

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Морозов Евгений Борисович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА
С ЭКРАНОМ ИЗ РАЗРЕЖЕННОГО РЯДА СВАЙ**

05.23.02- Основания и фундаменты, подземные сооружения

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор
Знаменский Владимир Валерианович

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. КОТЛОВАНЫ И ВЛИЯНИЕ ИХ УСТОЙСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ.....	15
1.1 Устройство котлованов и их ограждений.....	15
1.2 Влияние строительства заглубленных помещений на окружающую застройку.....	21
1.3 Защитные мероприятия.....	26
Выводы по первой главе.....	35
ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА ИЗ РАЗРЕЖЕННОГО РЯДА СВАЙ.....	37
2.1 Численное моделирование системы «траншея под «стену в грунте»- геотехнический экран-фундамент существующего здания».....	38
2.1.1 Основные положения.....	38
2.1.2 Исходные данные.....	40
2.1.3 Результаты численного моделирования и их анализ	42
2.2 Оценка влияния устройства траншейной «стены в грунте» на осадки фундаментов здания, защищенного геотехническим экраном (аналитические решения).....	65
2.2.1 Определение напряжений в грунте на контакте с геотехническим экраном со стороны разрабатываемой траншеи и защищаемого фундамента.....	66
2.2.2 Определение осадки защищаемого фундамента.....	77
Выводы по второй главе.....	83
ГЛАВА 3. ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	86
3.1 Основные положения теории планирования эксперимента.....	86
3.2 Исходные данные.....	90
3.3 Математическая модель эксперимента.....	97
3.4 Оценка параметров модели.....	99
3.5 Анализ результатов.....	106
3.6 Определение параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай.....	114
3.7 Пример определения параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай по предложенным номограммам.....	119
Выводы по третьей главе.....	120

ГЛАВА 4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА.....	122
4.1 Постановка задачи оптимизации.....	122
4.2 Анализ функции критерия оптимизации.....	127
4.3 Алгоритм определения оптимальных параметров экрана.....	136
4.4 Пример определения оптимальных параметров защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай по предложенному алгоритму.....	140
Выводы по четвертой главе.....	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	147
Приложение А. Значения коэффициентов A, B, C, D, F	159
Приложение Б. Значения предельных коэффициентов эффективности.....	169
Приложение В. Значения коэффициентов оптимизации.....	177
Приложение Г. Список публикаций автора по теме диссертации.....	197

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Одной из основных задач, стоящих перед проектировщиками и строителями, является снижение негативного влияния, оказываемого строительством, в частности устройством котлованов и их ограждений, на рядом расположенные здания. При проектировании оценка этого влияния, которое заключается, в основном, в развитии дополнительных осадок зданий окружающей застройки, осуществляется, как правило, при помощи численного моделирования в пространственной или плоской постановке, но при этом, устройство ограждения котлована не выделяется в отдельную стадию расчета. В то же время, как показывает практика, устройство наиболее массового в современном строительстве ограждения в виде монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа может привести к осадке зданий окружающей застройки, составляющей до 80% от их осадки, вызванной всем строительством, что необходимо учитывать при проектировании, принимая в каждом конкретном случае наиболее эффективные меры по ее снижению до нормативного уровня. Одной из таких мер является устройство защитных геотехнических экранов различного типа, располагаемых между ограждением котлована и защищаемым зданием.

За последние годы тесное взаимодействие научных работников, технологов и строителей позволили разработать и внедрить в производство ряд прогрессивных методов устройства геотехнических экранов, тем не менее поиск новых конструктивных решений экранов, одним из которых является разреженный ряд свай, детальное исследование их взаимодействия с грунтовым массивом, оценка эффективности применения и разработка методов расчета остаются актуальными задачами современного строительства, успешное решение которых позволит снизить стоимость и сократить сроки строительных работ, уменьшить затраты на проведение защитных мероприятий, ремонт и восстановление окружающей застройки.

Степень разработанности темы исследования

Экспериментальным и аналитическим исследованиям влияния откопки котлованов и устройства ограждающих конструкций на дополнительные осадки зданий и сооружений окружающей застройки посвящено много отечественных и зарубежных работ.

При аналитических исследованиях напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых массивов при устройстве в них выемок использовались классические решения теории упругости.

Отдельно рассматривались вопросы влияния на осадки, включая технологические, рядом расположенных зданий изменения НДС грунтового массива, вызванные устройством ограждения котлована по технологии траншейной «стены в грунте» В.В. Знаменский, В.А. Ильичёв, О.А. Исаев, И.В. Колыбин, П.А. Коновалов, Д.С. Конюхов, Р.А. Мангушев, И.Т. Мирсаяпов, О.А. Мозгачева, Е.Б. Морозов, Н.С. Никифорова, В.Н. Парамонов, В.П. Петрухин, А.Б. Пономарёв, Д.Е. Разводовский, Д.А. Сапин, А.И. Свиридов, В.М. Улицкий, Д.Ю. Чунюк, А.Г. Шашкин и др. [35, 38, 40, 43, 44, 46, 52, 56, 59, 60, 63, 65, 71, 83, 89]. Результаты их исследований существенно расширили наши знания о механизме влияния вскрытия траншеи на деформации основания в зоне расположения существующих фундаментов и позволили дать им количественную оценку.

Вопросу исследования возможности и эффективности применения геотехнических экранов и барьеров для защиты от развития сверхнормативных осадок зданий, расположенных в зоне влияния строительства, посвящены работы А.Л. Готмана, Ю.А. Готмана, Ф.Ф. Зехниева, В.А. Ильичева, Н.С. Никифоровой, А.И. Полищука, Д.Е. Разводовского, О.А. Шулятьева, В.Н. Bin-Chen, F.T. David, C. Chun-Hung, N.H. Richard и др. [22, 24, 39, 62, 64, 89, 94]. В этих работах были рассмотрены и проанализированы различные аспекты технологии устройства и проектирования экранов, показана целесообразность их устройства, однако детальные исследования взаимодействия геотехнических экранов с грунтовым

массивом и факторов, влияющих на эффективность их применения практически не проводились.

Большое число работ было посвящено исследованию работы свайных конструкций, используемых в качестве защитных устройств для повышения устойчивости откосов, склонов и бортов котлованов Р.Ш. Адигамов, А.А. Бартоломей, А.И. Билеуш, А.Н. Богомолов, А.С. Буслова, А.Г. Гагаркин, А.Л. Готман, Л.К. Гинзбург, Ф.Н. Деревенец, В.В. Знаменский, В.А. Ильичев, О.В. Карасев, Э.Я. Кильвандер, Л.С. Лапидус, С.И. Маций, Е.Б. Морозов, Г.Д. Недря, Н.С. Никифорова, З.С. Орагвелидзе, А.И. Полищук, О.Г. Семенов, А.Б. Пономарев, З.Г. Тер-Мартirosян, А.П. Хамов, К.Ш. Шадунц, О.А. Шулятьев, Е.-С. Ang, J. E. Loehr, D. E. Smith и др. [1, 2, 7, 12, 15, 17, 42, 20, 23, 25, 33, 40, 41, 42, 45, 50, 54, 55, 56, 57, 61, 63, 74, 87, 88, 89, 92]. Изучены вопросы взаимодействия оползневых массивов с удерживающими свайными конструкциями, разработаны методы определения предельных давлений на сваи и шага их погружения. Однако работа свай в удерживающей оползневой склон конструкции существенно отличается от работы свай геотехнического экрана, как по условиям нагружения, так и отсутствием, как правило, заделки в коренные грунты. Отсутствует и методика их расчета, что сдерживает их широкое внедрение в практику строительства при решении важнейшей задачи защиты окружающей застройки от негативного влияния строительных работ в стесненных городских условиях.

Цель диссертационной работы - разработка методики определения оптимальных параметров конструкции защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от необходимой степени снижения дополнительной осадки рядом расположенного здания.

Задачи исследования:

1. Обобщение и анализ экспериментальных и расчетных данных о влиянии процесса устройства ограждений котлованов, выполняемых по технологии

траншейной «стены в грунте», на окружающую застройку, в том числе и защищенную геотехническим экраном.

2. Исследование численным методом НДС грунтового массива вмещающего траншею под «стену в грунте», защитный экран и фундамент существующего здания с целью установления зависимости осадок окружающей застройки, вызванных устройством «стены в грунте», от параметров геотехнического экрана (диаметр свай, шаг и глубина их погружения), его расположения относительно защищаемого здания и технологии устройства.
3. Анализ результатов выполненных численных исследований, определение коэффициента эффективности применения защитного экрана.
4. Факторный анализ степени влияния местоположения и параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай на величину коэффициента эффективности его применения для снижения осадок окружающей застройки в связных и несвязных грунтах.
5. Получение аналитических решений, описывающих физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания» с использованием классических решений механики грунтов.
6. Разработка методики определения оптимальных параметров конструкции экрана в зависимости от необходимой степени снижения дополнительной осадки защищаемого здания.

Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние элементов системы «траншея–грунтовый массив–геотехнический экран–фундамент здания».

Объект исследования – геотехнический экран из разреженного ряда свай, располагаемый между котлованом под новое строительство и ближайшими зданиями с целью снижения их осадок, вызванных откопкой траншеи под монолитную железобетонную «стену в грунте».

Научная новизна работы заключается в достижении следующих результатов:

- установлены закономерности изменения эффективности применения защитного экрана из разреженного ряда свай на осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством траншеи под «стену в грунте», в зависимости от его конструктивных параметров (диаметр свай, их шаг и глубина погружения), расстояния от траншеи и защищаемого здания, типа грунтовых условий и технологии устройства свай экрана;
- получены аналитические решения, описывающие физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания» с использованием классических решений механики грунтов;
- получены функциональные зависимости коэффициента эффективности применения геотехнического экрана от варьируемых факторов, позволяющие выполнить подбор основных размеров защитной свайной конструкции в связных и несвязных грунтах с учетом технологии изготовления свай;
- определено, что наибольшей степенью влияния на эффективность применения защитной свайной конструкции для снижения осадок зданий окружающей застройки обладают глубина разрабатываемой траншеи, ее расстояние относительно фундамента здания, диаметр и длина свай экрана, меньшее влияние оказывают модуль деформации грунтового массива и относительное осевое расстояние между сваями;
- показано, что эффективность применения экрана существенно выше в песчаных грунтах по сравнению с глинистыми, также установлено, что применение защитного экрана наиболее эффективно при его устройстве до глубины, составляющей не более 1,2 глубины траншеи и его расположении ближе к ней;
- определены пределы эффективности применения экрана из разреженного ряда свай для защиты от развития сверхнормативных осадок окружающей застройки;

- определены пределы эффективности применения экрана из разреженного ряда свай для защиты от развития сверхнормативных осадок окружающей застройки;
- на основе выполненных аналитических исследований разработана методика оптимизации конструктивного решения экрана из разреженного ряда свай, позволяющая устанавливать его основные параметры в зависимости от необходимой степени снижения дополнительных осадок защищаемого здания.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке принципов расчета и проектирования защитных экранов из разреженных рядов свай, применяемых для снижения до требуемого уровня осадок зданий и сооружений окружающей застройки, вызванных устройством монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа, служащей ограждением котлована под строительство нового объекта в условиях стесненной городской застройки;
- в разработке метода оптимизации параметров геотехнического экрана, позволяющий сократить расходы и время на его устройство;
- в возможности использования результатов проведенных исследований при проектировании ограждений котлованов типа монолитная железобетонная «стена в грунте» траншейного типа и мероприятий по защите зданий и сооружений окружающей застройки от развития сверхнормативных осадок, вызванных новым строительством;
- в возможности на стадии проектирования оптимизировать параметры геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от необходимой величины снижения осадки защищаемого здания;
- в возможности выполнить расчеты по разработанным методикам с использованием специальных диаграмм, что существенно сокращает время проектирования и позволяет рассмотреть большое число возможных вариантов экрана;
- в возможности использования полученных аналитических решений для проверки основных результатов численных расчетов, а также для выполнения

предварительных расчетов геотехнического экранов и дополнительных осадок фундаментов по упрощенным схемам;

- в возможности использования результатов 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 геотехнического экрана из разреженного ряда свай, расположенного между траншеей под «стену в грунте» и фундаментом защищаемого здания, анализ напряжённо-деформированного состояния системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран - здание»;
- факторный анализ влияния местоположения и конструктивных параметров свайного ряда на эффективность его применения для защиты от развития осадок зданий окружающей застройки при устройстве траншейной «стены в грунте».
- сравнение результатов численного моделирования с результатами аналитических решений, полученных с использованием классических решений механики грунтов.

Личный вклад автора диссертации заключается в следующем:

- выполнен анализ литературных источников по различным аспектам рассматриваемой в диссертационной работе тематики (экспериментальные и численные исследования, аналитические решения), что позволило обосновать актуальность и определить цель и задачи диссертационной работы;

- разработана методика и выполнены численные расчеты влияния устройства монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа под защитой геотехнического экрана на осадки зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния нового строительства;
- получены аналитические решения, описывающие физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания»;
- выполнен факторный анализ степени влияния местоположения и конструктивных параметров геотехнического экрана на эффективность его использования для снижения осадок зданий и сооружений в зоне влияния строительства, вызванных откопкой траншеи под «стену в грунте»;
- разработана методика оптимизации конструктивных размеров геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от заданной степени эффективности его устройства;
- подготовлены материалы для публикации результатов выполненных исследований в научных изданиях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика и результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния системы «траншея–грунтовый массив– геотехнический экран–фундамент существующего здания».
2. Результаты численных расчетов влияния расположения и параметров защитного экрана из разреженного ряда свай на степень снижения осадок зданий и сооружений окружающей застройки, вызванных устройством траншейной «стены в грунте», служащей ограждением котлована под новое здание.
3. Методика выполнения и результаты факторного анализа степени влияния местоположения и конструктивных параметров геотехнического экрана на эффективность его использования для снижения осадок зданий и сооружений в зоне влияния откопки траншеи под «стену в грунте».

4. Методика расчета геотехнического экрана, позволяющая определять его параметры (диаметр свай, их шаг и глубину погружения) в зависимости от необходимой величины снижения осадки защищаемого здания до требуемого уровня.
5. Методика оптимизации конструктивных параметров защитного экрана из разреженного ряда свай с учетом заданной степени эффективности его устройства.
6. Алгоритм расчета снижения осадок зданий окружающей застройки, вызванных вскрытием траншеи под «стену в грунте», с помощью геотехнического экрана из разреженного ряда свай.
7. Аналитические решения, описывающие физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания» с использованием классических решений механики грунтов.

Степень достоверности результатов исследований

Достоверность результатов, проведенных в диссертационной работе, исследований и сделанных выводов подтверждается применением основных положений моделей поведения материалов, применяемых в механике грунтов, теории упругости, теории пластичности, математической статистики, использованием современных комплексов и методик обработки экспериментальных данных, непротиворечием полученных результатов имеющимся данными о применении защитных конструкций, подтверждением результатов численного моделирования аналитическими расчётами с использованием классических решений теории упругости.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы были рассмотрены и обсуждены на:

- XIII Международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. МГСУ, 14-21 апреля 2010 г;
- XIV Международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. МГСУ, 27-29 апреля 2011 г;
- Научно-технической конференции «Численные методы расчетов в практической геотехнике», СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2012 г;
- Научно-технической конференции ВИТУ «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций». г. Санкт Петербург, 29 марта 2016 г;
- Международной конференции 2018 NEU International Postgraduate Summer School – Intelligent Civil, Северо-Восточный Университет г. Шеньян (Китай), 2018 г;
- Международной геотехнической конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы геотехники: новые материалы, конструкции, технологии и расчеты», СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2019 г.;
- Международном научном конгрессе XXII International Scientific Conference on Advanced In Civil Engineering Construction the formation of living environment 2019, Узбекистан, г. Ташкент, 2019 г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ (из них 9 – в соавторстве), в том числе 2 статьи, индексируемых в международных реферативных базах данных (Web of Science – 1, Scopus – 1) и 9 статей в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

В диссертации использованы результаты научных работ, выполненных автором – соискателем ученой степени кандидата технических наук – лично и в соавторстве.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 109 наименований, в том числе 20 иностранных, и 4-х приложений, содержит 198 страниц, 80 рисунков и 48 таблиц.

Диссертационная работа выполнена на кафедре Механики грунтов и геотехники Московского государственного строительного университета под руководством д.т.н., профессора Знаменского Владимира Валериановича.

Автор выражает глубокую благодарность профессору кафедры д.т.н. М.Г. Зерцалову и директору Института прикладной механики РАН, д.т.н. А.Н. Власову за большую методическую помощь в решении поставленных в диссертационной работе задач, своему научному руководителю и всему коллективу кафедры Механики грунтов и геотехники МГСУ за внимание и помощь при работе над диссертацией.

ГЛАВА 1. КОТЛОВАНЫ И ВЛИЯНИЕ ИХ УСТОЙСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ЗАСТРОЙКУ

Одной из основных задач при строительстве в стесненных городских условиях или на территориях действующих предприятий является защита окружающей застройки и коммуникаций от осадок, вызванных производством строительных работ и передачей на грунтовый массив дополнительных нагрузок от вновь возведенных объектов. В этом плане наибольшее влияние на окружающую застройку оказывает устройство котлованов и их ограждений. Снижение этого влияния достигается различными методами, совершенствование которых в расчетном и технологическом плане позволит ускорить темпы и уменьшить стоимость строительства, обеспечив устойчивость возводимых конструкций и снизив осадки окружающей застройки до допустимых пределов.

