грунте».

Теоретическая значимость работы заключается в развитии и совершенствовании методов расчета по деформациям основания высотных зданий на плитных фундаментах, возведенных в котлованах под защитой монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа.

Практическая значимость работы заключается:

1. В установлении пределов существенного влияния изменения параметров ограждения и его расстояния от фундаментной плиты на средние осадки и крены высотного здания на плитном фундаменте.

2. В разработке алгоритма расчета кренов высотных зданий на плитных фундаментах с учетом влияния на них ограждения котлована в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа.

3. В возможности выполнять расчеты по разработанным методикам с использованием специальных номограмм, что существенно сокращает время проектирования и позволяет

рассмотреть большое число возможных вариантов ограждения и его расположения относительно края фундаментной плиты.

4. В возможности снижения кренов высотных зданий на плитных фундаментах до нормативного уровня за счет изменения параметров ограждения, его расположения относительно края фундамента и изменения условий контакта грунтового массива со стороны котлована с поверхностью его ограждения (грунт-бетон).

5. В возможности использовать результаты проведенных исследований и разработанных методик расчета для актуализации нормативных документов в области геотехники.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационного исследования являлись труды отечественных и зарубежных ученых, технологов, проектировщиков и строителей в области геотехники. В диссертационной работе применялись следующие методы:

- анализ литературных источников по тематике диссертационной работы;
- численное моделирование работы монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа с целью установления закономерностей ее влияния на напряженно-деформированное состояние грунтового массива в основании плитного фундамента высотного здания и, как следствие, на его осадку и крен;
- математико-статистический анализ степени влияния параметров стены в грунте, ее положения относительно фундамента, нагрузки на основание, модуля деформации грунтового основания, глубины заделки стены в грунте и условия на контакте бетон-грунт на осадки и крен высотного здания на плитном фундаменте;
- сравнение результатов расчетов по разработанной методике с результатами мониторинга кренов возведенного высотного здания на плитном фундаменте.

Положения, выносимые на защиту

1. Установленные численным моделированием закономерности влияния стены в грунте траншейного типа на средние осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах.

2. Результаты математико-статистического анализа степени влияния на средние осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах расстояния от ограждения до края плиты, глубины заделки ограждения в грунт ниже дна котлована, условий контакта грунтового массива со стороны котлована с поверхностью ограждения (грунт-бетон), деформационных характеристик основания и действующей на него нагрузки.

3. Полученные уравнения регрессии, позволяющие определять средние осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах с учетом влияния на них стены в грунте.

4. Методика расчета средней осадки и крена высотного здания на плитном фундаменте с использованием диаграмм.

Достоверность результатов полученных в рамках настоящей диссертационной работы, обеспечена использованием основных гипотез и моделей механики грунтов и теории упругости, современных комплексов и методик обработки экспериментальных данных, непротиворечием полученных результатов имеющимся данным о влиянии стены в грунте на напряженно-деформированное состояние грунтового массива в основании плитных фундаментов и сравнением результатов расчета по разработанной методике с данными мониторинга кренов возведенного в Улан-Баторе (Монголия) многоэтажного здания.

Личный вклад автора состоит в следующем:

- в постановке задачи данного исследования, проведении анализа современного состояния вопроса, выборе объекта и предмета исследования;
- в разработке модели и выполнении численных расчетов влияния ограждения котлована типа монолитной железобетонной стены в грунте на осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах;
- в выполнении математико-статистического анализа степени влияния местоположения и параметров стены в грунте на осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах;
- в разработке методики расчета кренов высотных зданий на плитных фундаментах, учитывающей влияние на них наличие монолитной железобетонной стены в грунте.

Абробация работы. Основные положения диссертационной работы были рассмотрены и обсуждены на:

- Международной конференции «Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий» (Пермь, 2021 г.);
- Международной конференции «Современные теоретические и практические вопросы геотехники: новые материалы, конструкции, технологии и методики расчетов» (Санкт-Петербург, 2021г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 научные статьи: две в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, одна в журнале, индексируемом в международных реферативных базах Scopus и Web of Science.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 110 наименований, в том числе 32 иностранных, и 2 Приложений, содержит 121 страниц машинописного текста, включает 74 рисунков и 17 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы диссертационной работы, отражена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи намеченных исследований, приведены сведения о ее научной новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов и о положениях, выносимых на защиту.

В первой главе приводятся общие сведения о конструкциях ограждений котлованов, отмечено, что одним из наиболее часто применяемых типов ограждений глубоких котлованов в стесненных городских условиях является монолитная траншейная стена в грунте, устройство которой оказывает существенное влияние как на окружающую застройку, что проявляется в развитии ее дополнительных осадок, так и на напряженно-деформированное состояние (НДС) грунтов в основании фундаментной плиты.

Выполненные в последние годы комплексные численные и аналитические исследования позволили относительно полно изучить влияние устройства стены в грунте на окружающую застройку (Знаменский В. В., Мангушев Р. А., Мирсаяпов И. Т., Петрухин В. П., Мозгачева О. А., Морозов Е. Б., Сапин Д. А., Улицкий В. М. и др.), что нашло свое отражение в нормативных документах. Что касается влияния стены в грунте на осадки и крены возводимых под ее защитой высотных зданий на плитных фундаментах, то факт такого влияния и необходимость его учета были показаны на отдельных примерах (Шулятьева О.А., Исаева О.Н., Минаков Д.К., Xiangfu Chen], A.V.Skorikov и др.), но специально оно не изучалось. Решению этого вопроса и посвящена настоящая диссертационная работа.

Вторая глава посвящена исследованию закономерностей влияния стены в грунте на средние осадки и крены высотных зданий на плитных фундаментах в песчаных грунтах. Исследование проводилось численным методом с помощью программного комплекса *Plaxis 2D*. Песчаный грунт моделировался моделью *Hardening soil*, плитный фундамент и «стена в грунте» - как линейно-упругий материал. Контактный элемент устанавливался между стеной в грунте и грунтом для имитации сил трения между ними в соответствии с моделью *Hardening soil*.

Конститутивные модели и расчетные характеристики грунта и железобетонных конструкций (ограждение котлована, фундаментная плита) приведены в Таблице 1.

Таблица. 1 – Конститутивные модели и характеристики материалов

Характеристики материалов	Плита	Стена в грунте	Грунт
	Линейно-упругая	Линейно-упругая	Hardening soil
Удельный вес материала плиты и стены в грунте - γ , кН/м ³	25	25	-
Удельный вес грунта в насыщенном состоянии - γ_{sat} , кН/м ³	-	-	18,5

Модуль деформации ж.б. - E , кПа	3×10^7	3×10^7	-
Модуль деформации грунта при первичном нагружении - E_0 , кПа	-	-	25×10^3
Секущий модуль деформации грунта при первичном нагружении - E_{50} , кПа	-	-	25×10^3
Модуль деформации грунта при разгрузке (повторном нагружении) - E_{ur} , кПа	-	-	75×10^3
Одометрический модуль деформации грунта - E_{oed} , кПа	-	-	25×10^3
Коэффициент Пуассона - ν	0,2	0,2	0,3
Угол внутреннего трения грунта - φ	-	-	28°
Угол дилатансии грунта - ψ	-	-	0°
Коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя - $K_o = \nu/(1-\nu)$	-	-	0,53
Коэффициент пористости грунта - e_o	-	-	0,54

Примечание: Секущий модуль деформации E_{50} принят равным модулю деформации E_0 , модуль деформации при разгрузке $E_{ur} = 3E_{50}$, модуль первичной компрессии (одометрический модуль) $E_{oed} = E_{50}$ (Фадеев А.Б., 2012).

Исследования проводились для двух вариантов расположения здания на строительной площадке:

- здание расположено в центре строительной площадки;
- здание смещено к ограждению котлована.

В первом случае рассматривались средние осадки высотного здания, во втором – средние осадки и крены.

Расчетная схема, разбивка конечно-элементной сетки и граничные условия для первого варианта расположения здания относительно ограждения показаны на рис. 1.

