

I Общая характеристика диссертационной работы

Актуальность темы исследования.

Здание или сооружение строятся на грунтовом основании, и их прочность, устойчивость и нормальная эксплуатация зависят не только от конструктивных особенностей, но и от свойств грунта, а также условий взаимодействия сооружения и основания. Проектирование многих строительных объектов, таких как стадионы или большепролетные здания, требует учета этих факторов. Современные технические возможности, предоставляемые расчетными программными комплексами, позволяют эффективно выполнять зданий с основанием, обеспечивая их надежность и безопасность.

Цели и задачи диссертационного исследования.

Целью диссертационного исследования является совместный расчёт подземной и надземной частей здания с учётом податливости.

Основные задачи магистерской диссертации:

- 1) рассмотрение основных вариантов моделирования работы грунтового основания в специализированных расчетных комплексах;
- 2) рассмотрение возможности применения расчётных комплексов для решения задач проектирования фундаментов;
- 3) проведение численного расчета железобетонных конструкций в плоской постановке с различными вариантами учета совместной работы с основанием;
- 4) моделирование работы грунта в программе «Грунт»;
- 5) выполнение пространственного расчёта здания без учета и с учетом податливости основания с анализом результатов численных расчетов.

Характеристика объекта и предмета исследования. Объектами исследования являются здания и сооружения (на примере нового корпуса Комсомольского-на-Амуре государственного университета).

Предметом исследования являются задачи проектирования зданий и сооружений без учета и с учётом податливости основания.

Характеристика методологического аппарата. Магистерская диссертация



ция, хотя и является самостоятельным научным исследованием, все же должна быть отнесена к разряду прикладных учебно-исследовательских работ, в основе которых преимущественно лежит применение уже известных знаний, а не их приращение. Ее научный уровень всегда должен отвечать программе обучения и служить свидетельством того, что ее автор научился самостоятельно вести научный поиск, актуализировать профессиональные проблемы и находить наиболее общие методы и приемы их решения.

Методологической основой работы является: комплекс инженерных расчетов, анализов и нормативных требований, направленных на обеспечение надежности и долговечности зданий и сооружений с учетом их взаимодействия с основанием. При проведении исследования применялись системный подход, субъектно-объектный, структурно-функциональный анализ, численный метод, методы моделирования, графический, статистический и нормативные методы. Решение поставленных задач осуществлялось с применением программных продуктов ЛИРА САПР, ЛИРА 10, STARK ES, Microsoft EXCEL.

Научная новизна магистерской диссертации. Заключается в проведении численных экспериментов расчета зданий с учётом совместной работы грунта в различных расчётных комплексах ЛИРА САПР, ЛИРА 10, STARK ES.

Практическая ценность магистерской диссертации. Основные выводы и рекомендации, содержащиеся в работе, ориентированы непосредственно на задачи, решаемые на производстве, поэтому может быть напрямую использован при решении задач в проектировании.

Предполагаемое внедрение (использование результатов магистерской диссертации). Может использоваться в практической работе в высших учебных учреждениях для использования материалов диссертации в учебном процессе для подготовки специалистов в области строительства и геотехники. Полученные результаты могут найти свое применение в деятельности ФГБОУ ВПО «Комсомольский на Амуре Государственный Технический Университет» могут быть использованы для создания новых учебных пособий и методических рекомендаций по проектированию фундаментов.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных статей, во-

шедшие в перечень РНИЦ.

Структура и объем работы. Определяется целью и задачами диссертационного исследования и состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников, 4 приложений.

В первой главе рассматриваются методики подходов к учету основания в задачах проектирования зданий и сооружений, нормы проектирования фундаментов, различные варианты моделирование фундаментов в методе конечных элементов.

Во второй главе рассматриваются расчёты отдельных фундаментов в основных программных комплексах, применяемые в РФ для реализации технологий информационного моделирования, описывается методика интеграции различных программных комплексов.

В третьей главе решается задача практического проектирования моделирования грунтового основания (учебного корпуса КнАГУ в г. Комсомольск-на-Амуре) с применением технологий информационного моделирования. На примере этого объекта демонстрируются решение задач использования модуля «Грунт» с переносом модели из модуля «Грунт» в ПК «Лира-САПР» для совместного расчет здания с основанием.

Работа изложена на 59 страницах машинописного текста и содержит 3 таблицы, 27 рисунков. Список использованных источников включает 38 наименования, 4 приложения.

Степень изученности проблемы.

Исследование основано на фундаментальных разработках российских авторов по вопросам проектирования конструкций зданий с учетом работы основания и требует дальнейших исследований, особенно в части повышения точности прогнозирования поведения оснований и разработки методов учета сложных геологических условий.