1.1 Устройство котлованов и их ограждений

В условиях стесненной городской застройки котлованы под строящиеся здания с развитой подземной частью выполняют с вертикальными откосами, требующими крепления для обеспечения их устойчивости. Устройство котлованов с вертикальными стенками без креплений допускается только в маловлажных грунтах природного сложения, если они оставляются открытыми на непродолжительный срок, а их глубина даже в твердых суглинках и глинах не должна превышать 3,0 м, что, как правило, приемлемо только для вскрытия траншей для прокладки коммуникаций или проведения краткосрочных аварийных работ.

В современной строительной практике для крепления вертикальных откосов глубоких котлованов используют, в основном, следующие виды креплений:

- металлические шпунтовые;
- ограждения из свай;
- ограждения типа «стена в грунте» в монолитном или сборном варианте.

Металлические шпунтовые ограждения состоят из отдельных элементов (шпунтин) плоского, корытного или Z-образного профиля (Рисунок 1.1), которые погружаются в грунт еще до разработки котлована и образуют прочную водонепроницаемую стену. Длина шпунтин составляет от 8,0 до 22,0 м, при необходимости шпунтины можно наращивать, доводя их длину до 35,0...40,0 м.

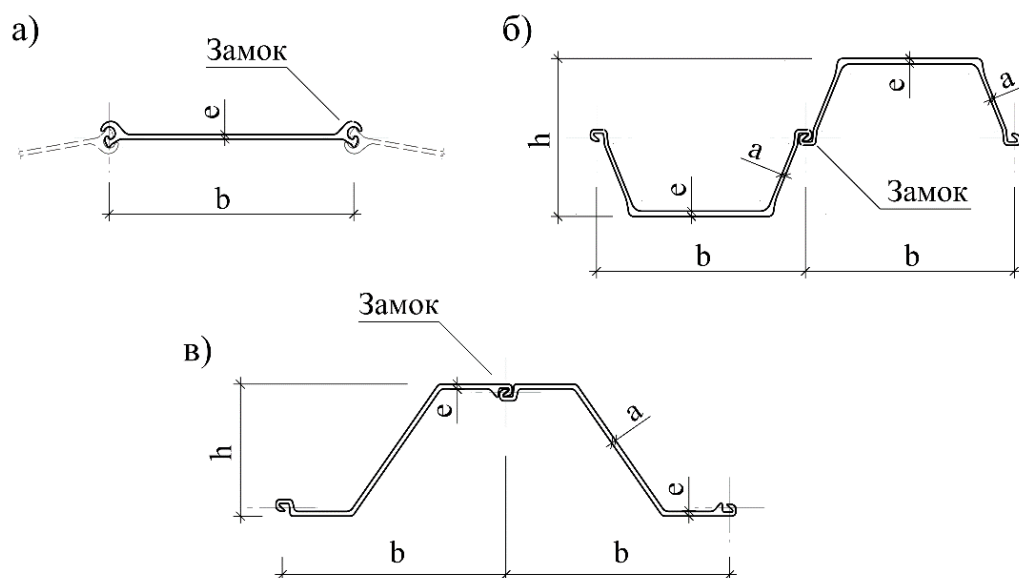


Рисунок 1.1. - Профили прокатного стального шпунта:
а – плоский; б – корытный; в – Z-образный

Наряду с металлическим шпунтом в современном строительстве находит применение и шпунтовое ограждение из ПВХ, показанный на Рисунок 1.2.

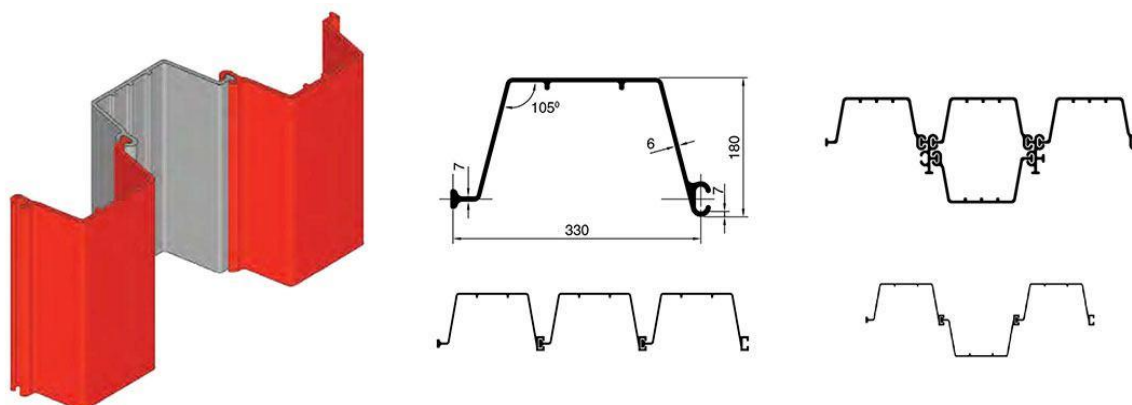


Рисунок 1.2. - Шпунт ПВХ

Кроме шпунтовых ограждений крепление стен глубоких котлованов может быть выполнено из стальных элементов с забиркой, буровых или jet-свай.

Ограждения из стальных элементов с забиркой выполняется чаще всего из стальных труб, погруженных в грунт с некоторым расстоянием между ними (Рисунок 1.3 а). Иногда вместо труб используются двутавры (Рисунок 1.3 б). Забирка, препятствующая осыпанию грунта в котлован между металлическими элементами, выполняется из деревянных досок или, что реже, из стального листа.

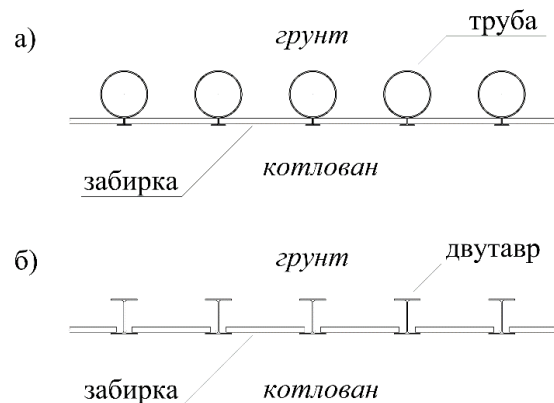


Рисунок 1.3. - Ограждение котлована из стальных элементов с забиркой

Металлические элементы ограждения погружаются в грунт забивкой, вибрацией, задавливанием или устанавливаются в пробуренные скважины. При устройстве ограждения из труб для их погружения часто применяют технологию ввинчивания. При ввинчивании труб отсутствуют удары и вибрация, а также нарушение и ослабление окружающего грунта, поэтому данная технология позволяет вести работы в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений.

Ограждение из металлических элементов не является водонепроницаемым, поэтому в случае его использования в водонасыщенных грунтах требуется водопонижение.

Диапазон применения ограждений из стальных элементов ограничивается, как правило, глубинами котлована до 10 м, их применение не рекомендуется при наличии в основании водонасыщенных структурно-неустойчивых грунтов.

При выполнении *ограждения котлованов из буровых свай* применяют три группы свайных конструкций: с прерывистым расположением свай (разреженный ряд свай), с их касательным сопряжением (бурокасательные сваи) и секущиеся сваи (буросекущиеся сваи).

Стены с прерывистым расположением свай (Рисунок 1.4 а) устраиваются в сухих связных грунтах, способных держать вертикальный откос. Стены с касательным сопряжением свай (Рисунок 1.4 б) используются в несвязных грунтах, чтобы избежать осыпания грунта между сваями при вскрытии котлована. Стены из буросекущихся свай (Рисунок 1.4. в) устраивают, когда дно котлована расположено ниже уровня подземных вод.

Иногда при устройстве ограждения котлована буровые сваи заменяются на *jet-сваи*, выполненные по технологии струйной цементации (технологии «jet-grouting»). Ограждение котлована может состоять из отдельных или секущихся грунтобетонных свай.

Для повышения устойчивости стен, выполненных методом струйной цементации, применяют их армирование стальными трубами или прокатными балками.



Рисунок 1.4. - Устройство ограждения из буровых свай
а – разреженный ряд свай; б – бурокасательные сваи; в – буросекущиеся сваи

Способ «стена в грунте» предназначен для устройства глубоких котлованов в любых грунтах, независимо от уровня расположения подземных вод.

Устройство «стена в грунте» наиболее целесообразно в водонасыщенных грунтах при высоком уровне подземных вод. Способ особенно эффективен при заглублении стен в водоупорные грунты, что позволяет полностью отказаться от глубинного водопонижения, откачивая воду только из замкнутого контура котлована.

При необходимости ограждающие конструкции, устраиваемые методом «стена в грунте», могут выполнять двойную функцию: являются и ограждением котлована, и конструктивным элементом подземной части здания.

Современные технологии позволяют устраивать конструкции подземных сооружений разных форм, но традиционными и наиболее часто встречающимися являются конструкции из прямолинейных стенок.

«Стена в грунте» траншейного типа может применяться в обводненных и необводненных грунтах любой категории сложности. При устройстве ее в слабых пылевато-глинистых грунтах могут потребоваться специальные подготовительные мероприятия по усилению грунта.

Выбор типа ограждения зависит от глубины котлована и уровня подземных вод, а его толщина и глубина его заделки в грунт ниже дна котлована определяется статическим расчетом на устойчивость. При высоком уровне подземных вод глубина погружения водонепроницаемых ограждений в грунт ниже дна котлована определяется из условия необходимости его заделки в «водоупор» для образования замкнутого контура, защищающего котлован от подтопления на время производства в нем строительных работ.

Наряду с заделкой нижнего конца ограждения в грунт его устойчивость обеспечивается устройством различных удерживающих систем (подкосы, распорки, анкеры и т.п.), что позволяет сделать само ограждение более легким и

уменьшить его горизонтальные смещения в сторону котлована, что необходимо для снижения влияния нового строительства на окружающую застройку.

Экспертиза проектной документации по «нулевому циклу» строительства зданий и сооружений в г. Москве, проводимая более 30 лет Городской экспертно-консультативной комиссией по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям (ГЭКК ОФиПС) при Правительстве Москвы, показала, что в качестве ограждающих конструкций котлованов в Москве чаще всего применялись ограждения из труб различного диаметра и с различным шагом их погружения - 46,67%, несколько меньше – «стена в грунте» траншейного типа - 37,33% (Рисунок 1.5). В общей сложности эти конструкции составили 84,0%. Конструкции ограждений из буровых свай, выполненных по различным технологиям (касательных, буросекущихся, разреженный ряд), составили 9,78%. Реже всего в конструкциях ограждений котлованов использовались металлические двутавры (1,56%) и гидротехнический шпунт – шпунт Ларсена (менее одного процента). Котлованы с естественными откосами применялись в 3,78% случаев [38].

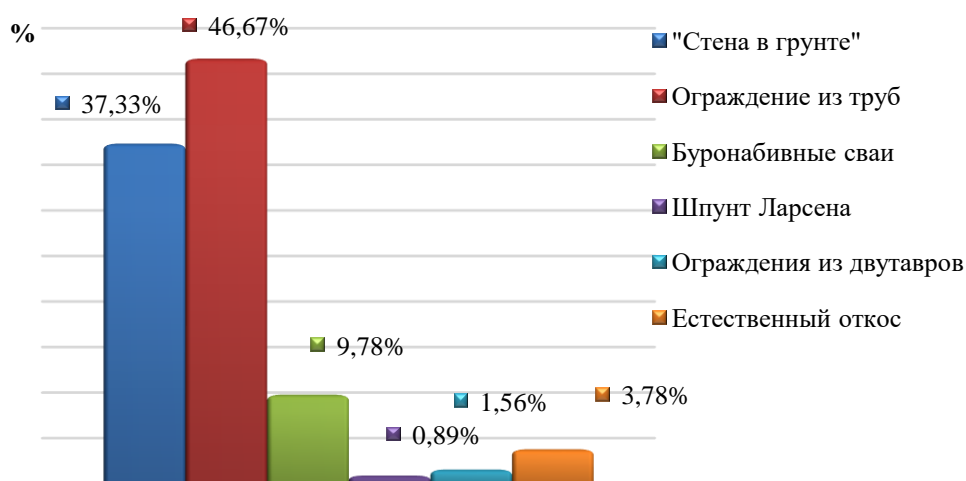


Рисунок. 1.5. - Типы ограждения котлованов

Данные по глубинам котлованов приведены на Рисунке 1.6.

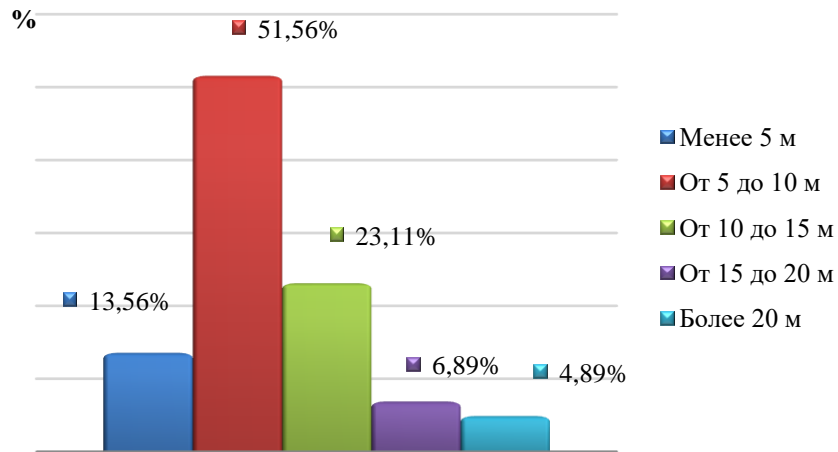


Рисунок. 1.6. - Глубина проектируемых котлованов

Ограждения из труб чаще всего применялась у котлованов глубиной до 10,0 м, а «стена в грунте» траншейного типа - при глубинах котлованов от 10,0 до 20,0 м и более. При уровне подземных вод, превышающем отметку дна котлована, и возможности, при наличии водоупора, устройства ограждения «совершенного типа», независимо от глубины котлована «стене в грунте» отдавалось предпочтение практически во всех случаях.

Приведенные данные говорят о том, что при строительстве в стесненных условиях и высоком уровне подземных вод «стена в грунте» является наиболее приемлемым методом устройства ограждений котлованов.

1.2 Влияние строительства заглубленных помещений на окружающую застройку

Возведение подземных и заглубленных сооружений в городских условиях всегда сопровождается развитием дополнительных осадок окружающей застройки, расположенной в зоне влияния нового строительства. Установление размеров зоны влияния нового строительства и прогноз дополнительных осадок попавших в нее сооружений является важной составляющей проекта возведения любого объекта в городских условиях.

В настоящее время зона влияния нового строительства на окружающую застройку предварительно назначается согласно рекомендациям п. 9.36 СП 22.13330.2011 в зависимости от глубины котлована и конструкции ограждения, а затем уточняется геотехническим расчетом, который выполняется численным методом в плоской или пространственной постановке с применением различных специализированных программных комплексов. Одновременно, и что более важно, определяются и дополнительные осадки окружающей застройки, однако при этом, как правило, моделируются только процессы устройства котлована и возведения здания и не учитываются технологические воздействия, к которым относятся устройство ограждения котлована, усиление фундаментов зданий окружающей застройки, если оно проводится, и т.п. На размерах зоны влияния это практически не отражается, что же касается дополнительных осадок окружающей застройки, то здесь неучет технологических воздействий может привести к их существенной недооценке.

Технологические воздействия, возникающие при выполнении таких геотехнических работ, как устройство «стены в грунте», буронабивных и буроинъекционных свай при усилении фундаментов зданий окружающей застройки, грунтовых инъекционных анкеров и т.п. могут вызвать осадки окружающей застройки, существенно превышающие полученные геотехническим расчетом, выполненным без их учета.

Так по данным, приведенным в [89], при реконструкции ЦВЗ «Манеж» выполнялись работы по усилению фундаментов буроинъекционными сваями, укреплению грунта основания путем цементации по манжетной технологии, устройству траншеи под «стену в грунте» и экскавации грунта из котлована.

До начала работ была выполнена оценка влияния устройства котлована на существующие фундаменты, где моделировался процесс поэтапной экскавации грунта из котлована с последующим возведением конструкций подземной части. Результаты мониторинга подтвердили проверенные расчеты: в период экскавации грунта осадка соответствовала расчетной. Однако общая осадка от

всех видов работ существенно отличалась от прогнозного значения. Причина состояла в том, что основные осадки фундаменты получили в процессе устройства траншеи под «стену в грунте», усилению фундаментов буроинъекционными сваями и усилению грунта основания (Рисунок 1.7).



Рисунок. 1.7. - Распределение осадок фундаментов ЦВЗ «Манеж» в процессе работ по реконструкции

Как можно видеть из представленной диаграммы, на долю осадок от устройства «стена в грунте» приходится 33% от общей осадки здания, от устройства буроинъекционных свай - 42%, а так называемые конструктивные осадки от экскавации грунта из котлована и от нагружения стен элементами кровли в сумме составили 25%, т.е. только четверть общей осадки.