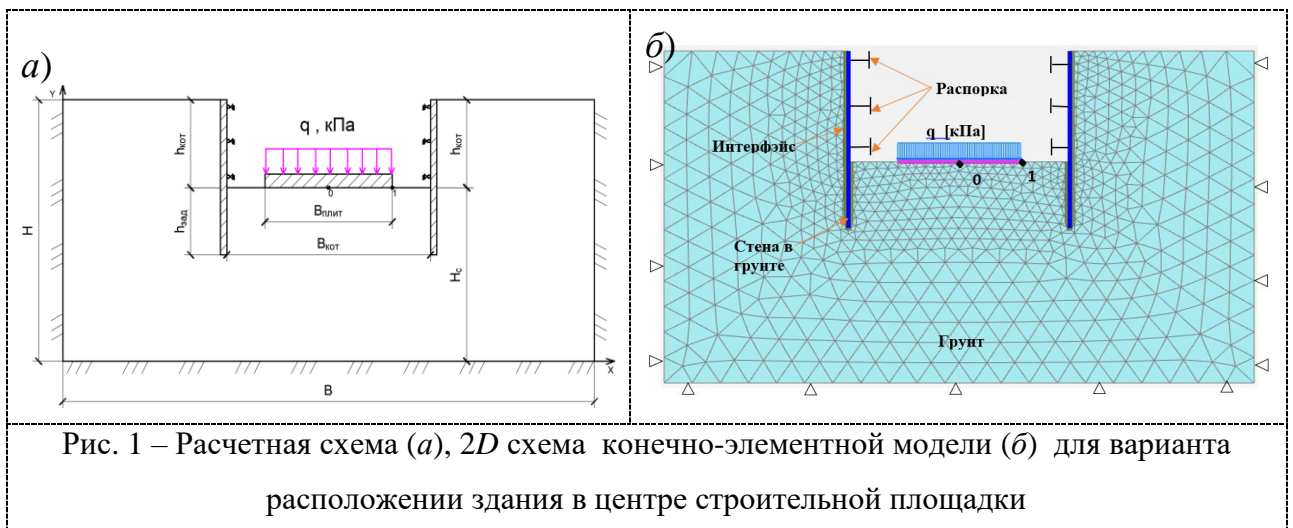


Рис. 1 – Расчетная схема (а), 2D схема конечно-элементной модели (б) для варианта расположения здания в центре строительной площадки

Границы расчетной области: ширина расчетной области принимались из условия $B \geq (5-7) * B_{пл}$, где $B_{пл}$ – ширина плиты; высота расчетной области вычислялась по формуле:

$$H = H_c + h_{кот} \quad (1)$$

$$H_c \geq (H_0 + \psi * B_{пл}) * k_p, \quad (2)$$

где: H_0 и ψ выбираются в зависимости от типа грунта (для песчаного грунта $H_0=6$ м, $\psi=0.1$), $k_p=1.2$.

Исследовалось влияние стены в грунте на среднюю осадку здания в зависимости от следующих факторов и диапазонов их изменения:

- фактор $m = B_{ком}/B_{пл}$, $m \in [1,2; 1,5; 1,8]$ – относительная ширина котлована;
- фактор $t = h_{зад}/B_{пл}$, $t \in [0,5; 0,66; 0,8]$ – относительная глубина заделки ограждения ниже дна котлована;
- фактор $R_{int} = \text{tg}\varphi_{б-г}/\text{tg}\varphi$, $R_{int} \in [0,2; 0,5; 1,0]$ – интерфейсный элемент;
- фактор E , $E \in [15\text{МПа}; 20\text{МПа}; 25\text{МПа}]$ – модуль деформации грунтового массива;
- фактор q , $q \in [300\text{кПа}; 350\text{кПа}; 400\text{кПа}]$ – равномерно распределенная нагрузка на фундаментную плиту,

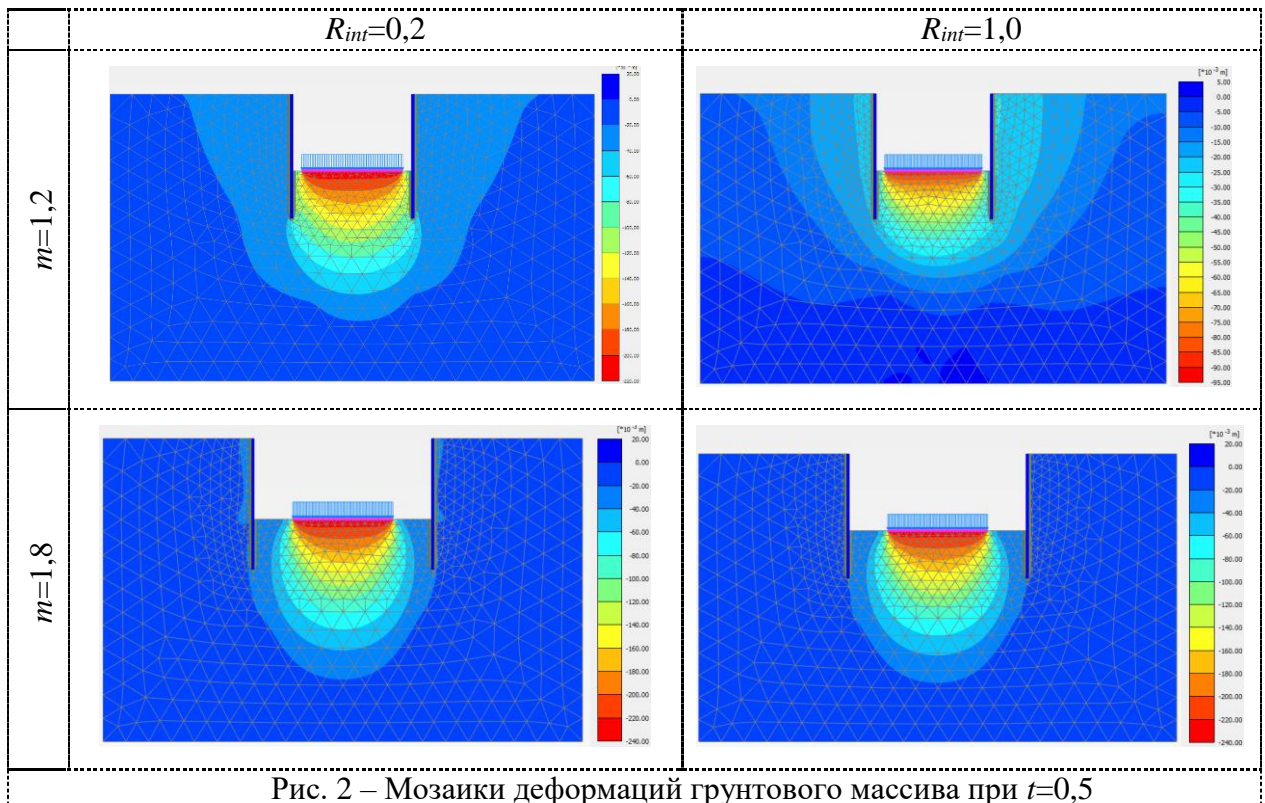
где: $B_{пл}$ – ширина фундаментной плиты, $B_{пл}=10$ м; $h_{зад}$ – глубина заделки стены в грунте ниже дна котлована; $B_{ком}$ – ширина котлована; $\varphi_{б-г}$ – угол трения на контакте «бетон-грунт»; φ – угол внутреннего трения грунта.

Средняя осадка фундаментной плиты здания S_{cp} определялась по формуле:

$$S_{cp} = \frac{S_0 + S_1}{2}, \quad (3)$$

где S_0 , S_1 – осадка центральной и угловой точки фундаментной плиты соответственно.

Полученные мозаики распределения деформаций грунтового основания для расчетного случая $t=0,5$, $E=25$ МПа и $q=350$ кН при двух значениях m и R_{int} показаны на рис. 2.



Результаты расчетов в виде графиков зависимости $Scp = f(m)$ при различных значениях q , R_{int} и E показаны на рис. 3 - 4.