Исследованию вопросов проектирования конструкций зданий с учетом работы основания посвящены работы Н. А. Цытович, Д. Е. Польшина, В. А. Флорина, Ю. К. Зарецкого, Б. И. Далматова, В. Г. Федоровского, А. В. Яковле-

ва, С. Н. Клепикова, А. Г. Тер-Мартirosяна, Н.С. Никитина, С.Б. Ухов, И.В. Яковлева и др. ученых.

Информационная база исследования. Состоит из действующих нормативных документов, регламентирующие проектирование, материалы научно-практических конференций и семинаров; публикации в научных и периодических изданиях.

II Основные идеи, выводы и результаты исследования

Введение.

Во введении обосновывается актуальность исследуемой темы, формулируются цель, задачи, практическая значимость исследования, его предмет и объект, научная новизна.

Первая глава. Первая глава диссертационного исследования посвящена изучению основных задач проектирования фундаментов.

В результате изучения основ проектирования фундаментов установлено, что обеспечение надёжности и устойчивости здания невозможно без точного учета физико-механических свойств грунта, условий его взаимодействия с фундаментом и особенностей конструктивного решения здания.

Приведена классификация фундаментов по конструктивному типу, глубине заложения и условиям работы. Показано, что выбор типа фундамента должен учитывать не только нагрузку от здания, но и геотехнические условия площадки строительства.

Были рассмотрены основные модели грунтового основания, в частности модели с коэффициентами постели. Дана оценка применимости различных методов определения коэффициентов постели (по модулю деформации, с учетом глубины, по формулам Винклера), а также выявлены их достоинства и ограничения. Наиболее точные результаты получаются при использовании методов, учитывающих изменение характеристик грунта по глубине.

Изучены нормативные требования к проектированию различных типов фундаментов: мелкозаглубленных, свайных и плитных. Подчёркнута необходимость учета сезонного промерзания, агрессивности среды, влияния подзем-

ных вод и геотехнической категории объекта.

Рассмотрены подходы к моделированию фундаментов с применением метода конечных элементов (МКЭ). Стоит учесть наличие и влияние столбчатого фундамента на надземные конструкции можно. Есть несколько способов моделирования, рассмотрим самые популярные из них:

1 Одноузловая упругая связь. Жёсткость связи можно вычислить перемножением площади основания фундамента на коэффициент постели под ним. Нагрузку на фундамент можно взять, посчитав нагрузку на фрагмент в ЛИРЕ-САПР. С изменением размеров подошвы жёсткость КЭ будет меняться (рисунок 1).

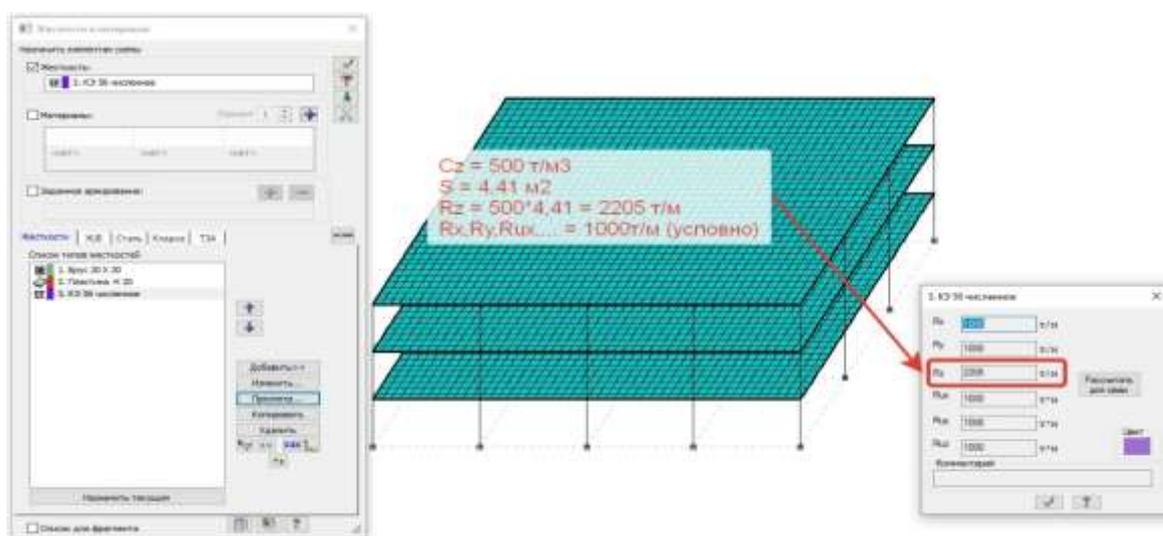


Рисунок 1 – Изменение жёсткости плитного фундамента

2 Моделирование объёмными КЭ. Здесь мы получаем подробную КЭ-модель столбчатого фундамента. Только нужно правильно задать граничные условия. Наличие коэффициента постели под подошвой можно симитировать, «подшив» к ней фиктивную плиту малой жёсткости, на которую уже можно назначить C_1 . Или, как вариант, не использовать фиктивную плиту и коэффициент постели, а вместо этого разместить в каждый узел подошвы упругую связь, жёсткость которой можно определить перемножением коэффициента постели на грузовую площадь вокруг каждого КЭ упругой связи (рисунок 2).