Если не учитывать технологическую осадку от усиления фундамента буроинъекционными сваями, то осадка, вызванная устройством траншейной «стены в грунте», составит более 50% от общей осадки здания, вызванной новым строительством.

Существенное влияние на окружающую застройку устройства траншейной монолитной «стены в грунте» подтверждается и практикой строительства в условиях г. Санкт-Петербурга, которая также показала, что значительную долю дополнительных осадок зданий, расположенных в непосредственной близости от вновь возводимого, составляют деформации, вызванные устройством траншейной «стены в грунте». Так, выполненная оценка технологической осадки

и её доли в общей дополнительной осадке соседней застройки для объектов Зоологический пер., 2-4 и наб. реки Мойки, 74, дала следующие результаты [72].

На Рисунках 1.8, 1.9 представлены данные геодезического мониторинга в виде зависимости вертикальных перемещений геодезических марок от расстояния между марками и «стеной в грунте». Синим цветом на графиках отмечены осадки геодезических марок, полученные за период устройства траншейной «стены в грунте». Каждой синей точке соответствует красная, обозначающая полную осадку данной точки здания.



Рисунок 1.8. - Осадки, полученные в процессе устройства «стены в грунте» и полные осадки окружающей застройки от влияния строительства комплекса

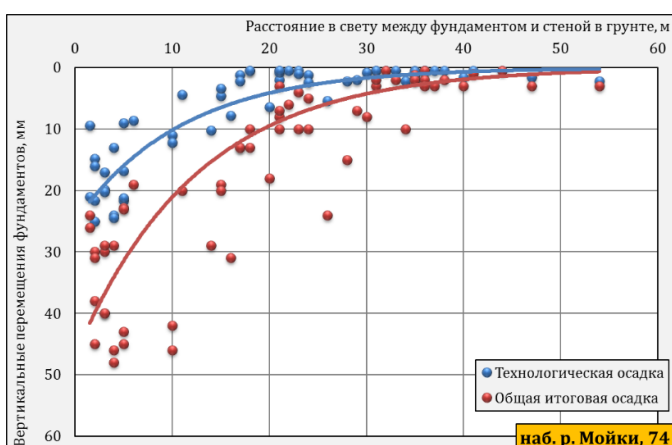


Рисунок 1.9. - Осадки, полученные в процессе устройства «стены в грунте» и полные осадки окружающей застройки от влияния строительства бизнес-центра

Графики показывают, что дополнительная осадка при устройстве «стены в грунте» составляет значительную долю от общей осадки, вызванной новым строительством. Для более точной оценки доли технологической осадки в общей на Рисунках 1.10, 1.11 представлены графики зависимости отношения технологической и общей осадки от расстояния между рассматриваемой маркой и «стеной в грунте».



Рисунок 1.10. - Доля технологической осадки в общей итоговой осадке в зависимости от расстояния до «стены в грунте»



Рисунок 1.11. - Доля технологической осадки в общей итоговой осадке в зависимости от расстояния до «стены в грунте»

Представленные данные наглядно подтверждают факт значимости технологических осадок, вызванных устройством траншейной «стены в грунте», которые, согласно данным мониторинга на двух рассмотренных выше объектах,

реализованных в условиях плотной городской застройки, составили до 80% от общих дополнительных осадок существующих зданий. При этом доля технологической осадки в общей тем больше, чем меньше расстояние между зданием и «стеной в грунте».

1.3 Защитные мероприятия

В случае, если по результатам геотехнического расчета дополнительные осадки фундаментов существующих зданий и сооружений превышают предельно допустимые значения, возникает необходимость проведения специальных защитных мероприятий с целью снижения негативного влияния на них нового строительства [64, 65, 89]. К таким мероприятиям относятся:

- конструктивные, направленные на изменение проектного решения строящегося сооружения;
- усиление конструкций существующих защищаемых зданий и сооружений, включая фундаменты, а также усиление или закрепление грунтов в их основании;
- устройство геотехнических барьеров, завес, экранов, расположенных между объектом нового строительства и защищаемым зданием или сооружением.

Конструктивные мероприятия направлены, прежде всего, на повышение жесткости ограждающей конструкции котлована с целью снижения ее деформативности, что достигается следующими способами:

- увеличением толщины «стены в грунте» или диаметра свай, устройством внутренних или наружных контрфорсов;
- повышением жесткости удерживающей системы за счет увеличения числа рядов анкеров, распорок, подкосов, применением технологии устройства подземного пространства по схеме «up-down» с заменой металлической распорной системы на железобетонные диски перекрытий.

Наряду с повышением жесткости ограждающей конструкции или применением технологии устройства подземного пространства по схеме «up-down» к конструктивным мероприятиям относится и изменение проектных решений возводимого здания, направленных на уменьшение нагрузки на основание или связанных с переходом на другой тип фундаментов.

Усиление конструкций существующих зданий направлено на снижение их чувствительности к дополнительным деформациям, вызванным новым строительством, которая зависит от категории технического состояния их конструкций и снижается вместе с ее повышением, а усиление фундаментов существующих зданий или грунтов в их основания приводит к уменьшению осадок.

Если конструктивными мероприятиями и усилением конструкций зданий и грунтов в их основании не удастся снизить осадки окружающей застройки до нормативных пределов или по различным причинам провести не удастся, прибегают к использованию других защитных мероприятий, к которым относятся геотехнические барьеры и разделительные стенки, расположенные между выемкой и защищаемым зданием или сооружением.

Геотехнические барьеры устраивают между ограждением котлована и защищаемым зданием в виде полей из буринъекционных свай, свай, выполненных с помощью технологии Jet-grouting или с применением бурсмесительного способа, а также путем инъекции под большим давлением твердеющего раствора (метод «Геокомпозит»).

Характерный пример использования метода «Геокомпозит» для создания геотехнического барьера рассмотрен ниже.

Проектируемый 6-ти этажный жилой дом с двухуровневой подземной автостоянкой расположен в ЦАО г. Москвы в условиях тесной городской застройки. Фундамент здания решен в виде монолитной железобетонной плиты толщиной 800 мм. Непосредственно под плитой залегают пески мелкие, средней плотности [35].

Котлован под здание имеет глубину 10,85 м и вскрывается под защитой ограждения, состоящего из буронабивных свай $\varnothing 800$ мм, длиной 18,0 м и металлической двухуровневой распорной системы, выполненной из труб с обвязочными поясами.

Определённая геотехническим расчётом в пространственной постановке зона влияния строительства запроектированного дома распространяется от контура котлована на расстояние до $\sim 32,2$ м. При этом условии в нее попадают два здания окружающей застройки (см. Рисунок 1.12):

– здание 1 - 5-ти этажный дом неправильной формы в плане, с подвалом под всей площадью. Здание имеет статус объекта культурного наследия. Фундаменты здания ленточные с глубиной заложения 4,10 м;

– здание 2 - 5-ти этажный жилой дом неправильной формы в плане, с подвалом под всей его площадью. Здание является образцом исторической городской застройки. Фундаменты здания ленточные под стенами и отдельно стоящие под колоннами. Глубина заложения фундаментов составляет 3,80...4,10 м.

В обоих случаях в основании фундаментов залегают пески мелкие, средней плотности, влажные.

Общее техническое состояние конструкций зданий по результатам проведенного обследования оценено, как «ограничено работоспособное» (III категория).

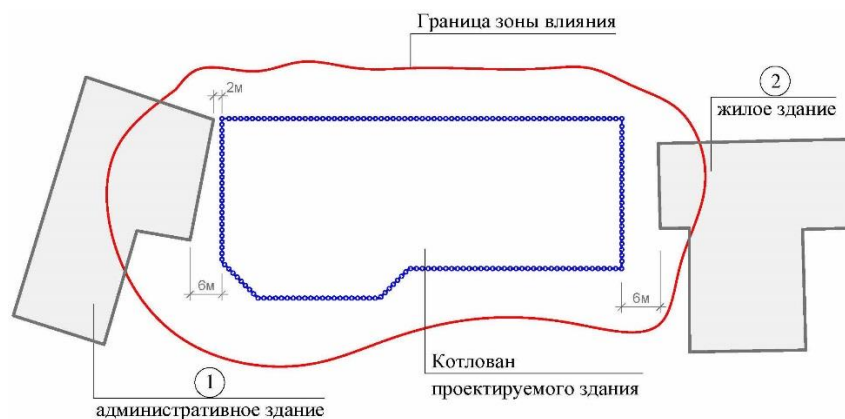


Рисунок 1.12. - Ситуационная схема расположения зданий и котлована

По результатам расчета прогнозируемые абсолютные и относительные дополнительные осадки рассматриваемых зданий превысили предельно допускаемые СП 22.13330.2011, что потребовало предусмотреть проведение до начала строительных работ на площадке мероприятий по снижению их осадок до нормативных значений. В качестве такого мероприятия было предусмотрено создание геотехнического барьера из массива укрепленного грунта между зданиями и котлованом. Закрепление массивов грунта осуществлялось с глубины 1,3...1,5 м от поверхности земли. Инъекторы располагались по сетке 2,0x1,7 м в шахматном порядке. Мощность укрепленного грунта составила 13,5 м.

Контроль физико-механических характеристик укрепленного грунта, а также формы, сплошности и размеров укрепленного массива осуществлялся статическим зондированием зон закрепления и лабораторных испытаний образцов грунта.

Достаточность предусмотренных в проектах мер по снижению дополнительных, вызванных новым строительством осадок рассматриваемых зданий до нормативных значений, была подтверждена геотехническим расчетом.

Разделительные стенки, по другому называемые отсечными экранами или отсечными стенками, выполняются из буронабивных, грунтоцементных или get-свай, а также металлических труб диаметром до 600 мм, расположенных с определенным шагом. Как и геотехнические барьеры разделительные стенки устраиваются между выемкой и защищаемым зданием.

Основным достоинством разделительных стенок является отсутствие непосредственного воздействия на фундаменты защищаемых зданий, а существенным недостатком – развитие осадок, вызванных технологией производства работ по их устройству. Так в [89] отмечается, что известны случаи, когда устройство защитной разделительной стенки вызывало

дополнительные осадки здания, значительно превышающие расчетные осадки, от которых эти мероприятия выполнялись.

В качестве защитного мероприятия в мировой практике применяется также хорошо зарекомендовавшая себя разделительная стенка из задавливаемого стального листа. Главным достоинством такой стенки является ее сплошность, которая препятствует суффозионному выносу частиц грунта из-под фундаментов защищаемого здания. В нашей стране широкому использованию такой стенки в качестве защитного мероприятия препятствует отсутствием эффективного оборудования для ее задавливания.

Перспективным на наш взгляд, является защитный экран, выполненный из разреженного ряда свай. Конструкция из разреженного ряда свай без забирки успешно применялась для крепления вертикальных откосов котлованов в тугопластичных суглинках при строительстве цехов на Карагандинском металлургическом комбинате в городе Темиртау (Рисунок 1.13).

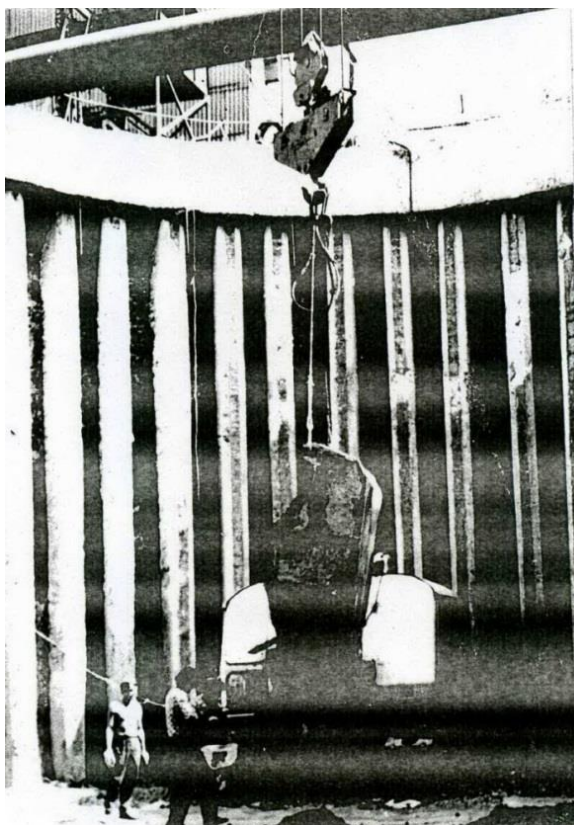


Рисунок 1.13. - Ограждение котлована из разреженного ряда свай

На основании проведенных экспериментов, в том числе и поляризационно-оптическим методом, Р.Ш. Адигамовым на кафедре Механики грунтов и геотехники МГСУ была разработана методика расчета такой свайной конструкции, позволяющая определять оптимальные расстояния между сваями из условия продавливания грунта между ними [1].

Применение свай в удерживающих конструкциях

В строительной практике сваи в удерживающих конструкциях, противодействующих горизонтальному смещению грунтовых масс, традиционно используются, в основном, в двух случаях:

- для укрепления откосов и склонов;
- в качестве ограждений вертикальных откосов котлованов.

Изучению взаимодействия грунта со сваями и свайными рядами на оползневых склонах посвящен целый ряд теоретических и экспериментальных работ А.А. Бартоломей [7-10], А.И. Билеуш [12-14], А.Н. Богомолов [15], А.С. Буслов [17], Л.К. Гинзбург [19, 20], А.Л. Готман [22, 23], Ф.Н. Деревенец [25-27], В.В. Знаменский [33-37], В.А. Ильичев [38], О.В. Карасев [41], Э.Я. Кильвандер [42], Л.С. Лapidус [45], С.И. Маций [50, 51], Е.Б. Морозов [54], Г.Д. Недря [55], Н.С. Никифорова [56], З.С. Орагвелидзе [57, 58], А.И. Полищук [61, 62], Д.А. Сапин [72], О.Г. Семенов [74], З.Г. Тер-Мартirosян [2], А.П. Хамов [87], К.Ш. Шадунц [88], О.А. Шулятьев [89], Adashi T. [90, 91], Ang E. [92], Ausilio E. [93], Bin-Chen B.H. [94], Horikoshi K. [96], Ito T. [97, 98], Lee S. H. [99], Poulos H.G. [102, 103], Randolph M. F. [104], Shmuelyan A. [105], Viggiani C. [106], Wang Y.-Z. [107], Winter H. [108], целью которых являлось изучение взаимодействия грунтов оползневого или удерживаемого массива со сваями на различных стадиях их совместной работы вплоть до момента продавливания грунта между сваями удерживающей конструкции, установление влияния свай и физико-механических характеристик грунтов на напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта около свайного пространства, определение давления

обтекания на одиночные сваи [48, 49, 55], а также величин критического оползневого давления из условия непродавливания грунта между ними.

В результате проведенных исследований были получены аналитические решения задачи продавливания грунта между сваями на основании теорий предельного равновесия [98], арочного эффекта [20] и теории пластичности [88].

Наряду с аналитическими и экспериментальными исследованиями изучение взаимодействия грунта со сваями и свайными рядами на оползневых склонах выполнялось и численными методами. Так Е.-С. Ang, J. E. Loehr, D. E. Smith [92] было выполнено моделирование взаимодействия грунта с одним рядом свай в упруго-пластической постановке численным методом, в результате которого была получена картина деформирования грунта околосовайного пространства в трехмерной постановке и внесены соответствующие поправки в аналитические расчеты. Отметим, что тестовые расчеты подтвердили корректность проведения исследований взаимодействия грунта оползневого склона со сваями методом численного моделирования.

Существенный вклад в изучение вопроса взаимодействия свай с оползневым массивом внесли работы Р.Ш.Адигамова [1], исследовавшего на моделях свай поляризационно-оптическим методом изменения полей напряжений и деформаций грунта в процессе увеличения оползневой нагрузки на сваи вплоть до ее предельной величины и закономерности ее изменения в зависимости от параметров свайного ряда и фактора времени.

Э.Я.Кильвандером и А.Г.Гагаркиным экспериментальным путем [42] с помощью тензомоделей проводилось исследование взаимодействия свайных фундаментов с грунтом в условиях их работы на оползневом склоне. Исследования проводились при различных уровнях оползневой нагрузки вплоть до критической, при которой происходит незатухающее перемещение грунта.

Большой объем исследований, направленных на получение наиболее достоверных данных о НДС грунтовых массивов, которые могут быть использованы для оценки необходимости их укрепления и расчета параметров

удерживающих свайных конструкций, был проведен численным методом Ф.Н.Деревенцом и С.И.Мацем [26, 51].

Исследования механизма взаимодействия грунта со сваями ряда производилось, как и в опытах Р.Ш.Адигамова посредством изучения изменения полей напряжений и деформаций грунта в процессе, увеличения оползневой нагрузки вплоть до ее предельной величины. Изучение характера и степени влияния каждого из параметров расчетной модели на взаимодействие грунта со сваями производилось в зависимости от расстояния между сваями в ряду и их диаметра. С этой целью был выполнен ряд численных экспериментов при разных значениях параметров, влияние которых изучается, и постоянных величинах остальных исходных данных. Оценка корректности разработанной расчетной модели была произведена посредством выполнения ряда тестовых расчетов.