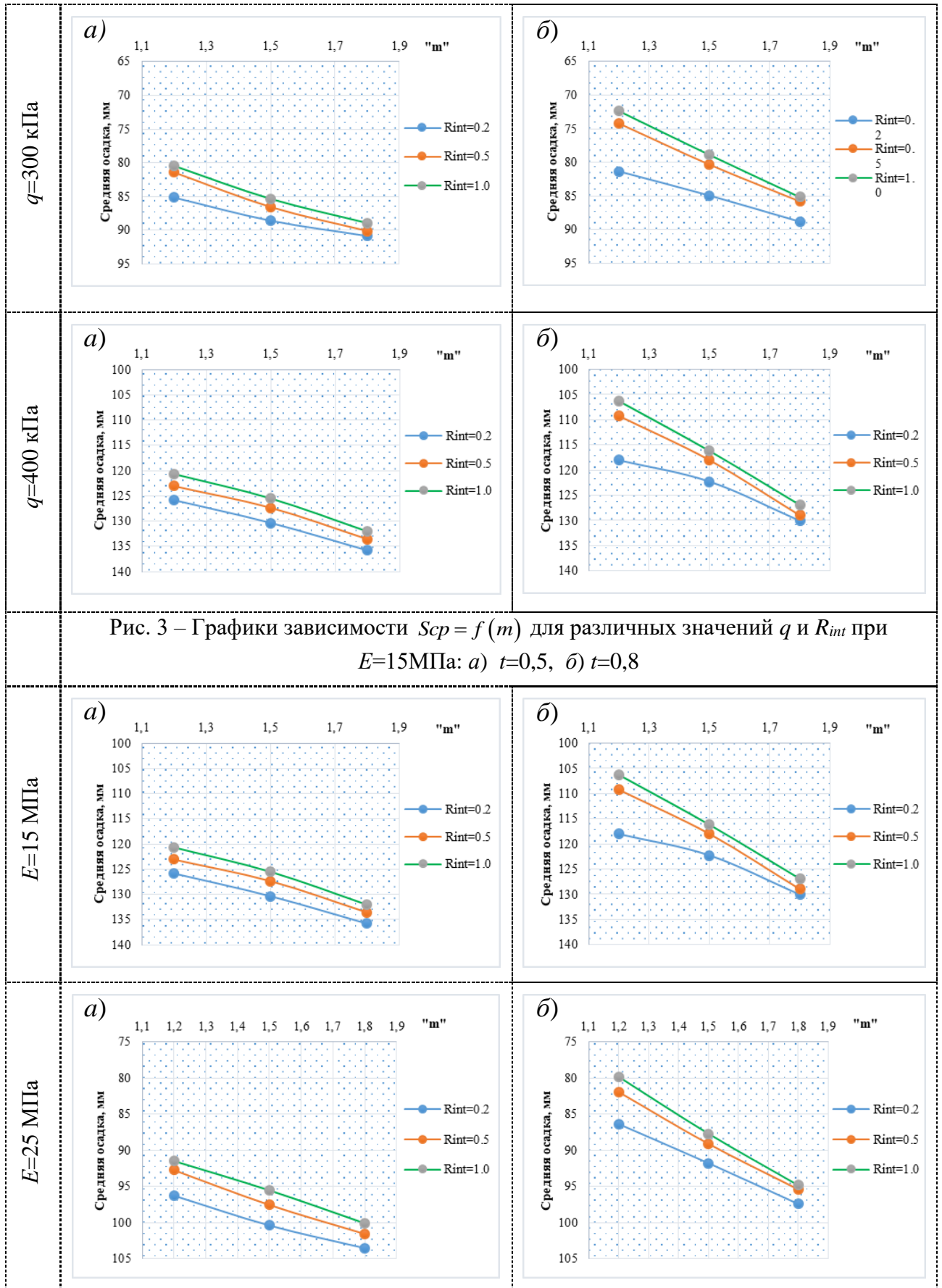


Рис. 4 – Графики зависимости $S_{cp} = f(m)$ для различных значений E и R_{int} при $q=400\text{кПа}$: а) $t=0,5$, б) $t=0,8$

Графики показывают, что средняя осадка высотных зданий уменьшается при увеличении относительной глубины заделки стены в грунте t , коэффициента трения грунта по поверхности стены в грунте R_{int} и модуля деформации грунта E и увеличивается с ростом относительной ширины котлована m и увеличением интенсивности равномерно-распределенной нагрузки на фундаментную плиту q .

Расчетная схема, разбивка конечно-элементной сетки и граничные условия для варианта здания, смещенного к ограждению котлована, показана на рис. 5.

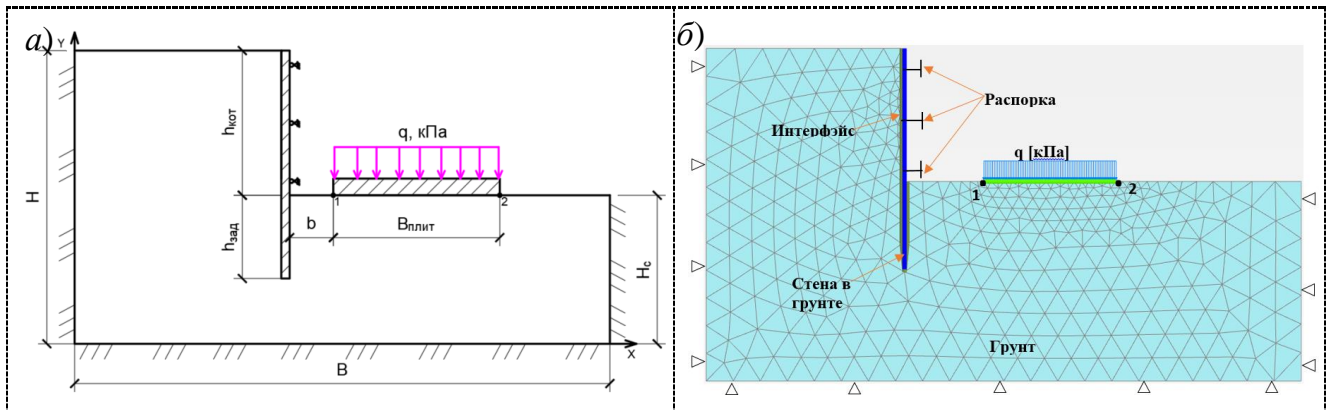


Рис. 5 – Расчетная схема (а), 2D схема конечно-элементной модели (б) для варианта расположения здания, смещенного к ограждению котлована

Изучалась зависимость кренов и средних осадок здания от тех же факторов и диапазонов их изменений, что и при варианте расположения здания в центре площадки. Исключение составлял фактор m , характеризующий относительное расстояние от края фундаментной плиты до ограждения:

$m = b/B_{пл}$, $m \in [0,1; 0,3; 0,5]$, где b – расстояние от ограждения котлована до края фундаментной плиты (см. рис. 5).

Крен высотного здания определялся как $|S_1 - S_2|/B_{пл}$, где S_1, S_2 – осадки крайних точек фундаментной плиты.

Полученные мозаики распределения деформаций грунтового основания для расчетного случая $t=0,5$, $E=25\text{ МПа}$ и $q=350\text{ кН}$ при двух значениях m и R_{int} показаны на рис. 6.

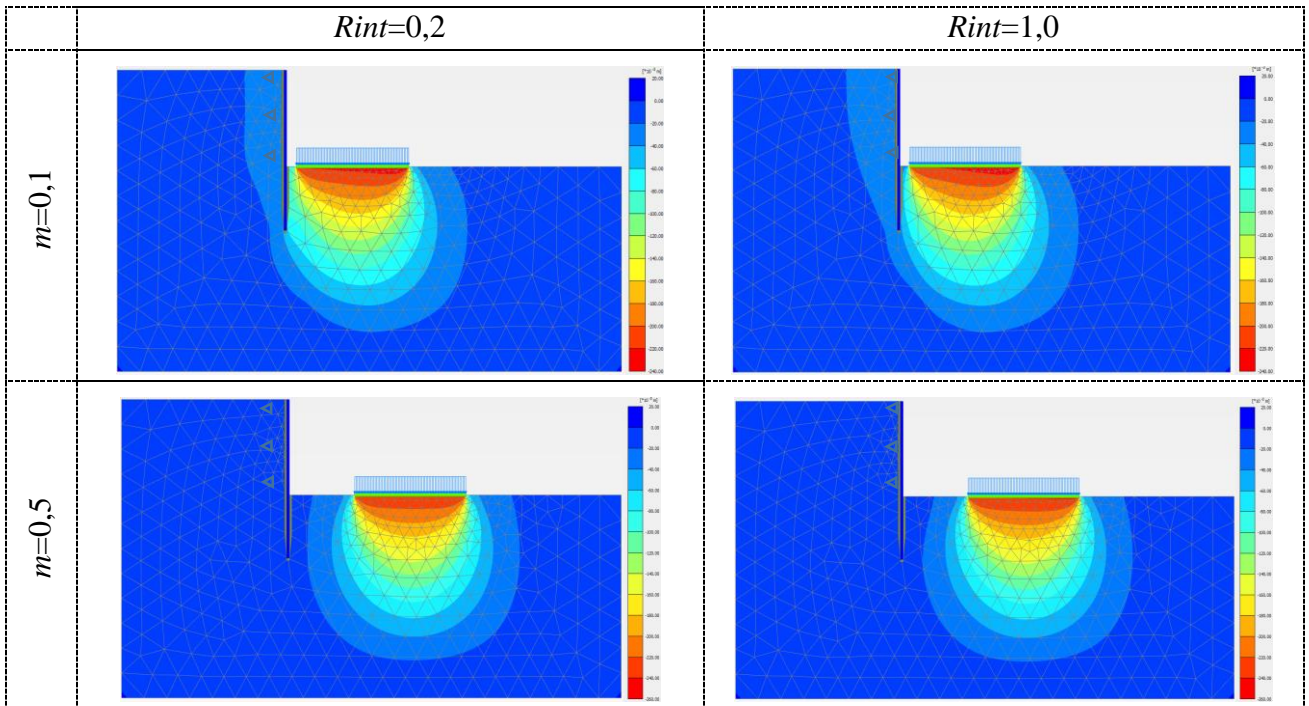


Рис. 6 – Мозаики деформаций грунтового массива при $t=0,5$

Результаты расчетов в виде графиков зависимости $i = f(m)$ при различных значениях q ,

R_{int} и E показаны на рис. 7 - 8.