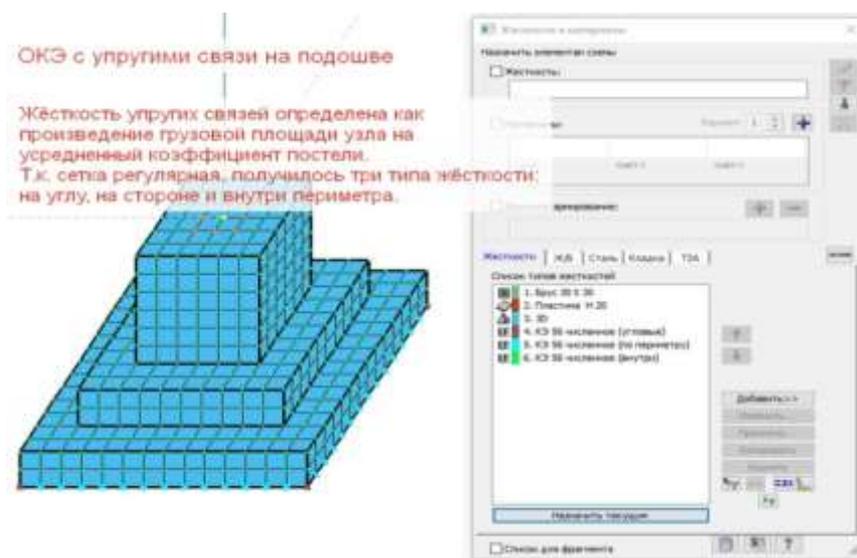


Рисунок 2 - КЭ-модель столбчатого фундамента

3 Моделирование ступеней пластинчатыми КЭ, а подколонника – стержневым. Каждая вышележащая ступень смещается на жёсткой вставке вверх относительно нижележащей, для подколонника задаётся жёсткая вставка по длине равная сумме толщин ступеней (рисунок 3).