В результате проведенных исследований был изучен механизм взаимодействия однорядных и многорядных свайных рядов с оползневым склоном и зависимость НДС грунтового массива склона от параметров удерживающей свайной конструкции и прочностных характеристик грунта, а также разработана расчетная конечно-элементная модель укрепленного склона как в упругой, так и в упруго-пластической постановке, реализованная в ПК PLAXIS [101].

Одним из основных вопросов, поиску на который были посвящены проведенные исследования взаимодействия свай удерживающей конструкции с оползающим массивом грунта, являлся вопрос о распределении оползневого давления по глубине. Предлагались различные эпюры давления грунта на сваи – от прямоугольных [16], треугольных и трапецеидальных [61, 62, 82] до криволинейных, подчиняющихся нелинейным зависимостям [45]. Некоторые авторы указывали на зависимость формы эпюры давления грунта на сваи от величины оползневой нагрузки [42]. В случае отсутствия специальных исследований рекомендуется принимать треугольную (гидростатическую) форму эпюры распределения оползневого давления по глубине [72].

А.С.Бусловым [17] разработан подход к определению оптимального количества свайных элементов противооползневого сооружения из условия полной стабилизации подвижек. Для этого получено уравнение движения оползня при наличии местных сопротивлений. Предложенные формулы определяют скорость движения массива при любом количестве свай, заглубленных в коренные породы.

В результате применения комбинированной модели, описывающей изменение напряжений в зоне влияния удерживающих элементов, А.И.Билеуш получил [13, 14] зависимости для определения деформаций и усилий в оползневом блоке. Это позволило разработать методику расчета противооползневых сооружений, учитывающую прочностные и деформационные свойства грунтов.

Обширные аналитические, экспериментальные и численные исследования взаимодействия свай с оползневым массивом позволили разработать методические рекомендации по расчету и проектированию свайных рядов на оползневых склонах, отраженные в справочных материалах и нормативных документах, однако условия работы свай на оползневом склоне существенно отличаются от работы свай геотехнического экрана как по действующим на него усилиям (по условиям нагружения), так и отсутствием, как правило, заделки в коренные грунты. Вопросы взаимодействия свай с вмещающим их грунтовым массивом без их заземления в коренные породы, как это имеет место при геотехнических экранах, до настоящего времени практически не изучались, что объясняет отсутствие соответствующей методики их расчета, что ставит вопрос о необходимости проведения таких исследований и разработки соответствующей методики расчета.

Выводы по первой главе

1. Важной задачей при строительстве в стесненных городских условиях является снижение осадок зданий окружающей застройки, вызванных выполнением строительных работ, в частности устройством ограждения котлована и его откопки.
2. Одной из наиболее часто используемых в практике строительства конструкций ограждений котлованов при возведении зданий и сооружений в условиях стесненной городской застройки в сложных инженерно-геологических условиях и обводненных грунтах является монолитная железобетонная «стена в грунте» траншейного типа, одним из недостатков которой является существенное негативное влияние ее устройства на окружающую застройку. По имеющимся данным дополнительные осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством монолитной «стены в грунте», могут составлять до 80% от общей осадки, вызванной возведением нового объекта.
3. В современной практике оценка влияния нового строительства на окружающую застройку осуществляется, как правило, при помощи численного моделирования в пространственной или плоской постановке с применением различных специализированных программных комплексов, но при этом, в большинстве случаев, влияние устройства котлована оценивается в целом, без выделения в отдельную стадию расчета устройство его ограждения, что отрицательно сказывается на точности выполнения геотехнического прогноза и не позволяет правильно определить необходимость проведения защитных мероприятий и их рациональный выбор.
4. Современное состояние строительной науки, конструкторской и технологической базы дают широкий набор средств для осуществления мероприятий по снижению осадок окружающей застройки, вызванных строительством нового объекта и, в частности, устройством монолитной

железобетонной «стены в грунте». Одним из эффективных методов снижения осадок окружающей застройки является создание между котлованом и защищаемым зданием геотехнических барьеров или защитных экранов, выполненных по различным технологиям.

5. Одним из возможных вариантов защитного экрана является разреженный ряд свай, широкое практическое применение которого сдерживается отсутствием исследований его работы и методики расчета.

Решению этих вопросов и посвящена настоящая диссертация.

На основании изложенного в п.п. 1-5 выводов сформулированы представленные во Введении цель и задачи настоящей диссертационной работы.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА ИЗ РАЗРЕЖЕННОГО РЯДА СВАЙ

В настоящей диссертационной работе исследование закономерностей влияния применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай на осадки зданий окружающей застройки, вызванных устройством монолитной железобетонной «стены в грунте», выполнялось численным и аналитическим методами.

Численное моделирование проводилось методом конечных элементов, многолетнее применение которого на практике показало, что этот метод, являясь универсальным расчетным инструментом, позволяет не только выполнять расчеты различных конструкций, в том числе и в области геотехники, с достаточной для практических целей точностью, но и выполнять исследования их работы.

Основы метода конечных элементов были разработаны R. Courant [95], его дальнейшим развитием занимались многие ученые и специалисты в разных странах, существенный вклад в развитие практического применения этого метода для решения геотехнических задач внесли работы Р. Галлагера [18], О. Зенкевича, Р. Тейлора и К. Моргана [30, 31, 109], В.Н. Парамонова [59], А.Б. Пономарева [63], Г. Стренга и Дж. Фикса [80], Ю.К. Зарецкого [29], А.Б. Фадеева и А.Л. Прегера [85, 86], С.Б.Ухова [84] и др.

Выбранный метод исследования позволил наглядно отобразить работу системы «основание - геотехнический экран - фундамент» при различных сочетаниях ее параметров и показать динамику развития и распределения деформаций и напряжений в любой ее точке, а также оценить эффективность применения тех или иных конструктивных решений, с выявлением наиболее экономичного варианта.

Для проверки зависимостей, полученных численными методами, в данной главе также получены аналитические решения, связывающие параметры траншеи и геотехнического экрана с осадкой рядом расположенных зданий.

2.1 Численное моделирование системы «траншея под «стену в грунте»- геотехнический экран-фундамент существующего здания»

2.1.1 Основные положения

Целью проведения численных расчетов являлось оценка влияния местоположения, параметров и технологии изготовления геотехнического экрана из разреженного ряда свай на снижение осадок окружающей застройки, вызванных вскрытием траншеи под устройство монолитной железобетонной «стены в грунте». Математическое моделирование процессов взаимодействия свай защитного экрана с окружающим грунтовым массивом выполнялось методом конечных элементов в пространственной постановке с использованием программного комплекса MIDAS GTS NX.

Для моделирования объемных тел сплошной среды использовались твердотельные элементы (Solid Elements) с 4/5/6/8/10/13/15/20 узлами, пирамидальной или призматической формы (Рисунок 2.1).

Для учета взаимодействия грунта с конструкциями свай использовались плоские контактные элементы интерфейса (Interface Elements) треугольной (6 узлов, 13 узлов) или прямоугольной формы (8 узлов, 16 узлов), отображенные на Рисунке 2.2.

При моделировании расчетной схемы назначались ограничения перемещений в горизонтальном направлении (по осям X и Y) на боковых вертикальных гранях расчетной области, а также накладывался запрет на перемещения по всем направлениям на ее нижней горизонтальной грани.

Поведение грунтового массива моделировалось с использованием упругопластической модифицированной модели Мора-Кулона (Modified Mohr – Coulomb), основные прочностные и деформационные параметры в которой совпадают с параметрами, принятыми в отечественной практике изысканий и соответствуют действующим нормативным документам.

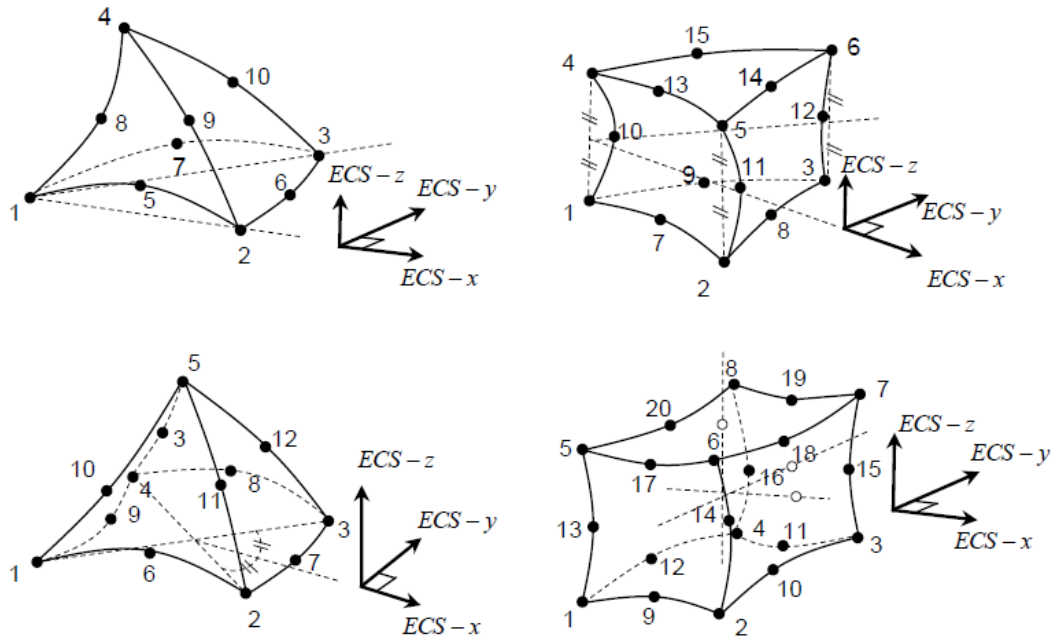


Рисунок 2.1. - Объемные твердотельные элементы

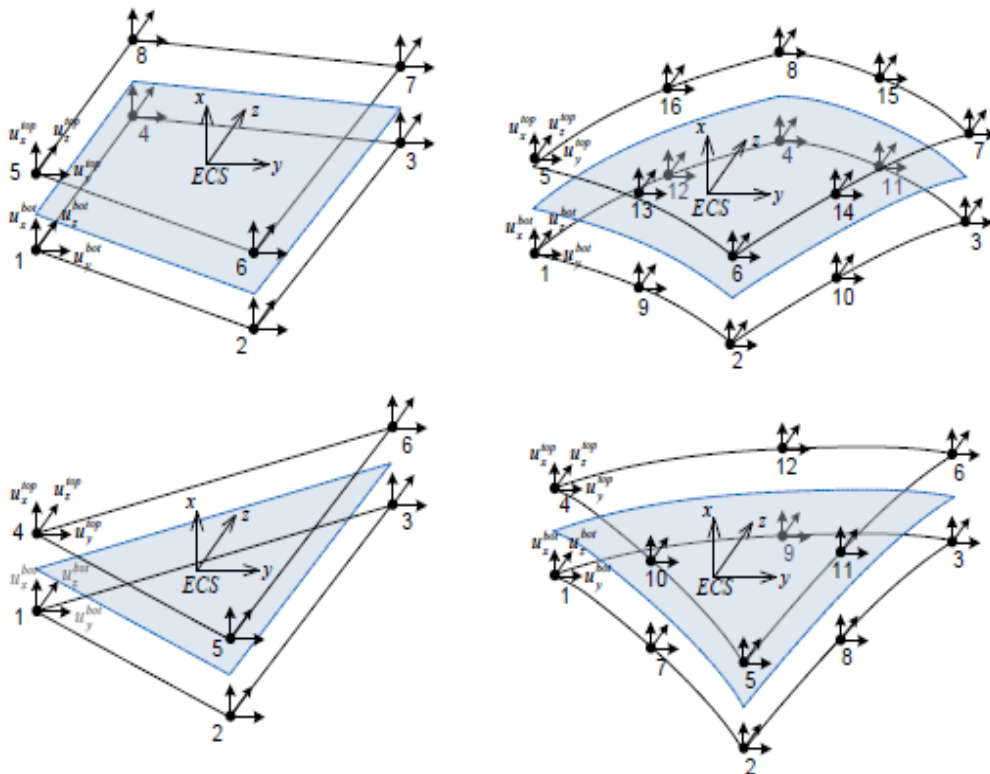


Рисунок 2.2. - Плоские контактные элементы

Модифицированная модель Мора-Кулона является расширенной версией модели Мора-Кулона, и представляет собой специализированную модель для

представления песков и пылеватых грунтов. В применяемой модели, в отличие от модели Мора-Кулона, напряженное состояние упругой области описывается гиперболической функцией с изменяемыми модулями деформации для траекторий первичного и вторичного нагружения.

Модифицированная модель Мора-Кулона предназначена для представления сложных моделей материалов, которые сочетают в себе нелинейно-упругое и пластическое поведение.

2.1.2 Исходные данные

Принятые в расчетах значения физико-механических характеристик грунтов приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Физико-механические характеристики грунтов

Характеристики грунта	Условные обозначения	Единицы измерения	Величина
Песчаный грунт			
Модуль деформации	E	МПа	20
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	60
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,3
Удельное сцепление	C	кПа	0,0
Угол внутреннего трения	φ	град.	30
Удельный вес	γ	кН/м ³	18
Связанный грунт			
Модуль деформации	E	МПа	20
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	60
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,35
Удельное сцепление	C	кПа	20,0
Угол внутреннего трения	φ	град.	18
Удельный вес	γ	кН/м ³	18

Для моделирования работы материалов свай и конструкций фундамента здания использовалась линейно-упругая модель с характеристиками, приведенными в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Физико-механические характеристики материалов конструкций

Характеристики материала (железобетон)	Условные обозначения	Единицы измерения	Величина
Модуль упругости	E	МПа	29000
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,2
Объемный вес	γ	кН/м ³	24,0

Параметры фундаментов были приняты на основе обобщения данных результатов обследований зданий исторической застройки в различных районах г. Москвы. В большинстве случаев обследуемые здания были построены по жесткой стеновой схеме, фундаменты решены в виде ленточных с глубиной заложения 1,5-3,0 м, с шириной подошвы, изменяющейся в диапазоне от 1 до 2 м, при этом среднее давление под подошвой фундаментов обычно находилось в интервале от 150 до 250 кПа. Таким образом, при моделировании рассматривались фундаменты глубиной заложения 1,5 м, с шириной подошвы 1,5 м, со средним давлением под подошвой фундамента $P=200$ кПа.

Параметры траншеи были приняты по результатам анализа данных ранее принимавшихся и впоследствии реализованных проектных решений по устройству «стены в грунте» траншейного типа на различных объектах г. Москвы, а также исследований, проведенных Шулятьевым О.А. и др., отраженных в работе [89]. Параметры траншеи варьировались в следующих пределах: глубина изменялась от 20 до 30 м, длина захватки от 1 до 6 м. Удаленность траншеи от фундамента здания принималась в диапазоне от 2 до 6 м.

Ниже приведены результаты выполненных расчетов и их анализ.

2.1.3 Результаты численного моделирования и их анализ

Эффективность применения защитного экрана из разреженного ряда свай для снижения осадок зданий окружающей застройки, вызванных устройством траншеи под монолитную железобетонную «стену в грунте», и ее зависимость от различных факторов устанавливалась путем сравнения значений осадок, полученных расчетом с учетом работы защитного экрана и без ее учета.

Дополнительно были выполнены расчеты, позволяющие оценить влияние технологии устройства и самого экрана на развитие осадок защищаемых им зданий.

Расчет осадок здания при разработке траншеи под «стену в грунте» без применения защитного экрана

Расчеты дополнительных осадок здания, вызванных устройством «стены в грунте» траншейного типа, выполнялись для следующих изменяющихся параметров системы:

- размеров траншеи (глубина H_{tr} , длина L_{tr});
- удаленности траншеи от здания L_0 ;
- расположения траншеи относительно ленточного фундамента здания - по его центру (расчетная схема 1) или у его края (расчетная схема 2).

Расчетные схемы 1, 2 показаны на Рисунке 2.3, 2.4.

Конечно-элементные модели расчетных схем имели габариты 16x24x42 м и включали в себя грунтовый массив, ленточный фундамент длиной 12 м и траншею ограниченной длины.

Расчеты выполнялись в пространственной постановке.

В первую очередь был рассмотрен вопрос о влиянии расположения траншеи относительно ленточного фундамента здания (далее – местоположение траншеи) и выбора рациональных размеров габаритов конечно-элементных моделей расчетных схем, позволяющих существенно сократить объем дальнейших вычислений без ущерба для их точности.