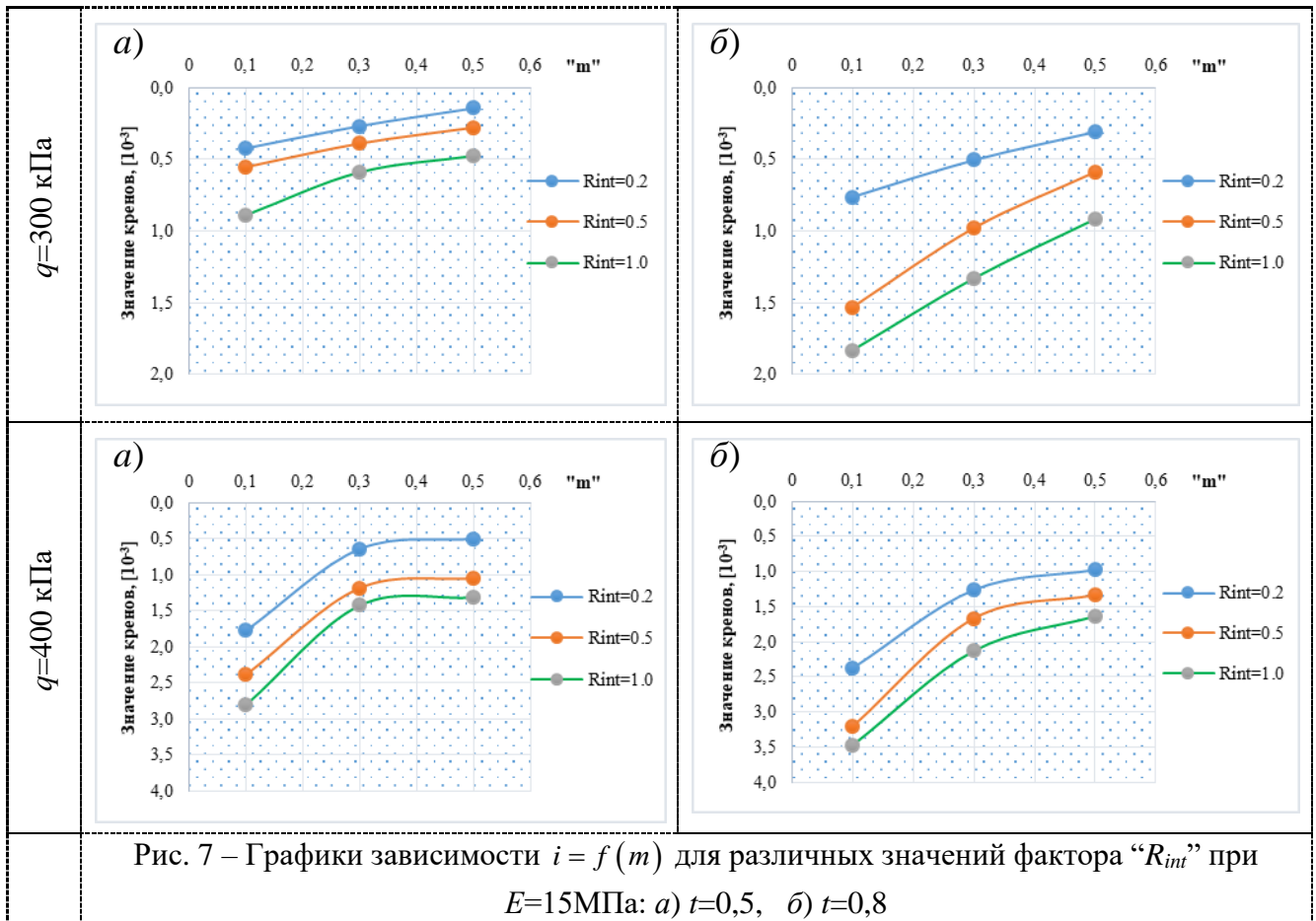
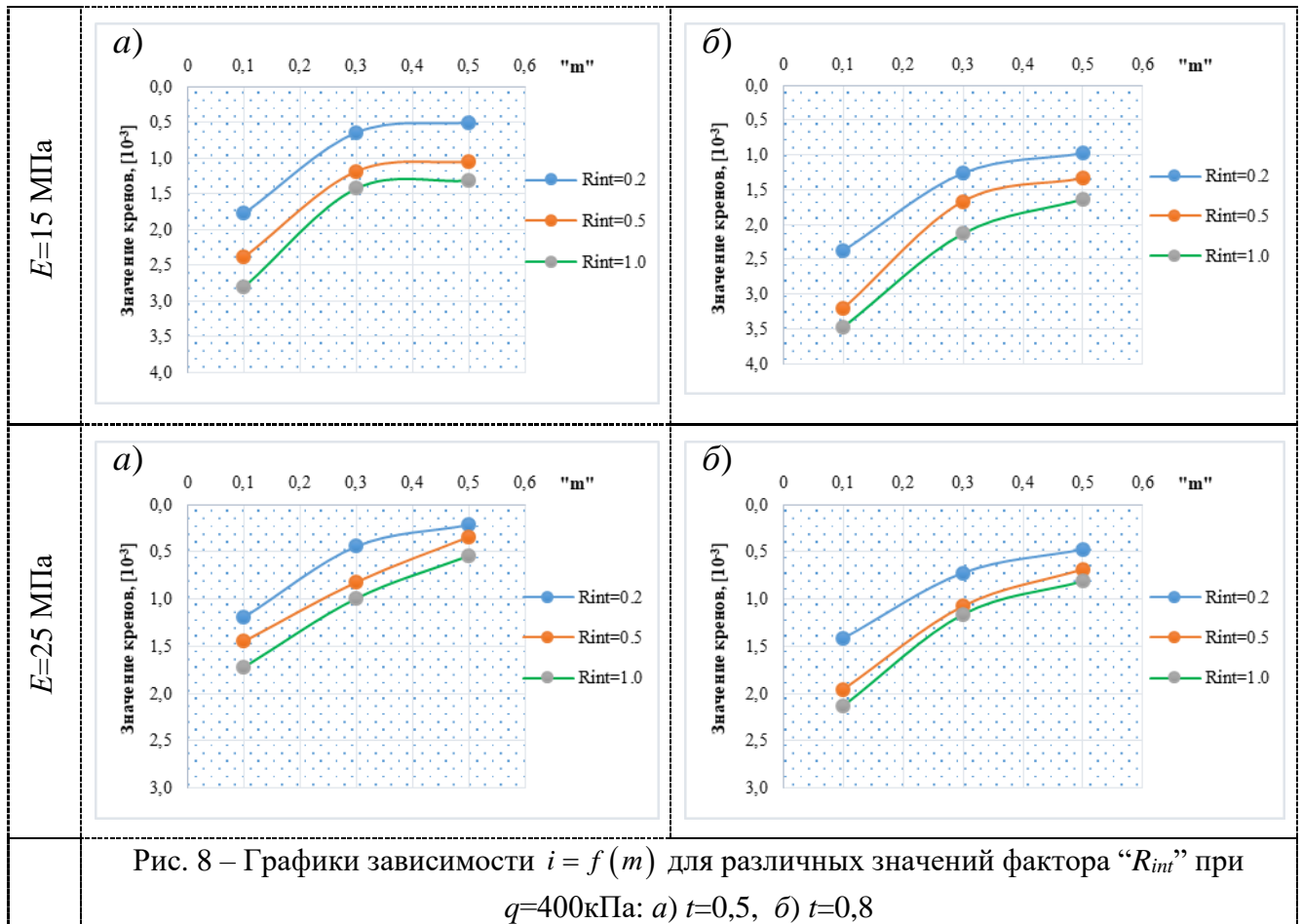


Рис. 7 – Графики зависимости $i = f(m)$ для различных значений фактора “ R_{int} ” при $E=15\text{МПа}$: а) $t=0,5$, б) $t=0,8$



Графики показывают, что крен высотных зданий уменьшается при увеличении расстояния от стены в грунте до края плитного фундамента и модуля деформации грунта E и увеличивается при увеличении относительной глубины стены в грунте t ниже дна котлована, коэффициента трения грунта на поверхности стены в грунте R_{int} и интенсивности равномерно-распределенной нагрузки на фундамент q .

Что касается средних осадок здания при одностороннем расположении к нему ограждения котлована, то они, согласно выполненным расчетам, будут увеличиваться при увеличении расстояния от края плиты до ограждения и равномерно распределенной нагрузки на фундамент q и уменьшаться с увеличением относительной глубины заделки стены в грунте t ниже дна котлована, коэффициента трения грунта на поверхности стены в грунте R_{int} и модуля деформация грунтового основания E .