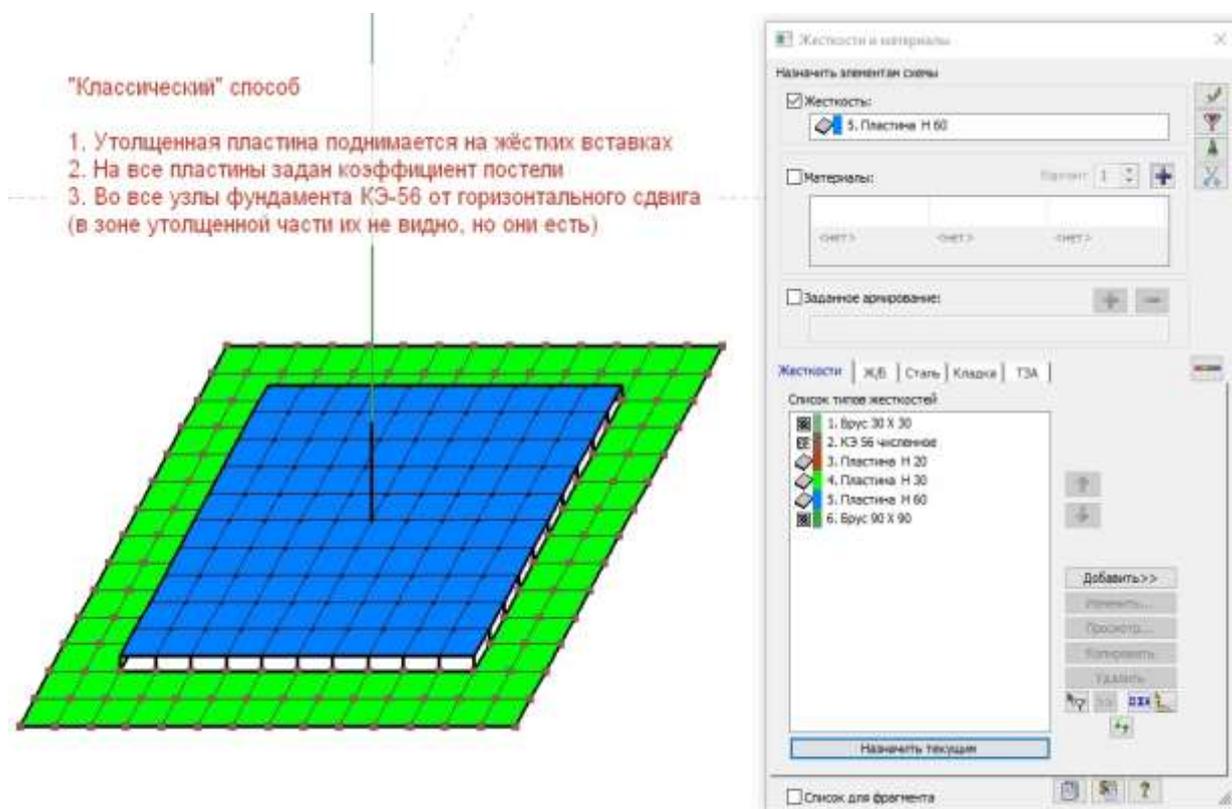


Рисунок 3 - Моделирование ступеней пластинчатыми КЭ

Преимущество способов 2 и 3 заключается в том, что пластины с нагрузками можно передать в модуль «Грунт» и посчитать таким образом переменный по площади коэффициент постели.

Все эти три способа при правильном моделировании оказывают приблизительно одинаковое влияние на усилия/напряжения в надземных конструкциях [14].

Во второй главе выполнен расчёт столбчатого фундамента с подбором армирования подошвы в программной продукте MathCAD. В диссертационном исследовании показано, что использование численных методов позволяет достичь высокой точности при определении армирования с учетом всех влияющих факторов.

В работе проведено моделирование плитных фундаментов с заданием граничных условий для горизонтальной плоскости. Продемонстрирована необходимость правильного наложения связей для обеспечения геометрической неизменяемости расчетной схемы. Применение элементов с конечной жёсткостью (КЭ 56) позволило учесть податливость основания в горизонтальной плоскости.

Проведен совместный расчет плоской рамы с податливым основанием, по результатам которого установлено, что при разных вариантах закрепления (жесткое защемление, шарнирное соединение, упругая связь) возникают значительные изменения в эпюрах внутренних усилий. Это демонстрирует критическую важность корректного учета податливости основания при проектировании.

Показана возможность оценки влияния неравномерной осадки на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций. Использование коэффициентов постели, определённых с учетом геологических данных, обеспечивает адекватную моделируемую реакцию основания.

На рисунке 4 наглядно представлены результаты расчета $C1$ и $C2$, где H_C – граница сжимаемой толщи = 2,7 м, S – осадка основания = 0,013581 м.