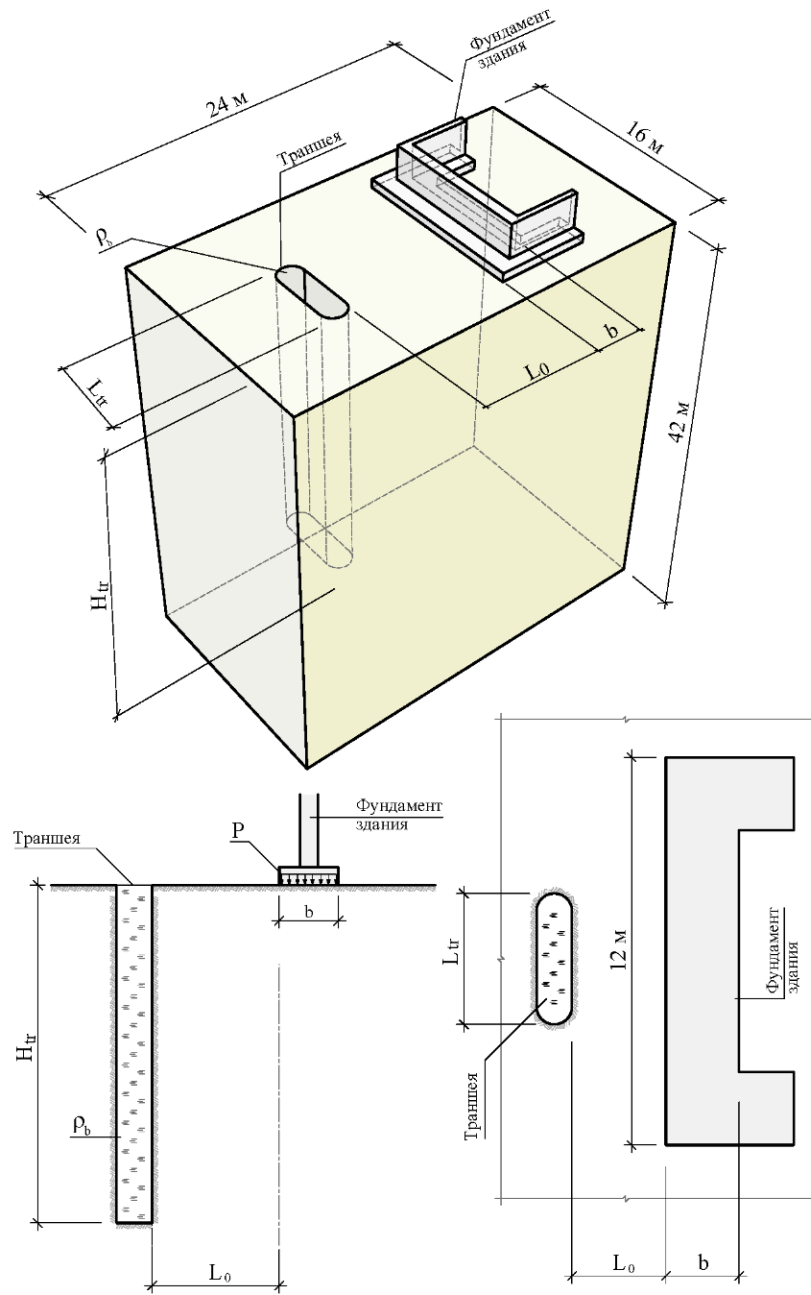


Рисунок 2.3. - Расчетная схема 1

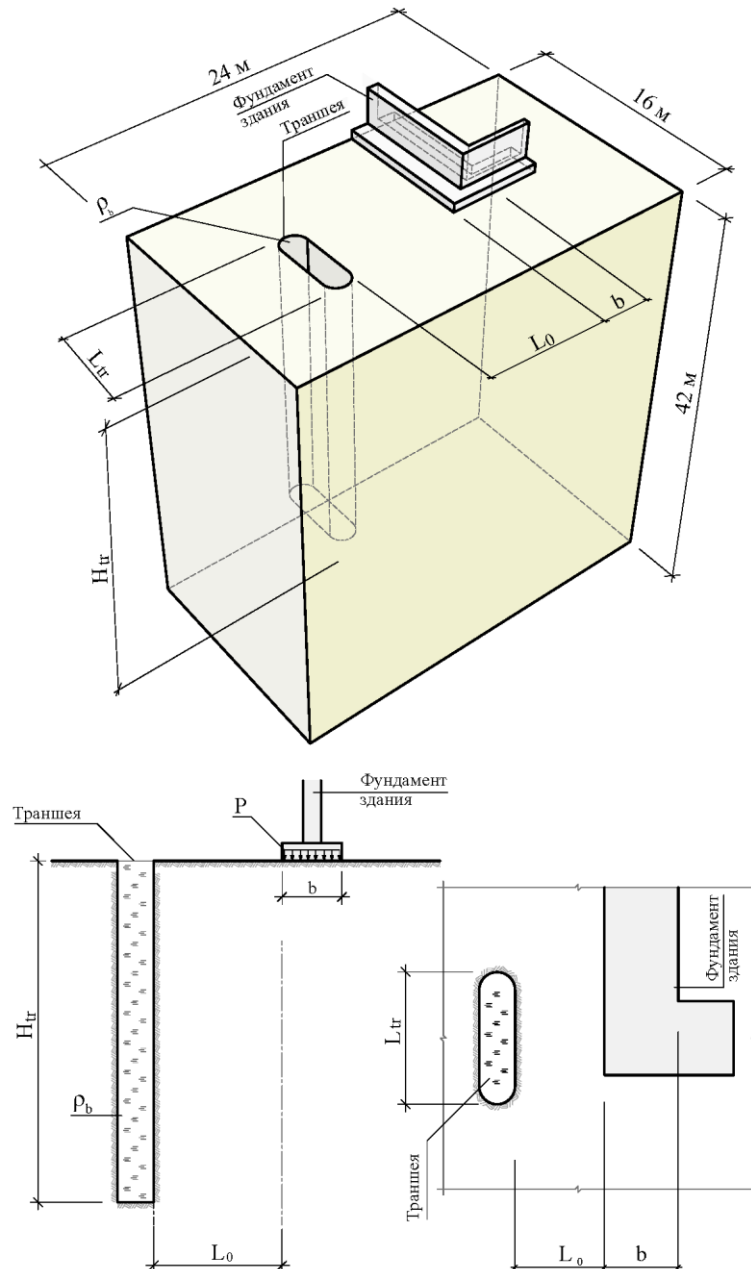


Рисунок 2.4. - Расчетная схема 2

Расчет выполнялся поэтапно. На первом этапе создавалось начальное природное НДС грунтового массива. На втором этапе на грунт передавалась эксплуатационная нагрузка в виде среднего давления под подошвой фундамента $P=200$ кПа и обнулялись ранее полученные деформации. Далее моделировалась разработка траншеи путем удаления из расчетной модели части объемных конечных элементов, при этом наличие бентонитового раствора учитывалось в

виде пропорционально возрастающего с глубиной давления на стенки траншеи и равномерно-распределенной нагрузки на ее дно. Удельный вес бентонитового раствора принимался равным $\rho_b = 11,7 \text{ кН/м}^3$.

Пример изополей горизонтальных (по оси Y) и вертикальных (по оси Z) деформаций при разработке траншеи без применения защитного экрана по схеме 1 приведены на Рисунке 2.5.

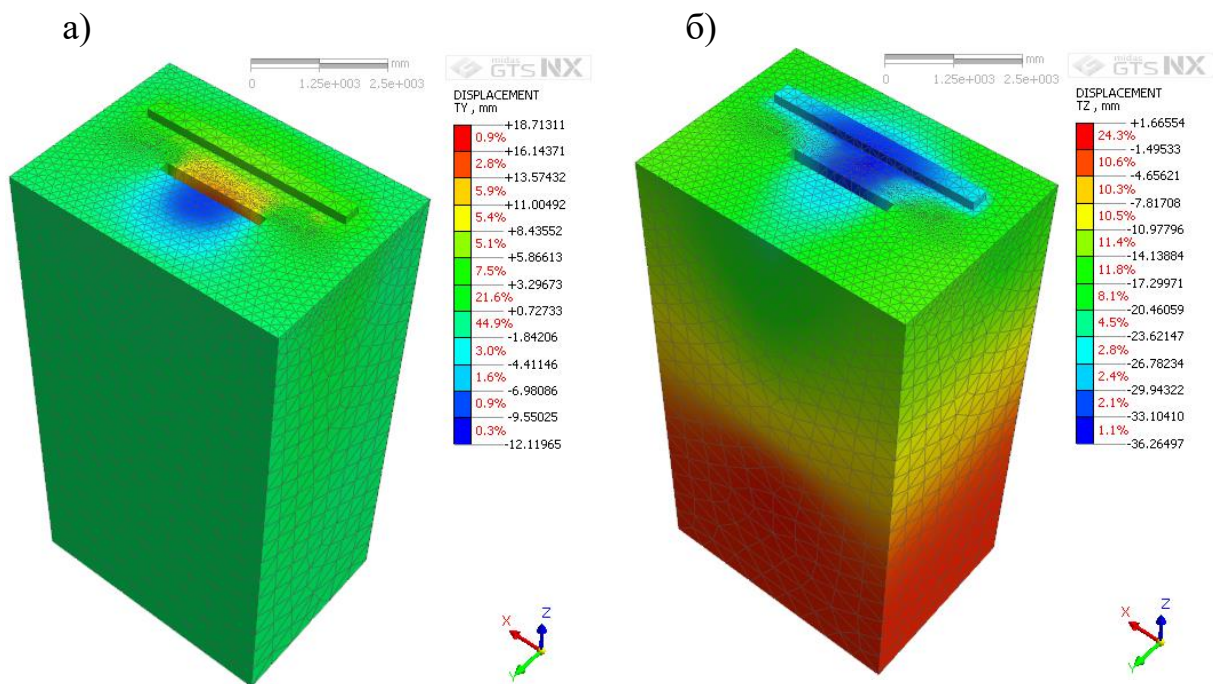


Рисунок 2.5. - Результаты расчета при разработке траншеи без применения отсечного экрана (расчетная схема 1):
а) изополя деформаций по оси Y; б) изополя деформаций по оси Z

Результаты расчетов показали, что дополнительные осадки здания, вызванные разработкой траншеи, расположенной относительно фундамента по центру, существенно ниже, чем в случае ее расположения у края фундамента.

На Рисунке 2.6 приведены графики зависимости изменения осадки фундамента от длины траншеи для двух рассмотренных схем. Графики показывают, что с увеличением длины траншеи интенсивность изменения осадки возрастает. Также отмечено, что разность осадок зависит от

местоположения траншеи и увеличивается с увеличением длины разрабатываемой захватки. При длине захватки 6 м разность осадок достигает максимального значения, при длине захватки 3 м она незначительна и при длине захватки 2 м – практически отсутствует.

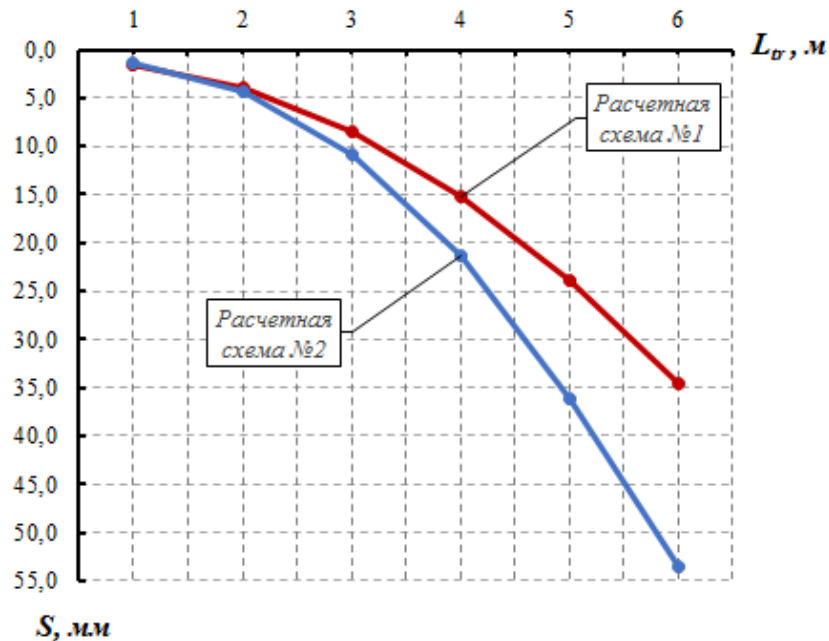


Рисунок 2.6. - График зависимости $S=f(L_{tr})$ при $L_0=3$ м, $H_{tr}=25$ м, $E=18$ МПа

В выполненных расчетах конечно-элементные модели имели, как указывалось выше, габариты 16х24х42 м, что потребовало применения большого количества конечных элементов (порядка 150 000 узлов конечных элементов), что существенно замедляло и затрудняло расчет. В связи с этим перед проведением дальнейших расчетов была рассмотрена схема 3 с уменьшенными габаритами конечно-элементной модели, которые составляли 3х24х42 м (см. Рисунок 2.7).

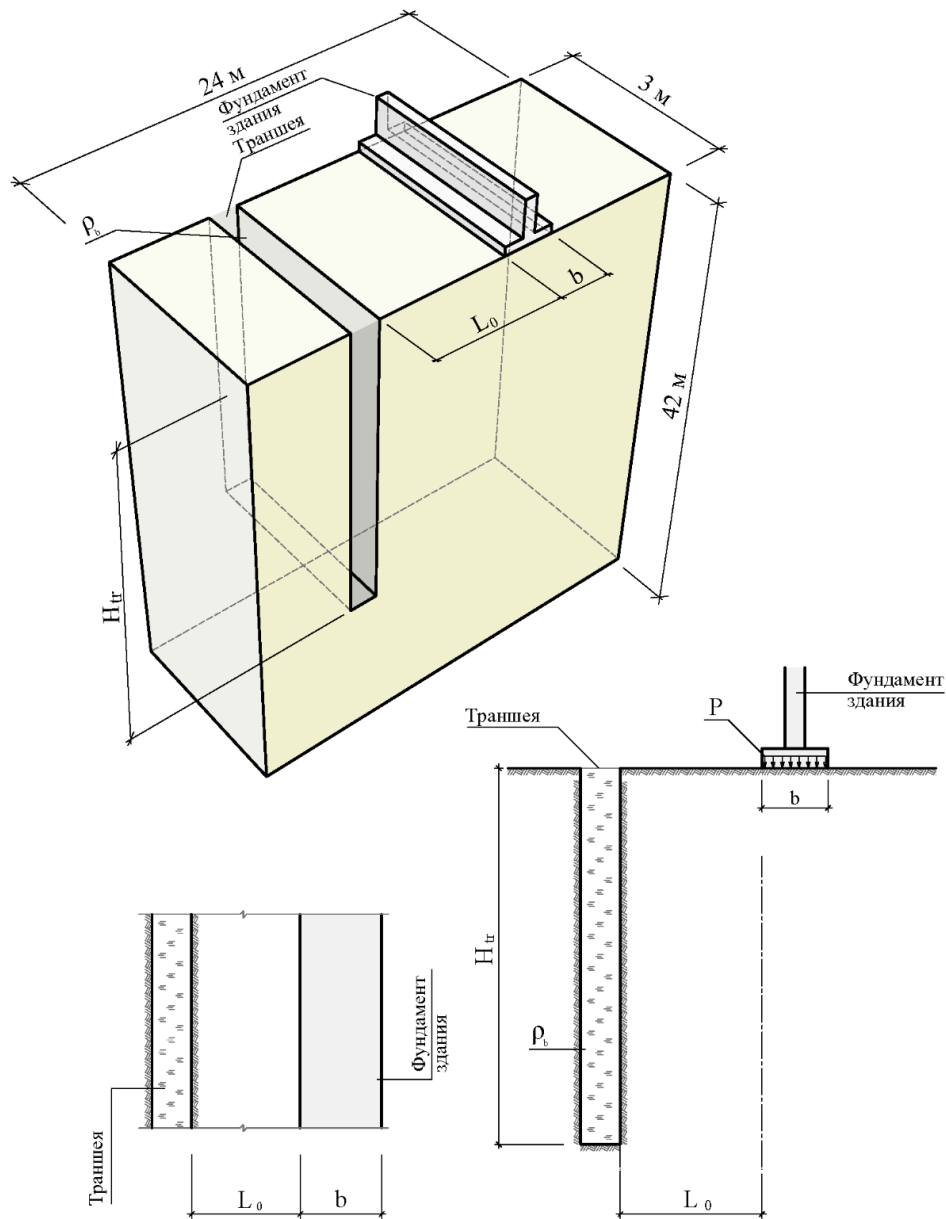


Рисунок 2.7. - Расчетная схема 3

В отличие от схем 1, 2 в рассматриваемой расчетной схеме 3 фундамент существующего здания и разрабатываемая траншея не имели конечной длины и обрезались на границах расчетной области. Предложенная расчетная схема не учитывает влияние длины траншеи, но из-за небольших габаритов позволяет существенно упростить и ускорить расчет и провести численные исследования в расширенном диапазоне изменения переменных характеристик.

Оценка возможности применения расчетной схемы 3 для проведения дальнейших численных исследований проводилась на основе сопоставления результатов расчета осадок фундамента, определенных в соответствии со схемой 2 при максимальной длине траншеи $L_{tr} = 6$ м.

Пример изополей горизонтальных (по оси Y) и вертикальных (по оси Z) деформаций фундамента здания, вызванных разработкой траншеи при моделировании по расчетной схеме 3 приведены на Рисунке 2.8.