В третьей главе изложены основные положения и результаты выполненного на основе теории планирования эксперимента математико-статистического анализа, целью которого являлась оценка степени влияния рассмотренных в численном эксперименте факторов на средние осадки и крены высотных зданий и дать ей количественную оценку для двух вариантов расположения здания - в центре котлована и при его смещении к стене в грунте. К рассмотренным факторам относились: $X_1(m=B_{км}/B_{пл})$ – относительная ширина котлована при

расположении здания в его центре и $X_1(m=b/B_{пл})$ – относительное расстояние от края плитного фундамента до ограждения b для здания, смещенного к ограждению), $X_2 (t=h_{зад}/B_{пл})$ – относительная глубина заделки ограждения в грунт ниже дна котлована, $X_3 (R_{int}=tg\varphi_{б-г}/tg\varphi)$ – условие на контакте «бетон-грунт», $X_4(E)$ – модуль деформации грунта, $X_5(q)$ – равномерно распределенная нагрузка на фундаментную плиту.

Для каждого из рассмотренных вариантов были получены уравнения регрессии, выражающие зависимость искомых величин-откликов (в нашем случае средних осадок и кренов) от учтенных при математическом моделировании факторов влияния и их комбинаций:

- средняя осадка здания, расположенного в центре котлована:

$$S_{cp} = 97,33 + 3,7X_1 - 2,79X_2 - 2,98X_3 + 15,44X_4 - 11,56X_5 - 3,52X_4X_5 \quad (4)$$

- крен здания, смещенного к ограждению котлована:

$$i = 1,077 - 0,444X_1 + 0,216X_2 + 0,311X_3 + 0,455X_4 - 0,271X_5 - \\ -0,067X_1X_2 - 0,069X_1X_3 - 0,214X_1X_4 - 0,092X_3X_5 - 0,138X_4X_5 \quad (5)$$

- средняя осадка здания, смещенного к ограждению котлована

$$S_{cp} = 123,87 + 4,9815X_1 - 11,888X_2 - 2,55X_3 + 30,74X_4 - 51,504X_5 - \\ -2,077X_1X_2 + 2,09X_1X_4 - 2,09X_1X_5 - 2,978X_2X_4 + 3,518X_2X_5 - 8,286X_4X_5 \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения регрессии позволяют оценить силу влияния каждого из факторов на величину отклика. Чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние соответствующий ему фактор оказывает на отклик, при этом знак «минус» показывает, что с его увеличением величина отклика уменьшается, при знаке «плюс» - возрастает.

Установленная относительная сила влияния факторов на средние осадки и крены зданий на плитных фундаментах, выраженная в графической форме в виде диаграмм, показаны на рис. 8-10.

Диаграмма на рис. 8 показывает, что основное влияние на среднюю осадку здания оказывает интенсивность передаваемой на основание нагрузки и модуль деформации грунта, что известно из классических решений. Расстояние от стены в грунте до края фундамента, глубина заделки ограждения в грунт ниже дна котлована и условия по трению на контакте грунт-бетон на величину средней осадки плитного фундамента существенного влияния не оказывают и могут не учитываться при проектировании.

Диаграмма на рис. 9 показывает, что все учтенные при анализе факторы можно рассматривать, как существенные, их учет повышает точность определения кренов высотных зданий на плитных фундаментах с учетом работы стены в грунте траншейного типа. Наибольшим влиянием обладает фактор m , характеризующий относительное расстояние ограждения от края

фундаментной плиты, затем интенсивность нагрузки на фундамент q и модуль деформации грунта E . Несколько меньшее, хотя и существенное влияние на крен здания, оказывает фактор t , характеризующий глубину погружения ограждения в грунт ниже дна котлована. Наименьшим влиянием обладает фактор трения R_{int} , однако, несмотря на это, на него следует обратить внимание, поскольку он дает дополнительную возможность изменять (снижать или увеличивать) крен здания за счет технологии устройства стены в грунте или применения специальных материалов, не прибегая к изменению расстояния от ограждения до фундамента и не влияя на его устойчивость.

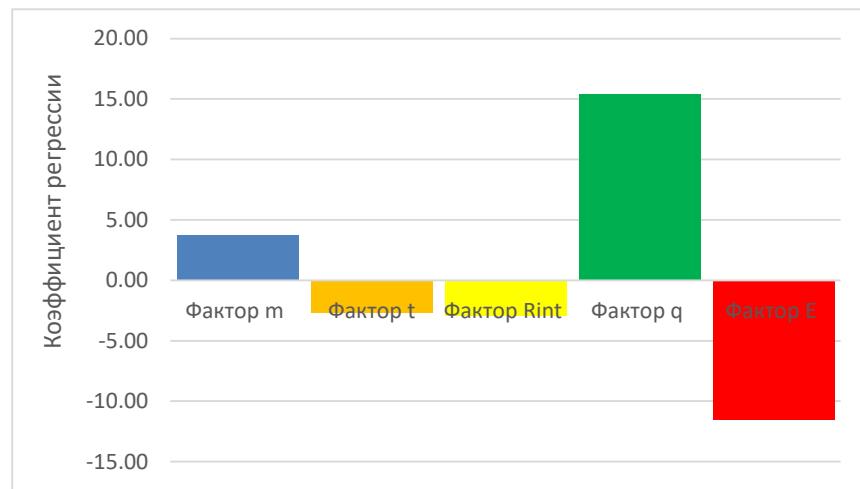


Рис. 8 – Степень влияния факторов m , t , R_{int} , q и E на среднюю осадку высотного здания, расположенного в центре котлована

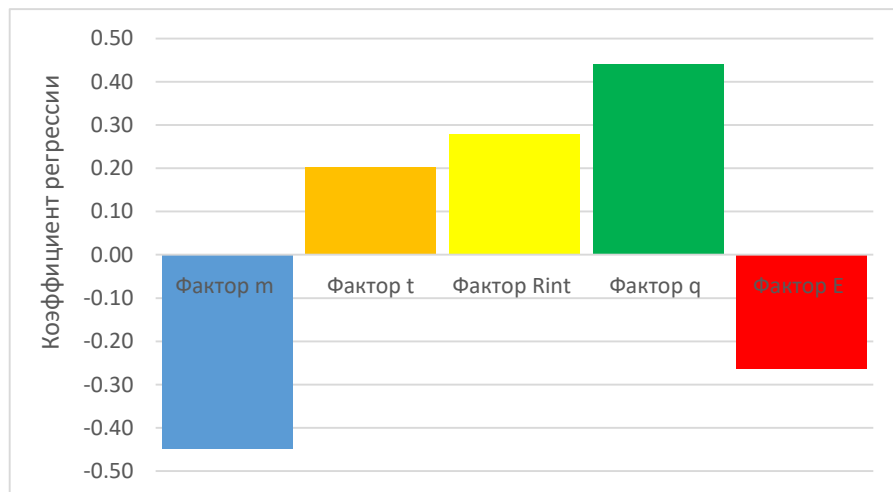
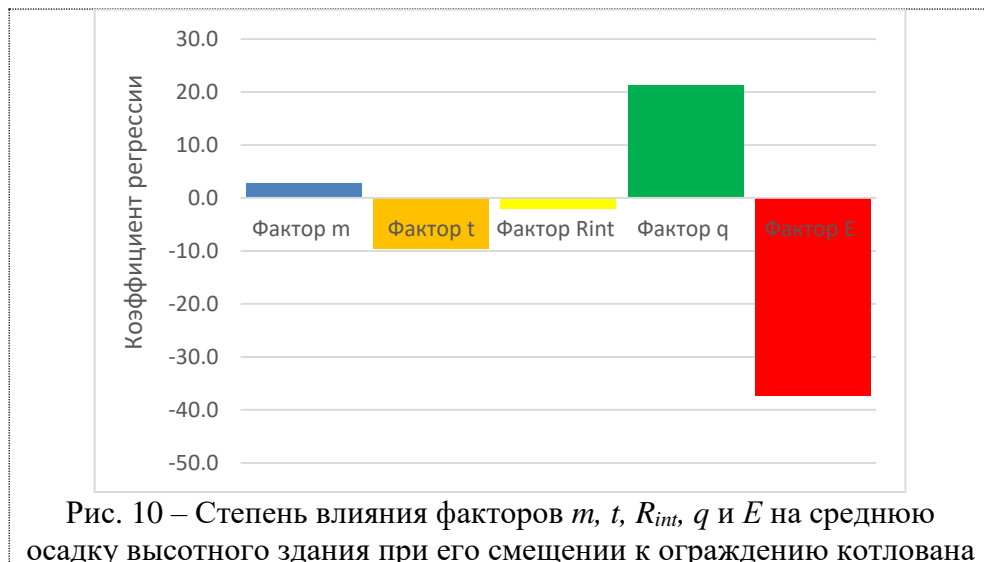


Рис. 9 – Степень влияния факторов m , t , R_{int} , E и q на крен высотного здания при его смещении к ограждению котлована

Диаграмма на рис. 10 показывает, что основное влияние на среднюю осадку плитного фундамента при расположенном со смещением к ограждению котлована здании оказывает

интенсивность передаваемой на основание нагрузки и модуль деформации грунта. Расстояние от стены в грунте до края фундамента, глубина заделки ограждения в грунт ниже дна котлована и условия по трению на контакте грунт-бетон на величину средней осадки плитного фундамента, как и в случае центрального расположения здания, существенного влияния не оказывают и могут не учитываться в расчетах.