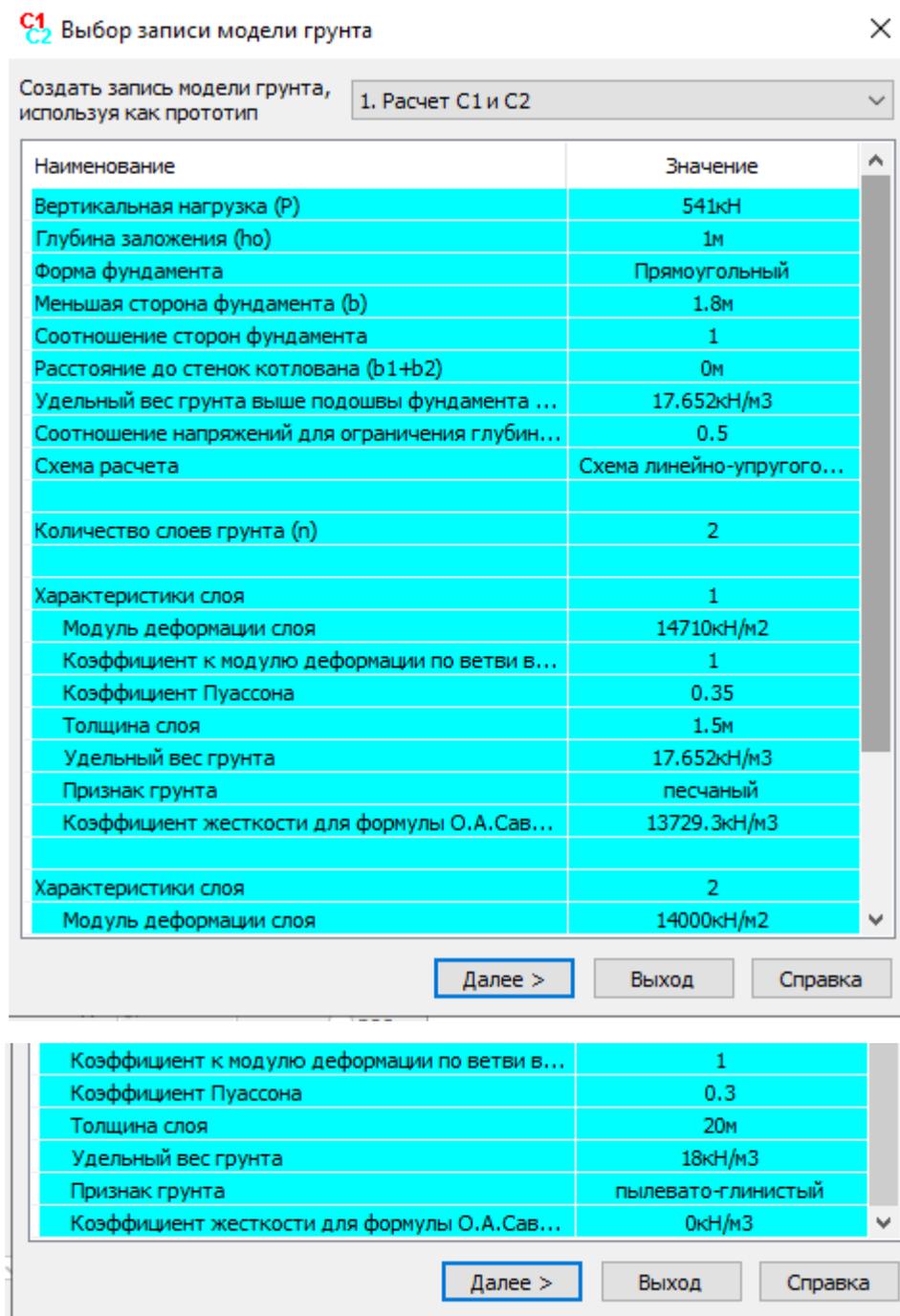


Рисунок 4 – Результаты расчёта C1 и C2

Обоснована необходимость комплексного подхода к расчету фундаментов - сочетание нормативных методов, численного анализа и инструментов визуализации расчётных схем.

В третьей главе проведён комплексный анализ инженерно-геологических условий строительной площадки, в ходе которого определены состав и физико-механические характеристики грунтов по данным скважин.

Установлено, что большинство грунтов могут использоваться в качестве естественного основания за исключением рыхлого насыщенного песка.

На основе данных геологических изысканий построена трехмерная модель основания в модуле «Грунт» программного комплекса «ЛИРА-САПР 2021». Наименования грунтов указаны согласно выполненному анализу физико-механических свойств характеристик грунтов в п.п 3.2 диссертационного исследования. Показатель текучести для песка пылеватого не определяется, в следствии данного факта в ячейке пусто.

Характеристики грунтов

№ ИГЭ	Усл. обозн.	Наименование грунта	Цвет	Модуль деформации, кН/м ²	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, кН/м ³	Коэффициент пористости по 2-модулю деформации	Предел текучести, доз	Показатель влажности IL	Бода Лесс. Пластич. Органич.	Коэффициент пористости e	Содержание растительных остатков, %	Удельное давление Rc, кН/м ²	Угол внутреннего трения φ, °	Повышенное напряжение Rc, кН/м ²	Коэффициент Свинсона Co, кН/м ²	Коэффициент пропорциональности K, т/см ⁴ и код грунта	
1		Суглинок тугопlast.		11.9	0.3	18.2	5	0.22	0.29		0.82	0	1.3	17.04	0.990665	9806.65	484	Is
2		Суглинок мягкопlast.		9.2	0.3	18.7	5	0.26	0.53		0.82	0	11.47	14.435	0.196133	8825.98	380.2	Ip
3		Суглесь пластичная		25.6	0.3	21	5	0.20	0.71		0.53	0	10.53	22.95	1.56906	14710	243.8	Sp
4		Песок пылеватый		11	0.35	19.8	5	0.26		W	0.852	0	1.3	23.63	3.92266	19613.3	235	So
5		Суглинок полутвер.		17.5	0.42	20	5	0.27	0.2		0.74	0	17.06	20.08	9.80565	24516.6	520	Is

Примечания: значения Rc, φ, Rc в расчете коэффициентов постели C1, C2 не используются, но задаются для последующего экспорта в жесткости ЛИРА-САПР. Значения IL и K используются для расчета жесткости свай (K3 57)

Рисунок 5 - Характеристики грунтов

Таблица характеристики грунтов содержит три блока информации, разделённые двумя вертикальными чёрными линиями: Блок 1 - блок исходных данных для расчета C_1 и C_2 ; Блок 2 - блок исходных данных для учета взвешивающего действия воды; Блок 3 - блок недостающих исходных данных для экспорта в ЛИРУ-САПР и последующего физически нелинейного расчета.

Далее необходимо ввести информацию в модуль «Грунт о скважинах на строительной площадке», которая указана в таблице Г.1 приложения Г.