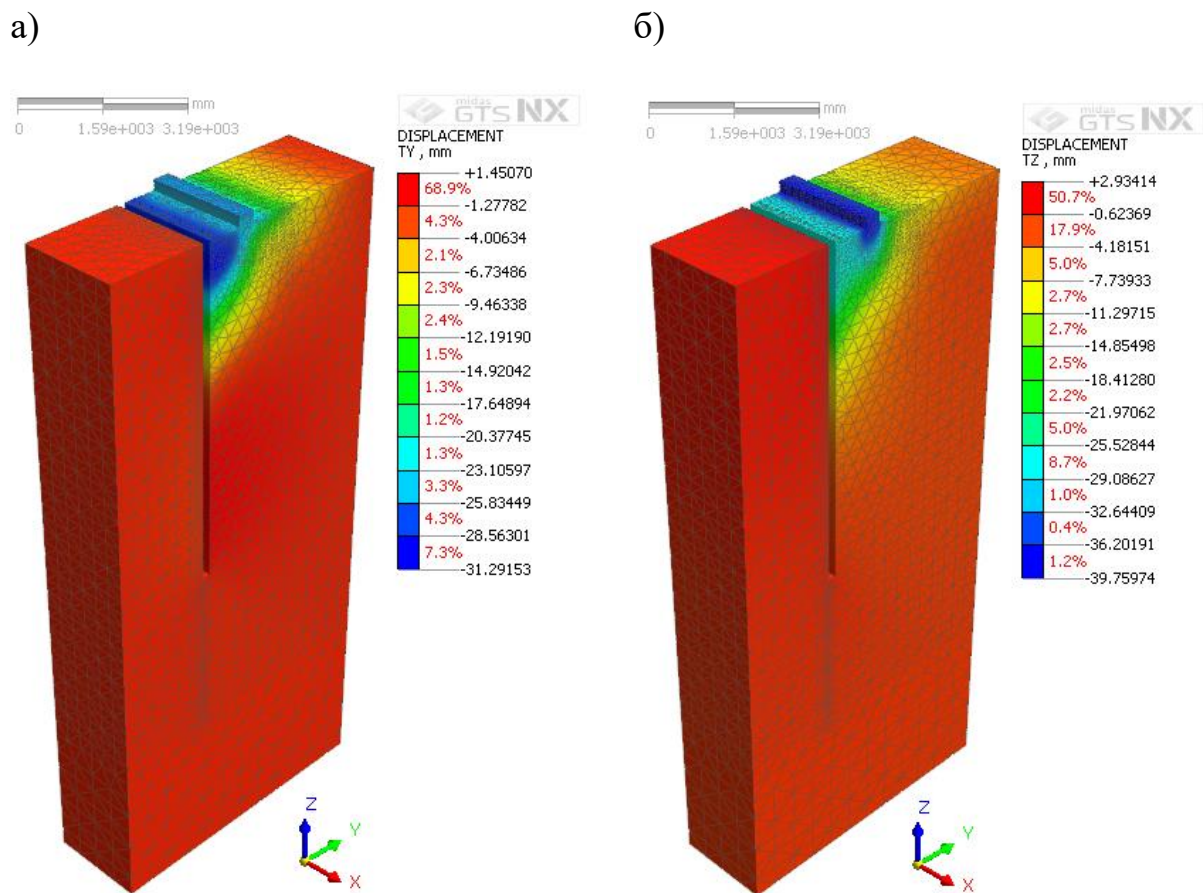


Рисунок 2.8. - Результаты расчета при разработке траншеи без применения защитного экрана (расчетная схема 3):

а) изополя деформаций по оси Y; б) изополя деформаций по оси Z

Графики изменения осадки фундамента в зависимости от глубины траншеи и ее расстояния от здания для расчетных схем 2 и 3 приведены на Рисунке 2.9, 2.10.

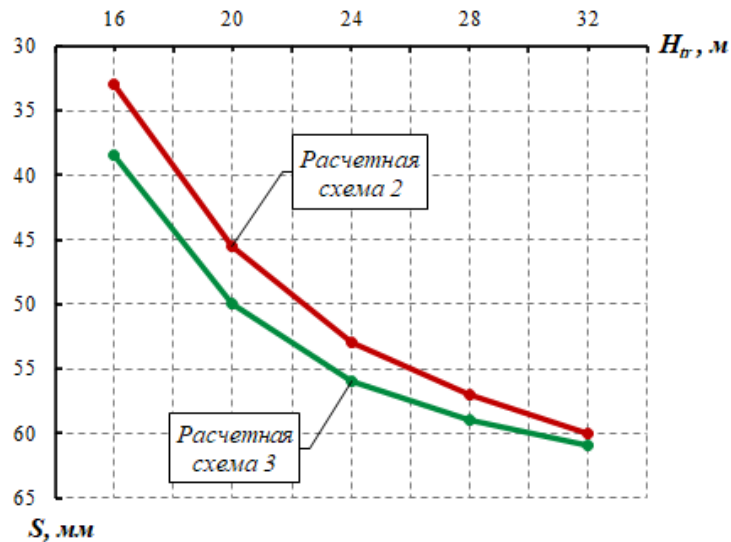


Рисунок 2.9. - График зависимости $S=f(H_{tr})$ при $L_0=3$ м, $E=18$ МПа

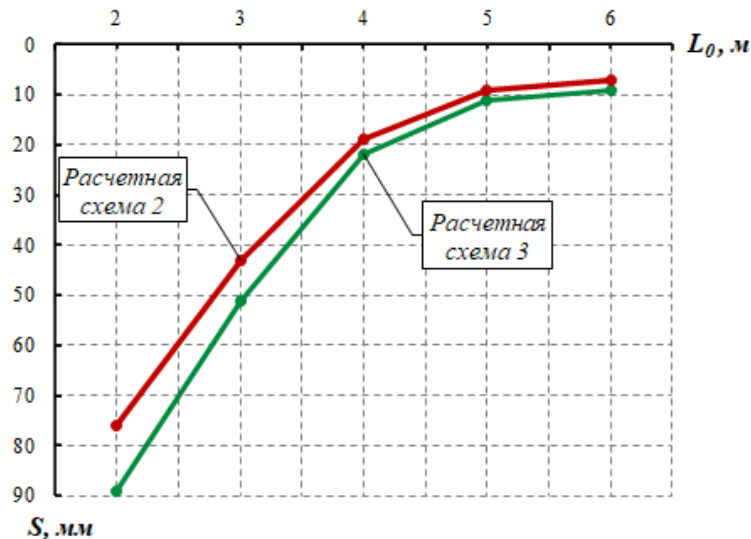


Рисунок 2.10. - График зависимости $S=f(L_0)$ при $H_{tr}=25$ м, $E=18$ МПа

Из графиков видно, что с увеличением глубины траншеи увеличивается дополнительная осадка фундамента, при этом интенсивность изменения осадки снижается по мере увеличения глубины траншеи. При увеличении расстояния между траншей и фундаментом здания дополнительная осадка уменьшается. Наибольшая интенсивность изменения осадки наблюдается по мере приближения траншеи к фундаменту здания, при отдалении траншеи от здания более чем на 5 м влияние разработки траншеи на дополнительные осадки существенно снижается.

Сопоставление величин дополнительных осадок, полученных при использовании расчетной схемы 2, в которой участок траншеи располагался у края фундамента, и альтернативной расчетной схемы 3, фундамент и траншея в которой были ограничены размерами расчетной области, показало, что в рассматриваемом диапазоне изменения переменных величин ($H_{tr} = 16...32$ м, $L_0 = 2...6$ м) они отличаются в пределах от 2 до 15%, что для задач исследовательского характера, где основным является не получение конкретных значений, а установление взаимосвязи между параметрами рассматриваемой системы и ее отклик на их изменения, допустимо. На основании этого проведение дальнейших численных исследований эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай для защиты от развития осадок зданий, вызванных откопкой траншеи под «стену в грунте», служащую ограждением котлована нового строительства, выполнено в соответствии с пространственной моделью по схеме 3 при широком диапазоне изменения различных факторов, учитывающих параметры конструкции геотехнического экрана, параметры траншеи и ее удаленность от здания, а также характеристики грунтового массива.

По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Изложенные выше результаты численных расчетов показали возможность использования ПК MIDAS GTS NX для исследования влияния устройства ограждения котлована методом «стена в грунте» на осадки зданий и сооружений окружающей застройки и изучения зависимости этого влияния от различных факторов, к которым относятся глубина траншеи, ее расстояние до существующего здания, местоположение захватки при вскрытии траншеи под «стену в грунте» и грунтовые условия.

2. Результаты расчетов не противоречат данным опубликованных исследований по рассматриваемой тематике, в частности, представленным в

работах Д.А. Сапина [71, 72], и позволили обосновать выбор модели для проведения дальнейших исследований, результаты которых изложены ниже.

Расчеты осадок здания при разработке траншеи под «стену в грунте» с применением защитного экрана

При расчете осадок здания при разработке траншеи под «стену в грунте» с применением защитного экрана размеры расчетной области, параметры траншеи и ее расположение относительно фундамента приняты в соответствии с моделью расчетной схемы 3 (см. Рисунок 2.11).

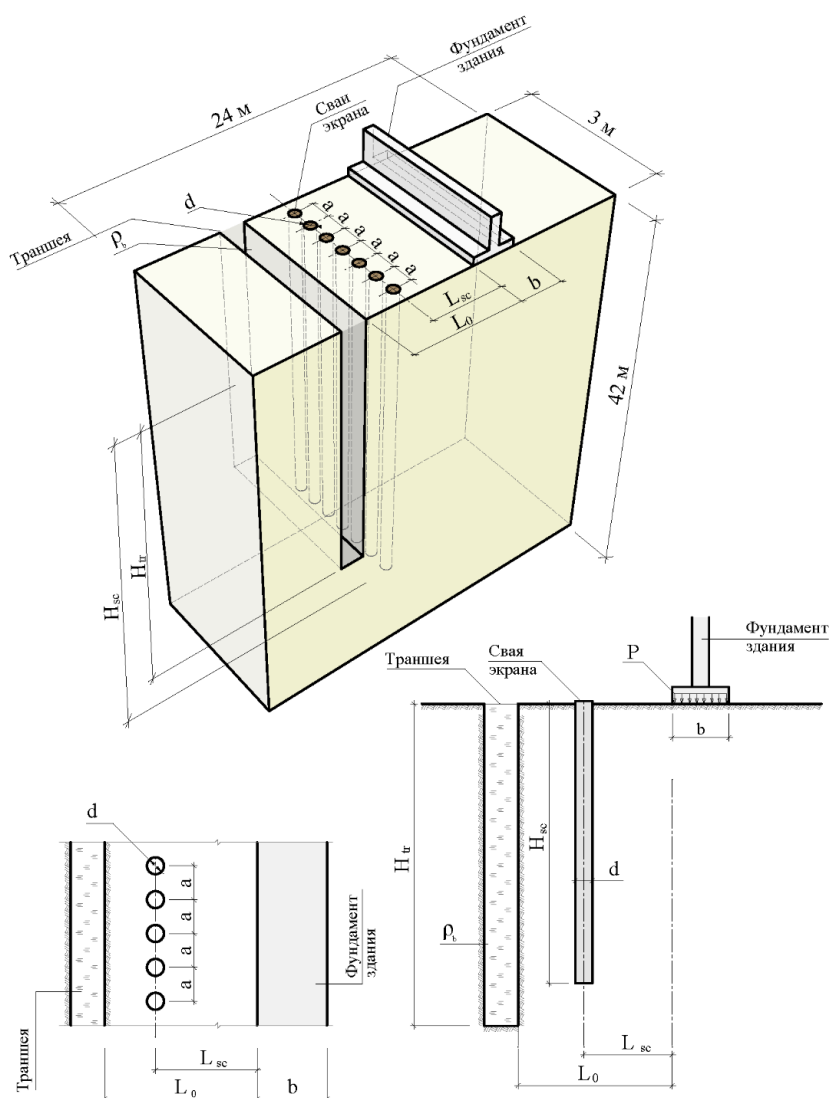


Рисунок 2.11. - Расчетная схема к задаче о влиянии применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай, на осадки рядом расположенного здания, вызванные разработкой траншеи

Расчет выполнялся поэтапно. На первом этапе создавалось начальное природное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, на втором этапе к фундаменту прикладывалась эксплуатационная нагрузка и обнулялись ранее полученные деформации, на третьем этапе устраивались сваи экрана, при этом предварительно моделировались два варианта технологии устройства свай, в одном из которых предполагалось предварительное бурение скважины и заполнение ее бентонитовым раствором с последующим устройством тела сваи, а в другом – погружение металлической сваи в грунт путем завинчивания. На заключительном этапе моделировалась разработка траншеи.

Устройство скважин под буронабивную скважину моделировалось путем извлечения из конечно-элементной сетки грунтового элемента цилиндрического объема, совпадающего по своим габаритам с телом сваи. Далее к стенкам и дну скважин прикладывалась распределенная нагрузка, имитирующая действие глинистого раствора с удельным весом $\rho_b = 11,7 \text{ кН/м}^3$.

Диаметр, глубина и шаг скважин соответствовали конструктивным параметрам защитной свайной конструкции, принятой в рассматриваемом расчетном случае. Расчетная схема этапа работ по устройству буровых свай длиной H_{sc} , удаленных на расстояние L_{sc} от фундаментов здания, приведена на Рисунке 2.12.

Защитный экран моделировался с изменяющимися параметрами его конструкции, к которым относились длина свай H_{sc} , диаметр свай d , относительное осевое расстояние между ними a/d , где a – осевое расстояние между сваями ряда, и расположения относительно фундамента здания, выраженное через отношение L_{sc}/L_0 , где L_0 – расстояние между фундаментом здания и траншеей. Изменялась также глубина траншеи H_{tr} и относительное расстояние от траншеи до фундамента существующего здания H_{tr}/L_0 .

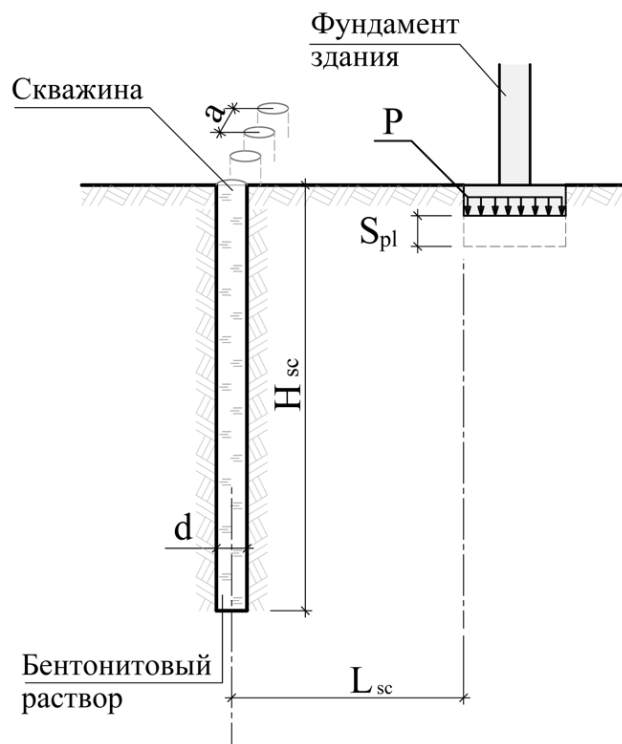


Рисунок 2.12. - Расчетная схема этапа работ по устройству буровых свай

Указанные параметры свайной конструкции изменялись в следующих пределах:

- диаметр свай d – 200...600 мм;
- относительное осевое расстояние между сваями a/d – 2...4;
- длина свай экрана H_{sc} – 16...36 м;
- относительное расстояние L_{sc}/L_0 – 0,25...0,75.

Глубина траншеи варьировалась в пределах H_{tr} – 20...30 м, отношение H_{tr}/L_0 – 5...10.

Характерные изополя деформаций в вертикальном и горизонтальном направлениях представлены на Рисунке 2.13.

Анализ результатов выполненных расчетов

Сопоставление результатов выполненных расчетов показало, что применение экрана из разреженного ряда свай приводит к снижению осадок защищаемого здания, вызванных вскрытием траншеи под «стену в грунте», что

видно из приведенных на Рисунке 2.14 характерных графиков зависимости прогнозируемых осадок здания от глубины траншеи.