Результаты проведенного математического моделирования анализа подтверждают результаты численного эксперимента.

В четвертой главе рассматривается инженерный метод определения кренов высотных зданий на плитных фундаментах с учетом влияния на них ограждений котлованов типа «стена в грунте», проведено сравнение данных мониторинга кренов возведенного здания с результатами расчета по предложенной методике.

Крен высотного здания с учетом всех рассмотренных факторов может быть найден как непосредственно из уравнения регрессии (5), так и по построенным по нему и приведенным в диссертации графикам $i=f(m)$ для различных значений факторов t , R_{int} , E и q при уменьшении или увеличении крена за счет изменения расстояния между фундаментом и ограждением, а также по графикам $i=f(R_{int})$ и $i=f(t)$ при изменении с той же целью факторов R_{int} или t .

В качестве примера на рис. 11-13 показаны графики $i=f(m)$.

Вариант использования графиков для определения кренов высотных зданий на плитных фундаментах возможен, однако предпочтительнее установленные в результате математического моделирования функциональные зависимости, связывающие искомые крены зданий с влияющими на них факторами, представить в графической интерпретации в виде номограмм, точность расчета по которым примерно та же, что и точность расчетов на логарифмической линейке.

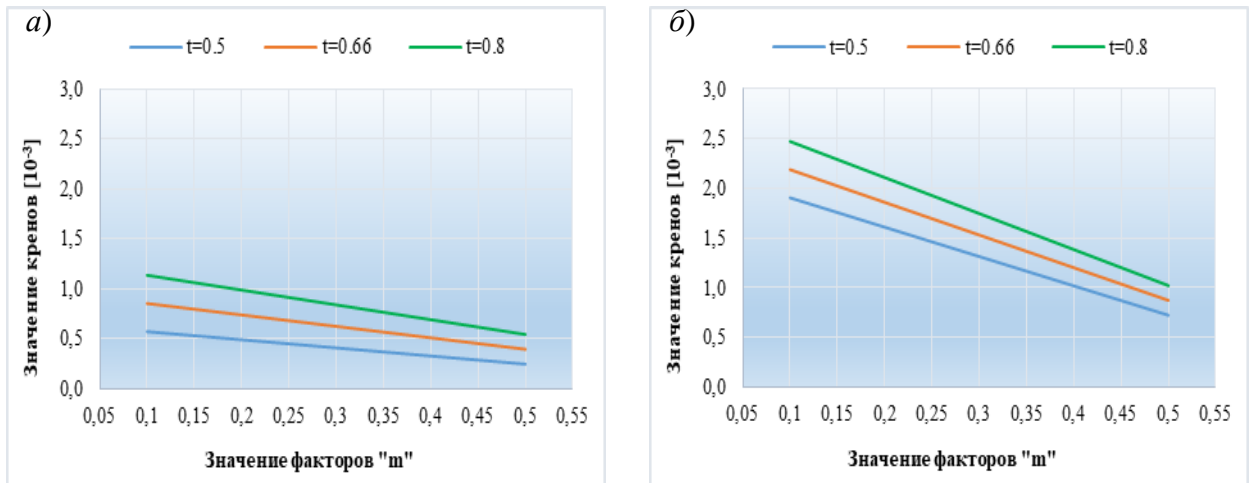


Рис. 11 – Графики зависимости $i = f(m)$ для различных значений фактора t :
 а) $q=300$ кПа, б) $q=400$ кПа

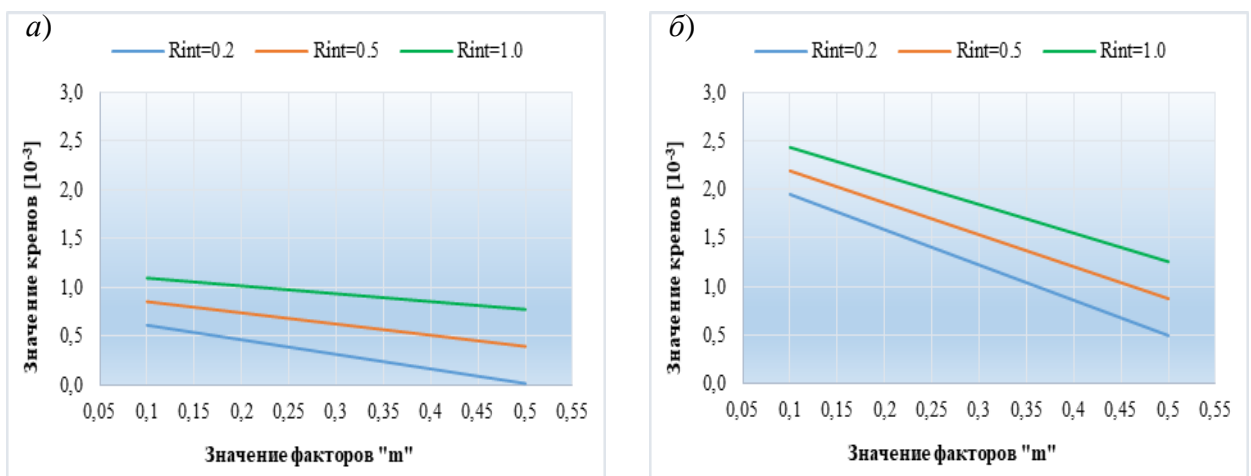


Рис. 12 – Графики зависимости $i = f(m)$ для различных значений фактора R_{int} :
 а) $q=300$ кПа, б) $q=400$ кПа

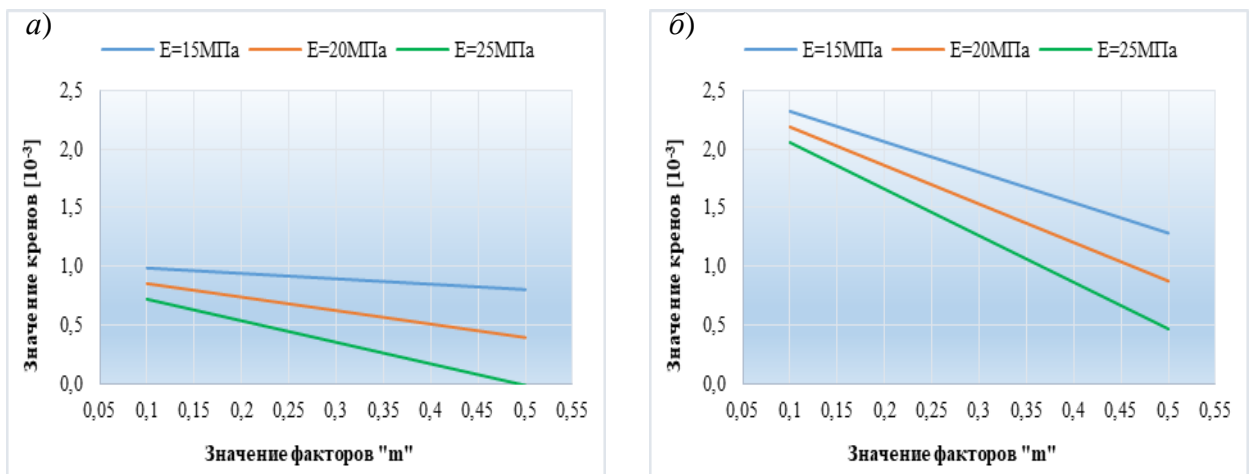


Рис. 13 – Графики зависимости $i = f(m)$ для различных значениях E :
 а) $q=300$ кПа, б) $q=400$ кПа

Наиболее простыми и удобными для использования являются 4-х факторные номограммы, в связи с чем было принято решение исключить из номограмм интенсивность равномерно-распределенной нагрузки на фундаментную плиту q , построив для трех ее значений $q = 300, 350$ и 400 кПа отдельные 4-х факторные номограммы. Для промежуточных значений q значение

крена здания можно определить интерполяцией, поскольку связь между интенсивностью нагрузки и креном здания в диапазоне исследованных величин давлений практически линейная.

На Рис. 14 показан пример 4-х факторной номограммы для определения крена высотного здания при нагрузке $q = 300$ кПа и заданных значениях m , t , R_{int} и E . Последовательность определения крена показана стрелками.