а) скважина 1

Скважины

Скважина 1

Координаты: X 3, Y 30, Абс.отм. устья 112.20, Глубина 14.70

№	Наименование	Абс.отм. подошвы	Мощность слоя	Глубина залегания
1	Суглинок...	110.50	1.70	1.70
2	Суглинок...	107.70	2.80	4.50
3	Суглесь...	105.20	2.50	7.00
4	Песок...	102.70	2.50	9.50
5	Суглинок...	97.50	5.20	14.70

б) скважина 2

Скважины

Скважина 2

Координаты: X 2.00, Y -11.00, Абс.отм. устья 112.60, Глубина 14.60

№	Наименование	Абс.отм. подошвы	Мощность слоя	Глубина залегания
1	Суглинок...	110.50	2.10	2.10
2	Суглинок...	107.80	2.70	4.80
3	Суглесь...	105.60	2.20	7.00
4	Песок...	103.00	2.60	9.60
5	Суглинок...	98.00	5.00	14.60

в) скважина 3

Скважины

Скважина 3

Координаты: X 33.00, Y -11.00, Абс.отм. устья 112.60, Глубина 14.60

№	Наименование	Абс.отм. подошвы	Мощность слоя	Глубина залегания
1	Суглинок...	110.50	2.10	2.10
2	Суглинок...	107.80	2.70	4.80
3	Суглесь...	105.60	2.20	7.00
4	Песок...	103.00	2.60	9.60
5	Суглинок...	98.00	5.00	14.60

Рисунок 6 – Информация в модуле «Грунт о скважинах на строительной площадке»

В процессе моделирования учтены координаты скважин, мощность слоёв, глубина заложения и характер напластования.

Выполнено перенесение модели грунта в расчетную модель здания с последующей реализацией совместного расчета «здание–основание». Это позволило учесть реальное распределение коэффициентов постели и обеспечить соответствие модели физическим процессам в основании.

В подразделе 3.4 диссертационного исследования рассмотрена задача пространственного расчёта здания (блока нового корпуса КнАГУ) для двух расчётных случаев - без учета и с учетом податливости основания.

Рассматривается отдельная часть здания и та же самая часть здания на свайном поле в программном комплексе «ЛИРА-САПР 2021» (рисунок 7).

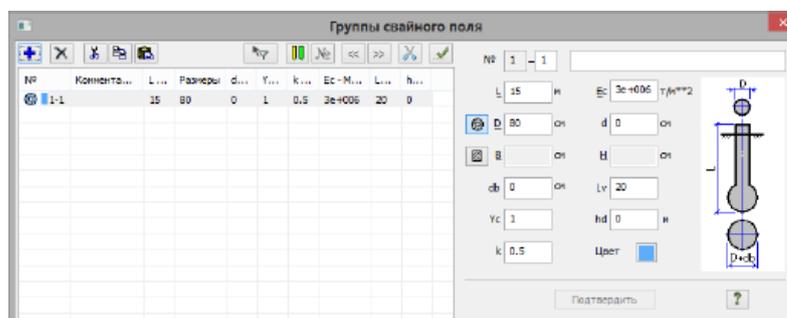


Рисунок 7 – Группы свайного поля по типу КЭ 57

На рисунке 8 наглядно представлена модель без учёта податливости основания.

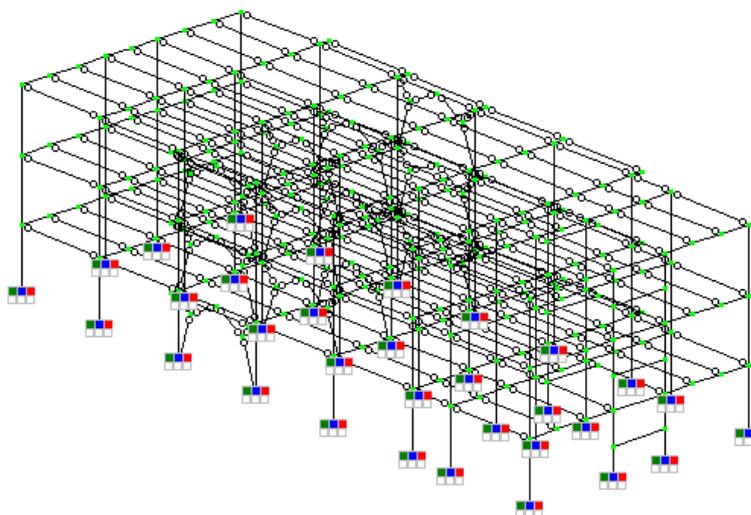


Рисунок 8 – Модель без учёта податливости основания

На рисунке 9 наглядно представлена модель с учётом податливости основания.