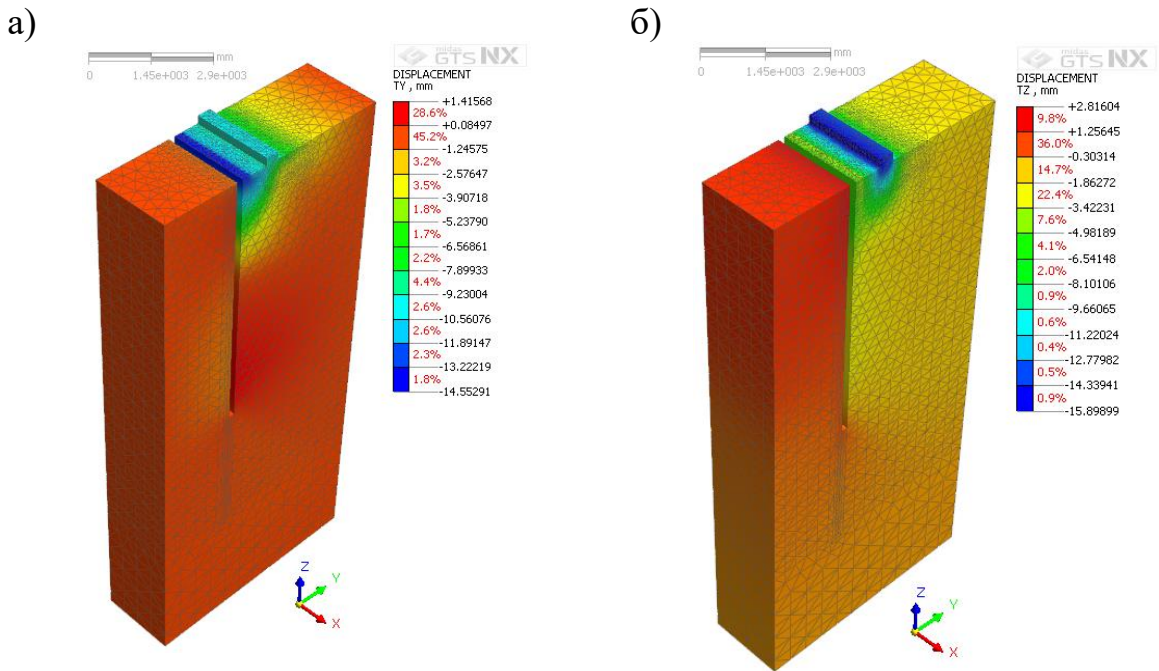


Рисунок 2.13. - Результаты расчета при разработке траншеи под защитой защитного экрана:

а) изополя деформаций по оси Y; б) изополя деформаций по оси Z

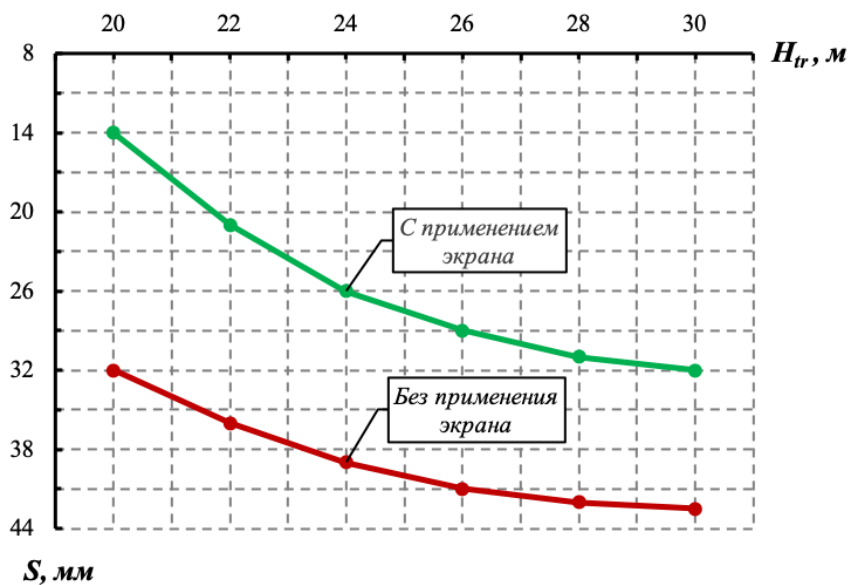


Рисунок 2.14. - График зависимости $S=f(H_{tr})$ при $L_{sc}=3$ м, $L_{sc}/L_0=0,5$, $H_{sc}/H_{tr}=1,0$, $E=15$ МПа

Согласно приведенным графикам, устройство геотехнического экрана из разреженного ряда свай снижает прогнозируемую осадку защищаемого здания, расположенного рядом с котлованом, при устройстве его ограждения в виде монолитной «стены в грунте» траншейного типа, приблизительно на 50%.

Анализ полученных результатов расчетов осадок, вызванных устройством «стены в грунте» траншейного типа при применении защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай, выполненных с использованием различных технологий, предусматривающих погружение свай в предварительно пробуренные скважины или погружение свай в грунт путем завинчивания, показал, что в случае устройства отсечного экрана из свай, изготовленных по технологии, связанной с устройством скважины под защитой ее стенок тиксотропным глинистым раствором, величины дополнительных осадок здания выше значений, полученных при использовании экрана из завинчиваемых свай, что видно из графиков на Рисунке 2.15.

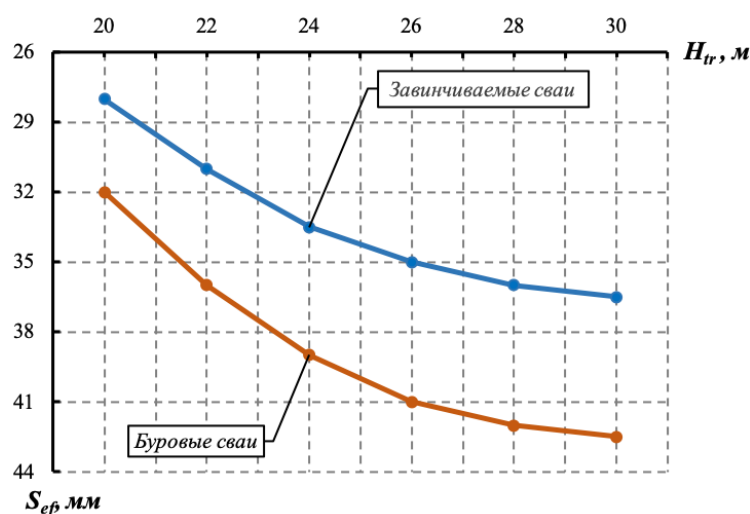


Рисунок 2.15. - График зависимости $S_{эф}=f(H_{tr})$ при $L_{sc}=3$ м, $L_{sc}/L_0=0,5$, $H_{sc}/H_{tr}=1,0$, $E=15$ МПа

Для оценки степени влияния технологии изготовления свай экрана на его защитные свойства было произведено сопоставление результатов расчета дополнительных осадок фундамента, вызванных разработкой «стены в грунте» траншейного типа, под защитой отсечного экрана из буровых и завинчиваемых свай при различных параметрах его конструкции (диаметр, шаг и длина свай).

На Рисунке 2.16, 2.17 показаны графики зависимости отношения $S_{efз}/S_{efб}$, где $S_{efз}$ – дополнительная осадка фундамента, вызванная разработкой траншеи под защитой геотехнического экрана из завинчиваемых свай; $S_{efб}$ – дополнительная осадка фундамента, вызванная разработкой траншеи под защитой геотехнического экрана из буровых свай.

Графики на Рисунке 2.16 показывают, что отношение $S_{efз}/S_{efб}$ уменьшается при увеличении диаметра и длины свай геотехнического экрана и уменьшении их шага.

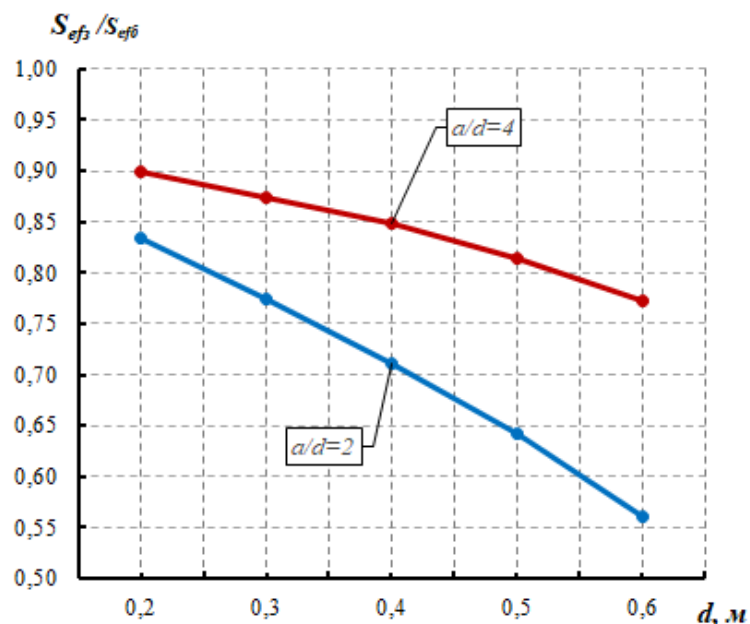


Рисунок 2.16. - График зависимости $S_{efз}/S_{efб} = f(d)$ при $L_{sc}=3$ м, $L_{sc}/L_0=0,5$, $H_{sc}=20$ м, $H_{tr}=20$ м, $E=15$ МПа

Из графиков на Рисунке 2.17 видно, что интенсивность изменения отношения $S_{efз}/S_{efб}$ увеличивается при снижении шага свай и увеличении их диаметра и наоборот, уменьшение диаметра свай и увеличение расстояния между ними снижает степень влияния технологии изготовления свай экрана на его защитные свойства.

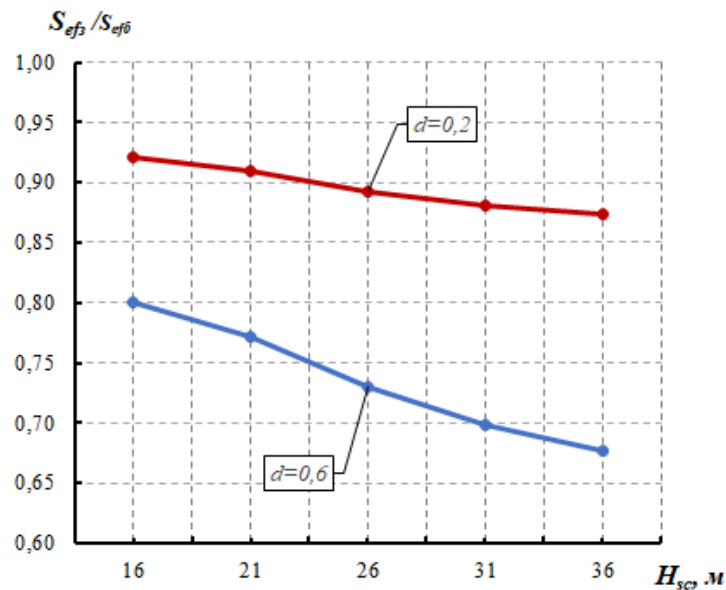


Рисунок 2.17. - График зависимости $S_{efз}/S_{efб} = f(H_{sc})$ при $L_{sc}=3$ м, $L_{sc}/L_0=0,5$, $H_{tr}=25$ м, $E=15$ МПа

Выделение моделирования устройства свай в отдельный этап позволило определить зависимости изменения осадки, вызванной устройством геотехнического экрана, от его местоположения и параметров.

Анализ полученных данных показал следующее:

– осадка здания, вызванная устройством разреженного ряда скважин заполненных бентонитовым раствором, увеличивается с увеличением диаметра и глубины скважин и уменьшается с увеличением относительного расстояния между ними (Рисунки 2.18, 2.19);

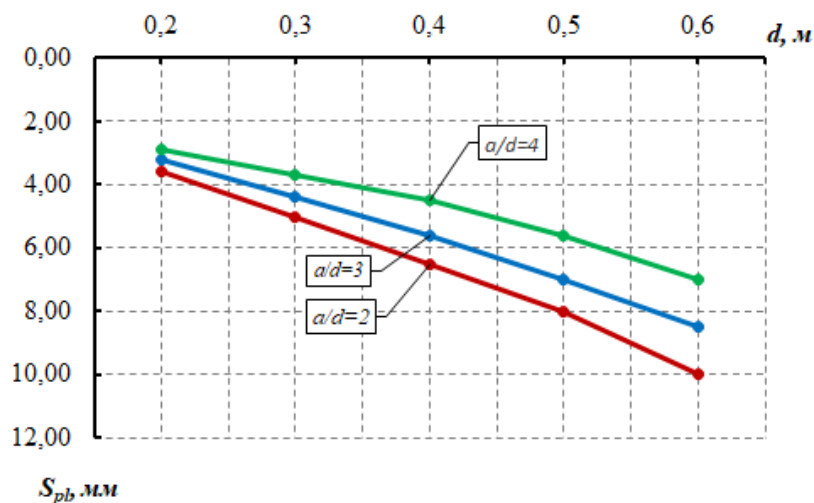


Рисунок 2.18. - График зависимости $S_{pl}=f(d)$ при $L_{sc}=2$ м, $E=15$ МПа и различных значениях a/d

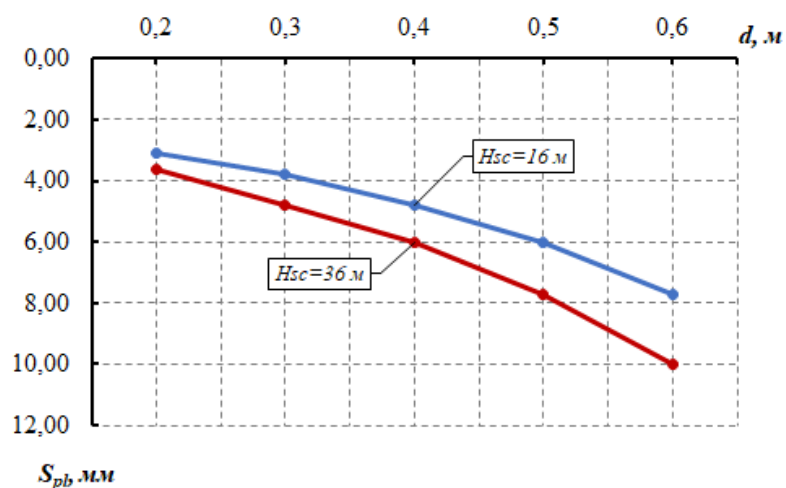


Рисунок 2.19. - График зависимости $S_{pl}=f(d)$ при $L_{sc}=2$ м, $E=15$ МПа и различных значениях длины свай

– рост осадки при увеличении глубины скважин происходит более интенсивно до устройства их на глубину до 25 м, дальнейшее увеличение глубины скважин не ведет к существенному росту дополнительных осадок здания (Рисунок 2.20);

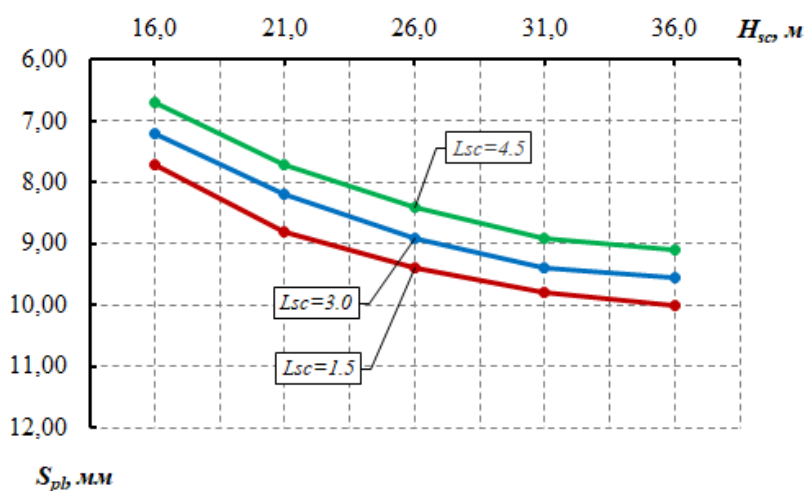


Рисунок 2.20. - График зависимости $S_{pl}=f(H_{sc})$ при $d=0,6$ м, $a/d=2$, $E=15$ МПа и различном удалении от фундамента

– осадка здания, вызванная устройством скважин для свай геотехнического экрана, уменьшается по мере их удаления от защищаемого здания, что видно из графиков на Рисунке 2.21, при этом интенсивнее осадка уменьшается при расстоянии до 3,0 м – 3,5 м, при большей удаленности влияние устройства свай экрана на осадки здания существенно снижается.

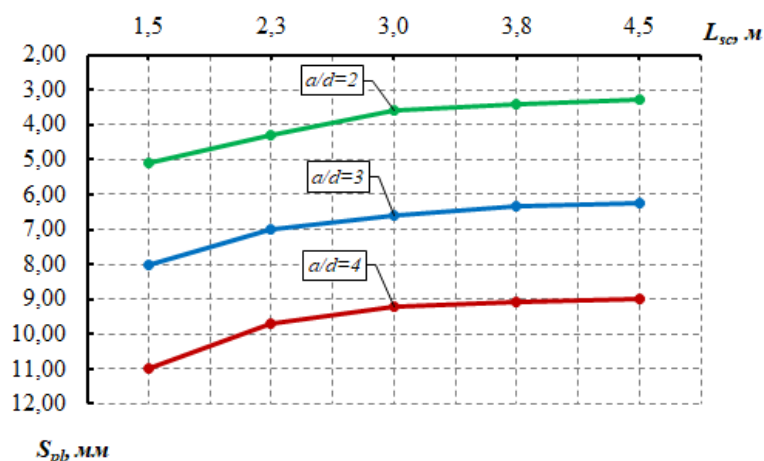


Рисунок 2.21. - График зависимости $S_{pl}=f(L_{sc})$ при $d=0.4$ м, $H_{sc}=30$ м, $L_{sc}=2$ м, $E=15$ МПа и различном отношении a/d

Анализ результатов расчета дополнительной осадки здания, расположенного рядом с разрабатываемой траншей под защитой геотехнического экрана, от рассматриваемых параметров защитной свайной конструкции показал следующее:

– дополнительная осадка здания увеличивается с увеличением относительного расстояния между сваями, начиная с a/d менее 2 (Рисунок 2.22), уменьшается с увеличением диаметра свай (Рисунок 2.23) и глубины устройства защитного экрана (Рисунок 2.24).