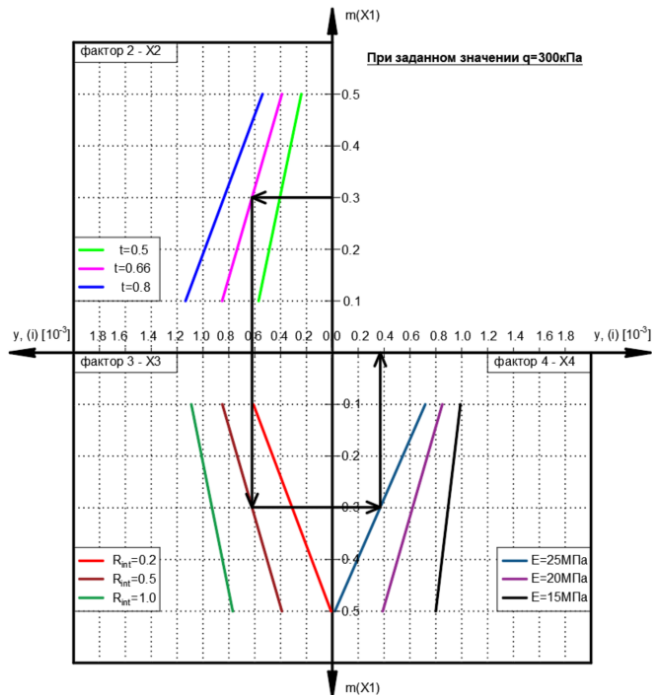


Рис. 14 – Номограмма для определения крена высотного здания на плитном фундаменте при нагрузке $q=300$ кПа и заданных значениях m , t , R_{int} и E .

Представленная номограмма имеет демонстрационный характер, для практического использования с целью повышения точности расчетов номограммы для трех значений нагрузки q составлены с более мелкой градацией влияющих факторов.

В заключение главы приводятся результаты сопоставления данных мониторинга осадок здания, расположенного на улице Намянжу в столице Монголии городе Улан-Баторе, полученных в процессе и после завершения его строительства, с результатами их определения по разработанной в диссертационной работе инженерной методике.

Здание каркасное, выполнено из железобетона в монолитном варианте, имеет 16 надземных и три подземных этажа. Фундамент здания – монолитная железобетонная плита толщиной 2,0 м. Ширина плитного фундамента $B_{пл} = 21,5$ м.

Здание входит в состав жилого комплекса, возводимого в одном котловане глубиной 12,0 м под защитой ограждения в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа толщиной 800 мм и глубиной заделки в грунт ниже дна котлована - 11 м.

На рис. 15 показан план расположения здания в котловане. Здание, расположено ближе к краю строительной площадки, расстояние от фундаментной плиты до ограждения составляет порядка 4,0 м.

Разрез по зданию показан на рис. 16.

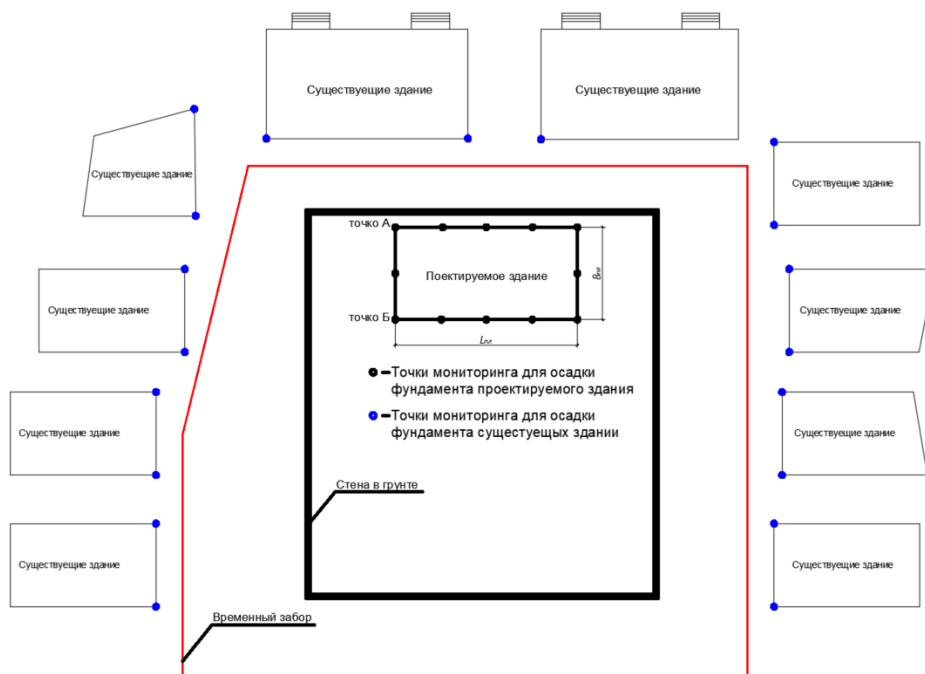


Рис. 15 – Генеральный план строительной площадки жилого комплекса

В соответствии с изысканиями, проведенными в 2009 году компанией «Soil Trade», по данным бурения скважин на глубину 26-30 м в геологическом строении участка принимают участие следующие грунты:

- ИГЭ-1: техногенный грунт, представленный песками, суглинками и глинами различной плотности и консистенции с включениями бытового и строительного мусора; мощность слоя 1,8-2,5 м;
- ИГЭ-2: пески средней крупности, средней плотности, маловлажные, мощность этого слоя 4,0-5,6 м;
- ИГЭ-3: пески мелкие, плотные, водонасыщенные, мощность слоя 10,0-12,0 м;
- ИГЭ-4: пески средней крупности, плотные, водонасыщенные мощность слоя не установлена.

Грунтовые воды вскрыты на глубине 8,0 м.

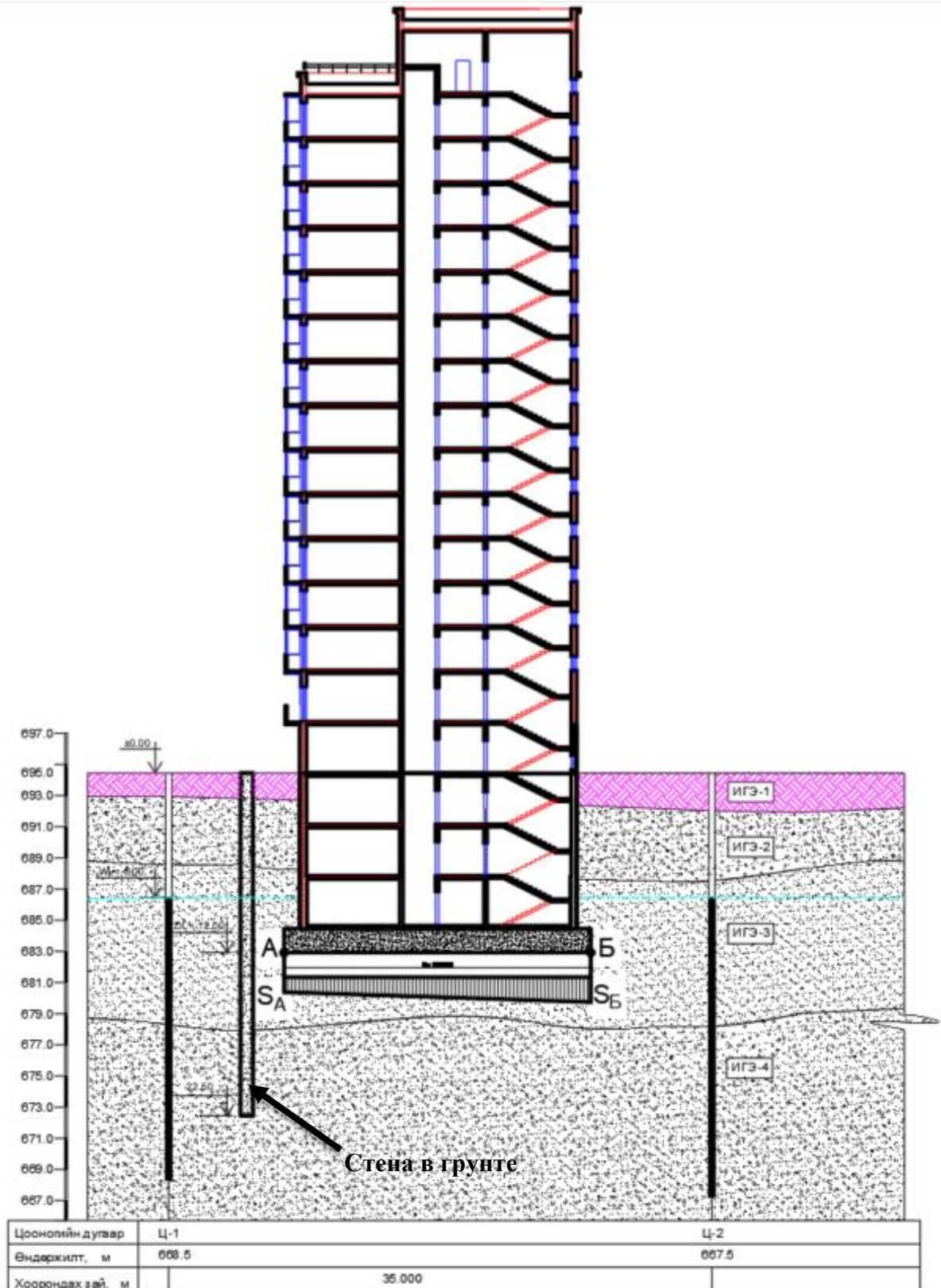


Рис. 16 – Поперечный разрез здания и геологическое строение строительной площадки