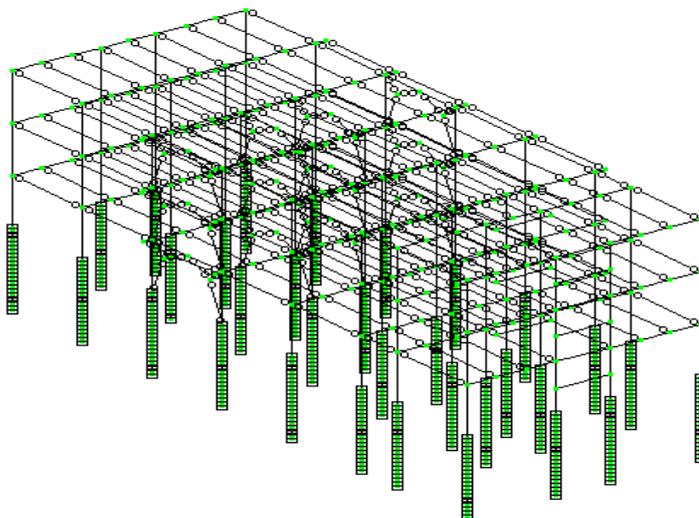
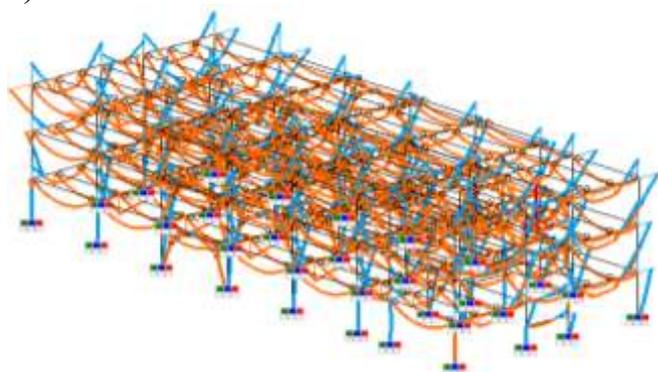


Рисунок 9 – Модель с учётом податливости основания

После выполнения расчёта, была получены следующие значения эпюр изгибающих моментов M_y , кН*м:

На рисунке а) 10 представлена модель без учёта податливости основания с минимальным значением M_y -218.209 кН*м, и максимальным - 188.744 кН*м.

а)



б)

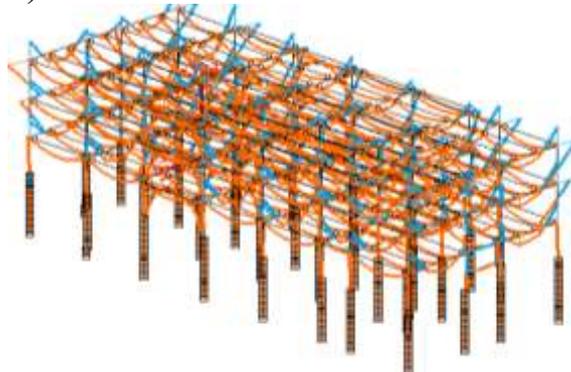


Рисунок 10 – Модель податливости основания:

а) модель без учёта податливости; б) модель с учётом податливости основания

На рисунке б) 10 представлена модель без учёта податливости основания с минимальным значением M_y -323.432 кН*м, и максимальным - 230.921 кН*м.

При анализе полученных результатов становится ясным, что максимальное и минимальное значения по эпюрам изгибающих моментов на модели с учётом податливости основания выше.

Далее, была рассмотрена мозаика перемещений по направлению Z, см.

При сравнении вертикальных перемещений на рисунке 11 можно увидеть, что перемещения в модели с учётом податливости основания выше.

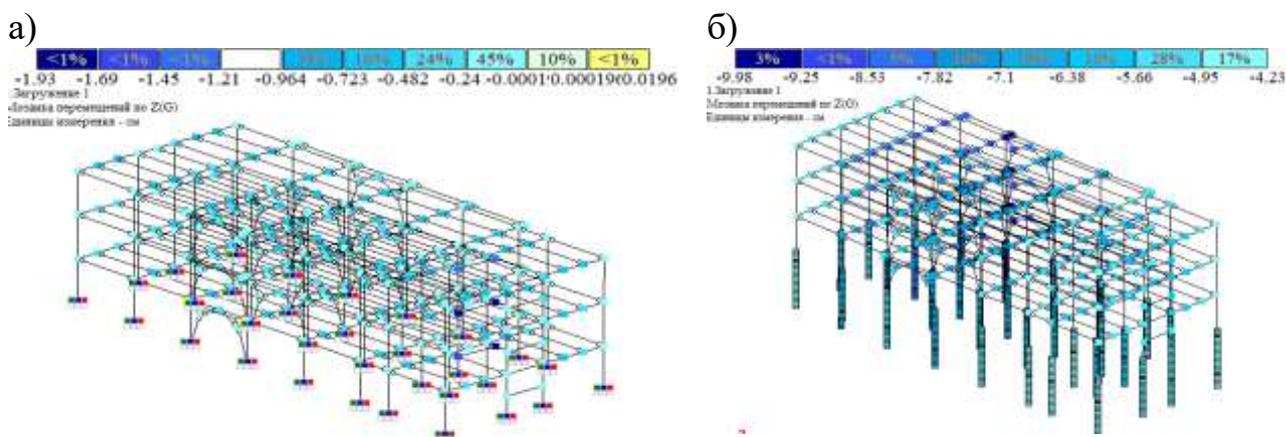


Рисунок 11 – Модель податливости основания

а) модель без учёта податливости; б) модель с учётом податливости основания

Также была рассмотрена прочность в элементах металлоконструкций по 1 группе предельных состояний рисунки 3.19. Для фрагментации была взята отдельная рама рассматриваемого здания, получен расчёт по усилиям и подбор сечений.