Физико-механические характеристики грунтов представлены в таблице 2

Таблица. 2 – Физико-механические характеристики грунтов

Наименование отложений	ρ , г/см ³	E , МПа	φ	C , кПа
ИГЭ-1, техногенный грунт	1,3	-	-	-
ИГЭ-2, песок средней крупности	2,05	28	28	2,7
ИГЭ-3, песок мелкий	1,91	25	25	4,1
ИГЭ-4, песок средней крупности	2,00	29	27	2,6

Геотехнический мониторинг осадок здания выполнялся компанией «Soil Trade» с начала земляных работы до окончания возведения здания, по сроком - с 01.04.2010 до начала 2013 года.

На рис. 17 приведены графики изменения измеренных по мере возведения здания осадок плитного фундамента в двух точках А и Б, по которым определялся крен здания.

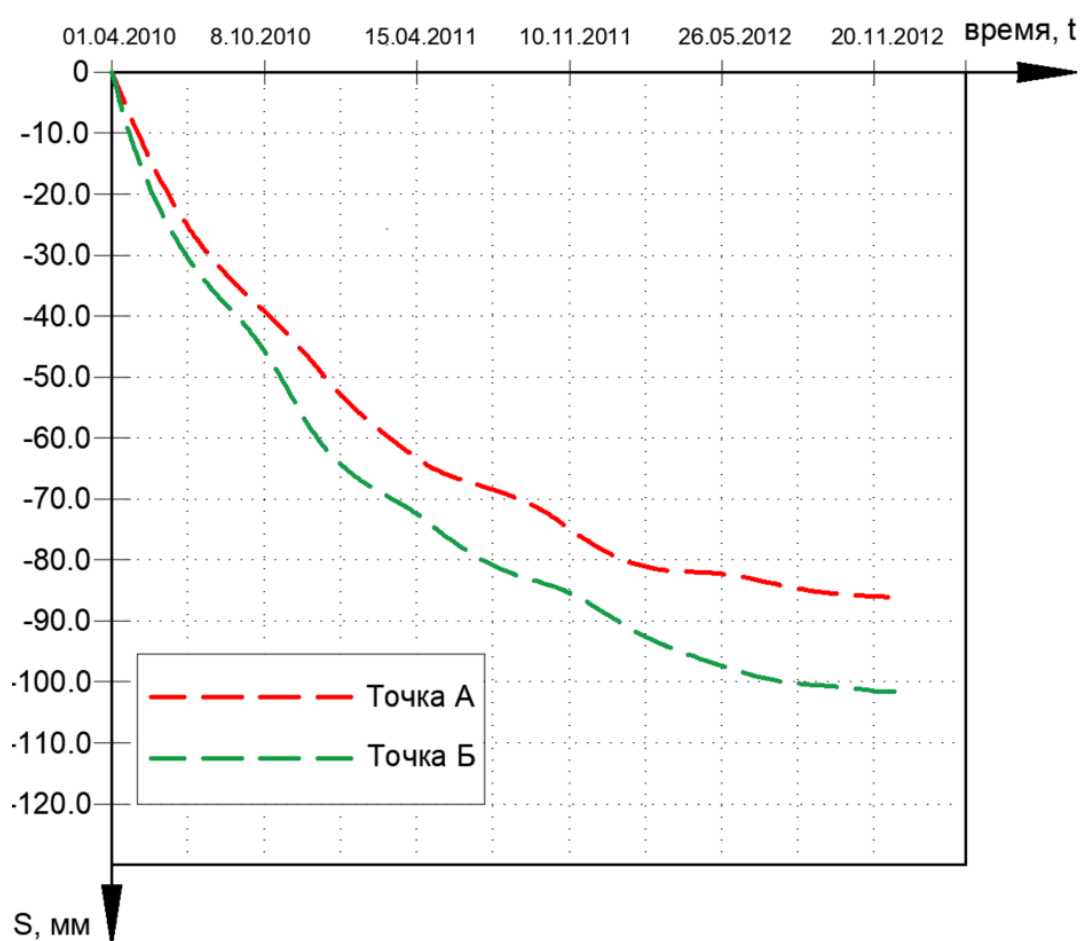


Рис. 17 - Результаты измерения осадок в точках А и Б фундаментной плиты

Графики показывают, что в процессе строительства крен здания постоянно увеличивался и достиг максимального значения при передаче на основание 95% нагрузки от его веса, после чего осадки стабилизировались на уровне $S_A = 85,52$ мм, $S_B = 101,2$ мм. Максимальный крен здания составил 0,000729, а крен, определенный по разработанной в диссертации методике с применением номограмм 0,00081. Разница составила 10%, что можно считать вполне приемлемым результатом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенное исследование подтвердило факт влияния ограждения котлована в виде монолитной железобетонной стены в грунте траншейного типа на НДС грунтового массива в основании плитного фундамента и, как следствие, на среднюю осадку и крен возведенного на нем высотного здания.

2. Проведенные численным методом исследования показали, что при расположении здания в центре строительной площадки влияние стены в грунте на его среднюю осадку и крен является несущественным или отсутствует и может не учитываться в практических расчетах.

3. На среднюю осадку и крен высотного здания, смещенного к ограждению котлована, оказывает влияние расстояние от края фундаментной плиты до ограждения, глубина заделки ограждения в грунт ниже дна котлована, интенсивность равномерно-распределенной нагрузки на фундаментную плиту и трение грунта по боковой поверхности ограждения.

4. Математико-статистический анализ показал, что наибольшее влияние на крен высотного здания оказывает расстояние от края фундамента до ограждения котлована. Влияние этого фактора на крен здания увеличивается с увеличением относительной глубины заделки ограждения в грунт ниже дна котлована и коэффициента трения между грунтом и бетоном ограждения. При расстоянии от фундамента, превышающем 0,5 ширины плиты, влияние стены в грунте на средние осадки и крен здания становится незначительным. Наибольшая эффективность достигается при расстоянии до ограждения порядка 2,0 м.

Существенно меньшее влияние на среднюю осадку фундаментной плиты оказывает трение на контакте грунта со стенкой. В наибольшей степени оно проявляется при небольшом расстоянии между фундаментом и ограждением котлована, незначительно увеличиваясь с увеличением заделки ограждения в грунт.

Несколько большее влияние на осадки фундамента по сравнению с фактором трения оказывает глубина заделки ограждения в грунт. Это влияние уменьшается с увеличением расстояния между ограждением и фундаментом и увеличивается с увеличением трения грунта о стенку.

Установленные закономерности не противоречат имеющейся информации о влиянии ограждения котлована типа «стена в грунте» на НДС грунтового массива в основании плитных фундаментах зданий.

5. Разработанная инженерная методика расчета кренов высотных зданий на плитных фундаментах позволяет аналитически или с помощью номограмм, изменяя расстояние между фундаментной плитой и ограждением, заделку ограждения в грунт и трение на контакте «бетон-грунт», добиться снижения или увеличения крена здания до требуемого уровня.

б. Сравнение замеренного крена возведенного в Улан-Баторе (Монголия) многоэтажного здания на плитном фундаменте с креном, полученным по разработанной в диссертационной работе методике, показал расхождение в их значениях порядка 10%, что можно считать приемлемым результатом и рекомендовать ее для применения для практических расчетов.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в изучение влияния стены в грунте на напряженно-деформированное состояние грунтового массива в основании плитных фундаментов с учетом воздействия сейсмических нагрузок.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК:

1. Знаменский В. В. Результаты исследования влияния ограждения котлована типа «стена в грунте» на крен высотного здания на плитном фундаменте / В. В. Знаменский, А. Ганболд. // Инновации и Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 180-185.
2. Знаменский В. В. Результаты исследования влияния ограждения котлована типа стена в грунте на осадки грунта в основании плитного фундамента высотного здания / В. В. Знаменский, А. Ганболд. // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 146-150.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.:

3. Znamenskii V.V. Influence of the enclosing structure of a trench-type wall in the ground on the heeling of a high-rise building on a raft foundation / V. V. Znamenskii, A. Ganbold. // Journal of Physics. – 2021. – Т. 1928. – №1. 12030 p. doi:10.1088/1742-6596/1928/1/012030.