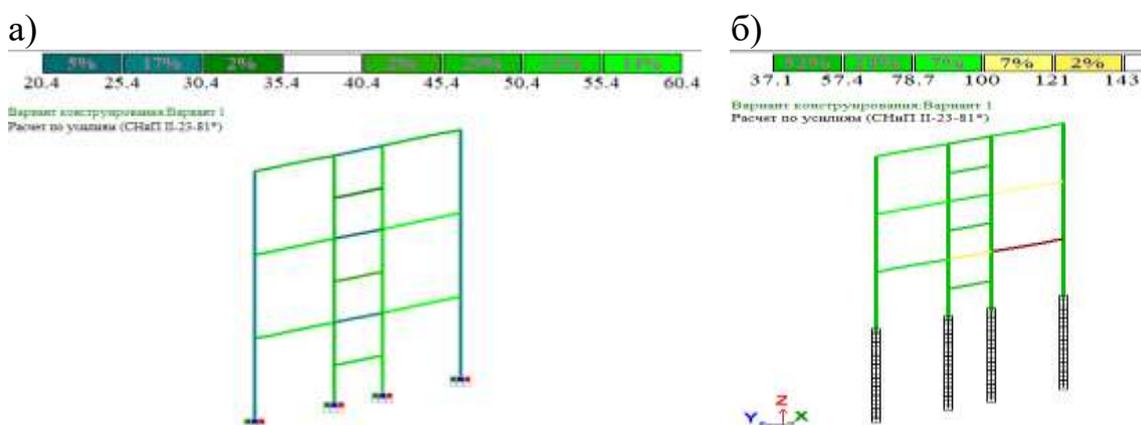


Рисунок 3.19 – Модель податливости основания

а) модель без учёта податливости основания; б) модель с учётом податливости основания

Результаты рассматриваемых моделей имеют значительную разницу по усилиям, прогибам и по конструктивному расчёту.

В результате проведённого анализа результатов численных расчетов

можно сделать вывод, что модель без учёта податливости основания уступает в точности результатов по сравнению с моделью с учётом податливости основания. В следствие данного факта, для объективного расчёта и надёжности конструкций доказана необходимость использования податливости основания совместно с зданием и сооружением.

Таким образом, по результатам исследования выявлена высокая значимость геотехнической информации при проектировании фундаментов. Недооценка особенностей грунтов может привести к серьёзным проектным ошибкам, в то время как интеграция инженерно-геологических данных в расчетную модель позволяет существенно повысить надёжность проектных решений.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах автора

1 Юшкина, М. В. Комплексное применение специализированных расчётных программ для решения задач автоматизированного проектирования / Ю. Н. Чудинов, М. В. Юшкина // Комплексные технологии в механике и транспортном строительстве : Сборник статей III межвузовской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Г.Н. Гаврилова, Санкт-Петербург, Петергоф, 26 декабря 2024 года. – Санкт-Петербург, Петергоф: ВОЕННЫЙ ИНСТИТУТ (ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК И ВОЕННЫХ СООБЩЕНИЙ), 2024. – С. 100-107. – EDN ANUBMO.

2 Юшкина, М. В. Методы усиления основания под фундаментом / М. В. Юшкина, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 141-143. – EDN CSWIKY.

3 Юшкина, М. В. Определение главных форм колебаний крутильной системы с тремя степенями свободы / А. Ю. Добрышкин, М. В. Юшкина // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строи-

тельства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 193-195. – EDN XSIMXK.

4 Юшкина, М. В. Эффективность мягких кровель от материалов / А. И. Шиверский, М. В. Юшкина, Е. О. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 277-280. – EDN NWXDEH.

5 Юшкина, М. В. Анализ расчетных схем одноэтажного промышленного здания с металлическим каркасом / Ю. Н. Чудинов, М. В. Юшкина // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 285-288. – EDN DIJEYN.

6 Юшкина, М. В. BIM технологии и современные методы планирования / М. В. Юшкина, А. И. Шиверский, О. Е. Сысоев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 164-166. – EDN FDJXCU.

7 Юшкина, М. В. Компьютерное моделирование как альтернатива экспериментальным исследованиям / А. Ю. Добрышкин, О. Е. Сысоев, Е. О. Сысоев

[и др.] // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 декабря 2021 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 148-149. – EDN WJCQLR.

8 Юшкина, М. В. Недостатки программного обеспечения расчета оболочечных конструкций / А. Ю. Добрышкин, О. Е. Сысоев, К. К. Кахоров [и др.] // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 декабря 2021 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 150-152. – EDN QKDSSA.