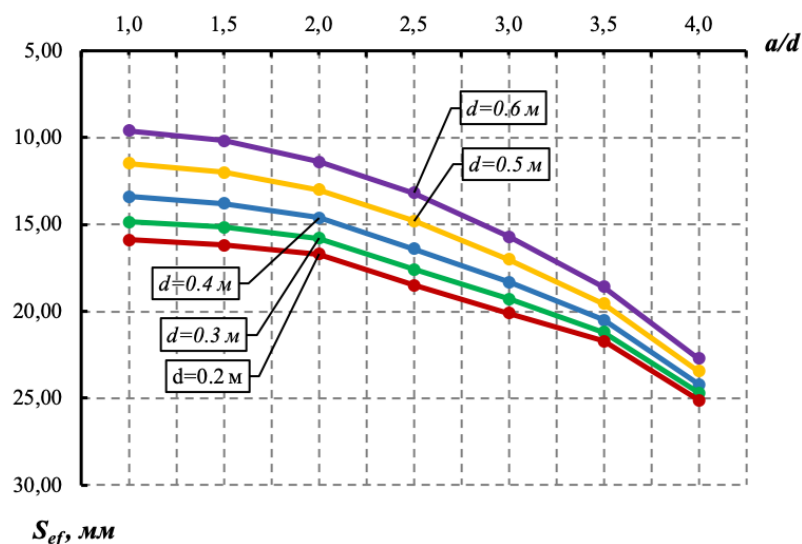


Рисунок 2.22. - График зависимости $S_{ef}=f(a/d)$ при $H_{sc}/H_{tr}=1,0$, $L_{sc}/L_0=0,5$, $E=15$ МПа и различном диаметре свай d

– значимое снижение осадки фундамента защищаемого здания наблюдается при устройстве экрана до глубины, превышающей на 1-2 м глубину траншеи под «стену в грунте», дальнейшее увеличение глубины экрана по отношению к низу траншеи практически не сказывается на его защитных свойствах.

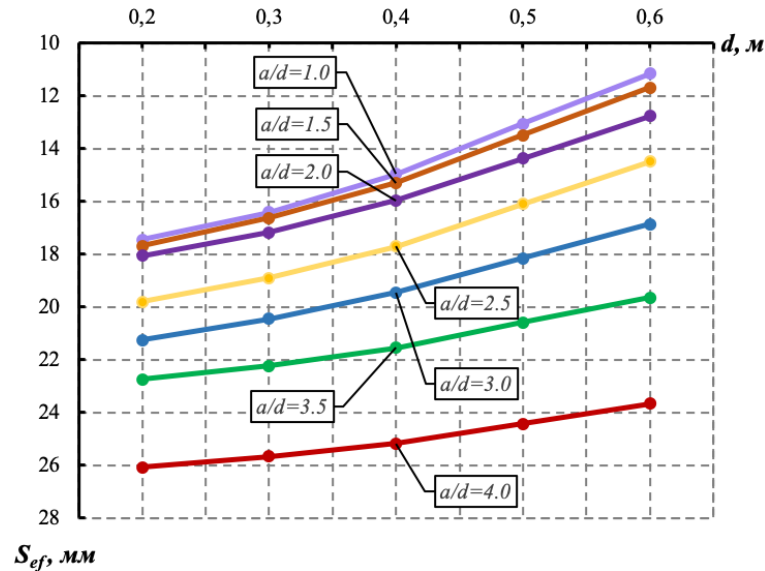


Рисунок 2.23. - График зависимости $S_{ef}=f(d)$ при $H_{sc}/H_{tr}=1,0$ $L_{sc}/L_0=0,50$, $E=15$ МПа и различном относительном расстоянием между сваями a/d

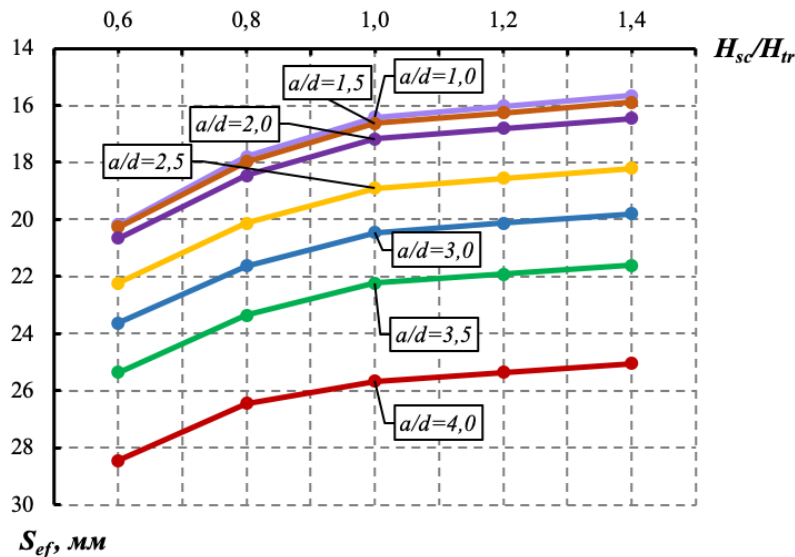


Рисунок 2.24. - График зависимости $S_{ef}=f(H_{sc}/H_{tr})$ при $d=0,3$ $L_{sc}/L_0=0,50$, $E=15$ МПа и различном относительном расстоянием между сваями a/d

Анализ влияния местоположения геотехнического экрана относительно траншеи и фундамента, характеризуемого отношением L_{sc}/L_0 , показал, что дополнительная осадка здания уменьшается по мере отдаления экрана от защищаемого здания (Рисунок 2.25).

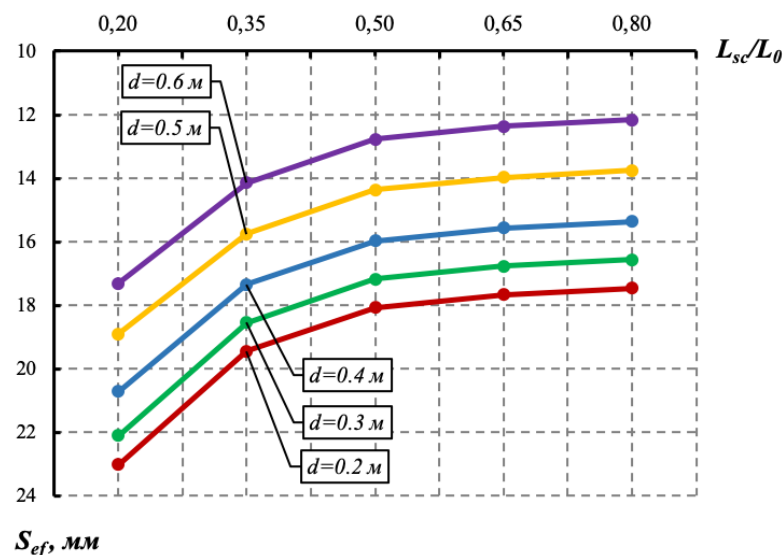


Рисунок 2.25. - График зависимости $S_{ef}=f(L_{sc}/L_0)$ при $H_{sc}/H_{tr}=1,0$; $a/d=2,0$, $E=15$ МПа и различном диаметре свай d

Существенное влияние на величину дополнительной осадки оказывает глубина, длина траншеи и ее удаленность от фундамента здания. Анализ графиков зависимости изменения дополнительной осадки здания от параметров траншеи и ее местоположения (Рисунки 2.26, 2.27) показал, что осадки, вызванные устройством «стены в грунте» под защитой отсечного экрана, возрастают с увеличением глубины траншеи и уменьшением ее расстояния до фундамента. При этом наблюдается существенное снижение интенсивности изменения осадки при удалении траншеи от фундамента более 5 м. Аналогичные результаты были получены и для других рассмотренных параметров свайной конструкции из разреженного ряда свай.

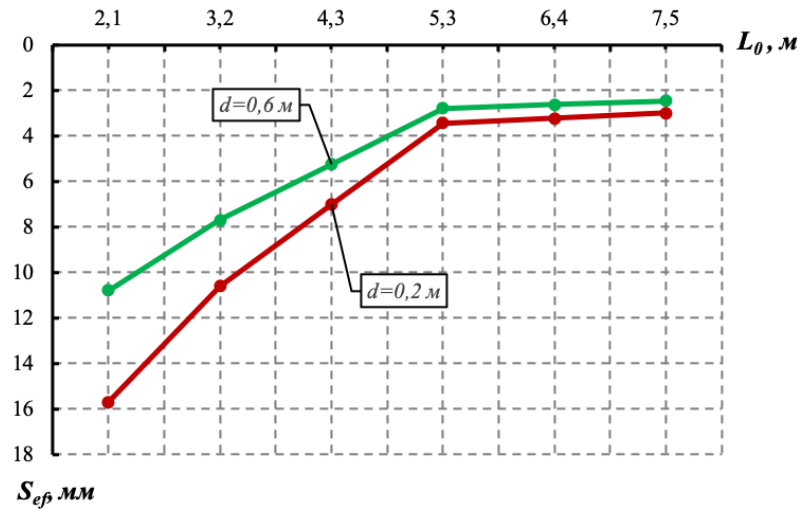


Рисунок 2.26. - График зависимости $S_{ef}=f(L_0)$ при $a/d=2$, $L_{sc}/L_0=0,75$, $H_{tr}=20$ м, $H_{sc}/H_{tr}=1,0$; $E=15$ МПа и различном диаметре свай d

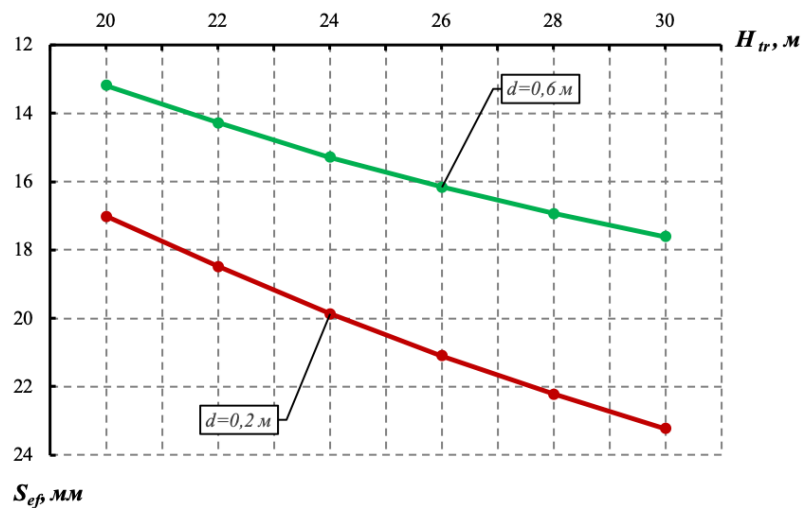


Рисунок 2.27. - График зависимости $S_{ef}=f(H_{tr})$ при $L_{sc}/L_0=0,75$, $H_{sc}=20$ м; $a/d=2$, $E=15$ МПа и различном диаметре свай d

Как было отмечено выше, расположение траншеи относительно незащищенного геотехническим экраном здания (по центру здания или у его угла) влияет на его осадку. Аналогичная ситуация и в случае здания, защищенного геотехническим экраном из разреженного ряда свай (Рисунок 2.28). Вскрытие траншеи, расположенной вдоль здания на равном удалении от краев его фундаментов, вызовет осадки меньшие, чем вскрытие траншея той же длины у края здания (Рисунок 2.29).

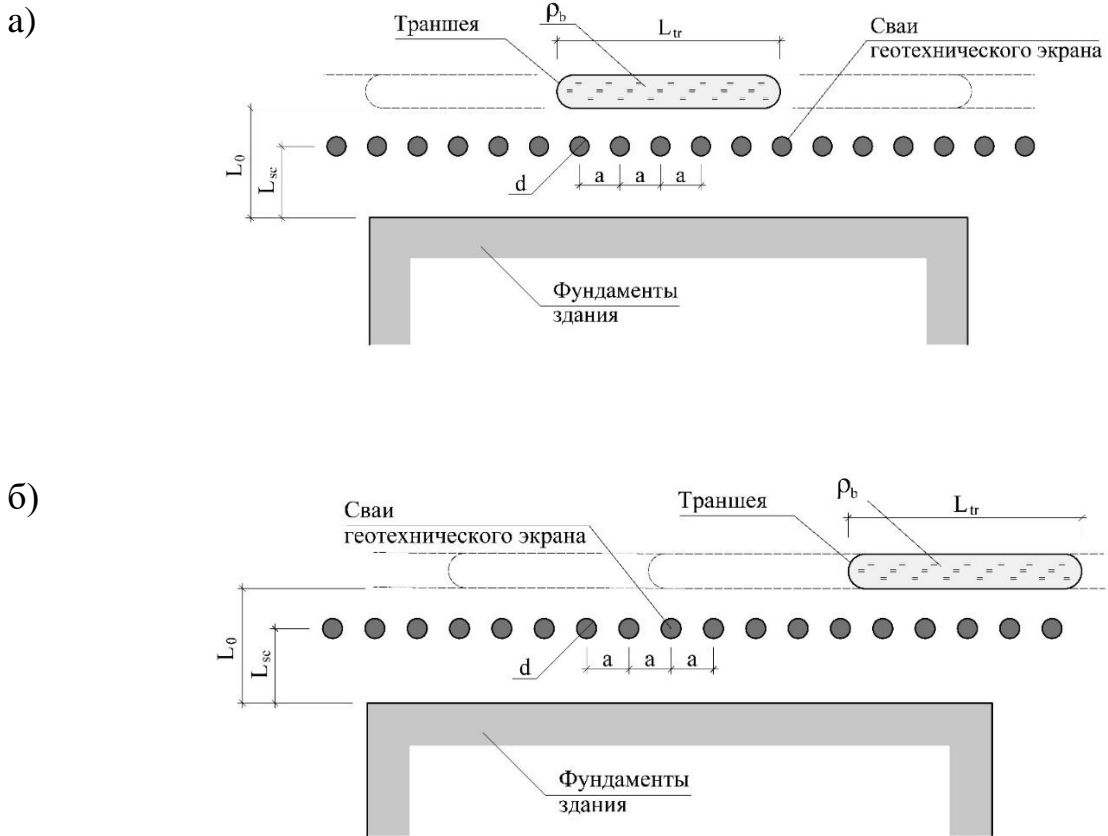


Рисунок 2.28. - Схема расположения траншеи относительно фундамента здания:

а) схема расположения 1; б) схема расположения 2

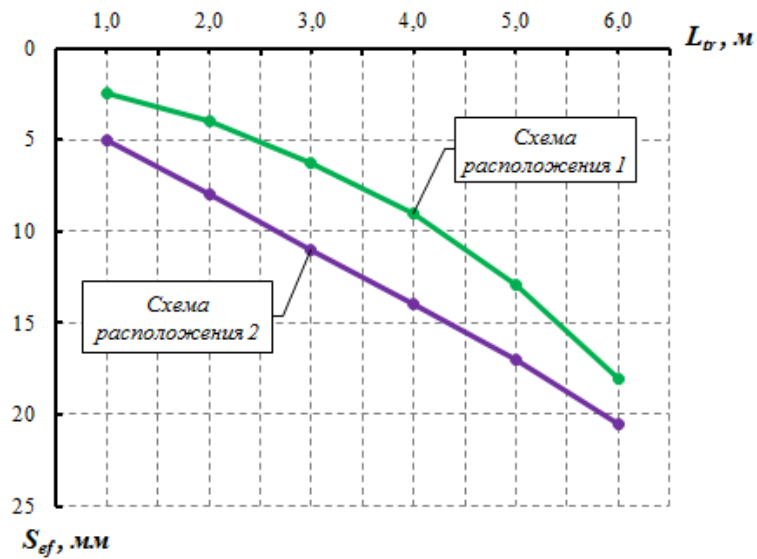


Рисунок 2.29. - График зависимости $S_{ef}=f(L_{tr})$ при $L_{sc}/L_0=0,75$, $H_{sc}=20$ м; $d=0,4$ м, $a/d=2$, $E=15$ МПа

Применение защитного геотехнического экрана снижает величину дополнительной осадки фундамента, вызванной разработкой траншеи, при этом с увеличением длины захватки разрабатываемой траншеи растет и осадка. Разница осадок, полученных при различных расположениях траншеи, уменьшаются по мере увеличения ее длины и достигает минимального значения при длине траншеи $L_{tr}=6,0$ м.

Влияние длины траншеи на величину дополнительной осадки здания при использовании геотехнического экрана будет тем меньше, чем ближе захватка расположена к краю фундамента.

Изменение параметров конструкции геотехнического экрана показало, что увеличение длины захватки, устраиваемой «стены в грунте», также сопровождается ростом величины дополнительной осадки здания, интенсивно увеличивающейся при изменении длины траншеи более 2,5 м. При величине разрабатываемой захватки до 2,5 м рост осадки происходит незначительно. На Рисунках 2.30, 2.31 приведены характерные графики зависимости изменения дополнительной осадки фундамента, вызванной разработкой траншеи, под защитой геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от длины устраиваемой траншеи при различном относительном расстоянии между сваями и удаленности защитной свайной конструкции от фундамента, соответственно.

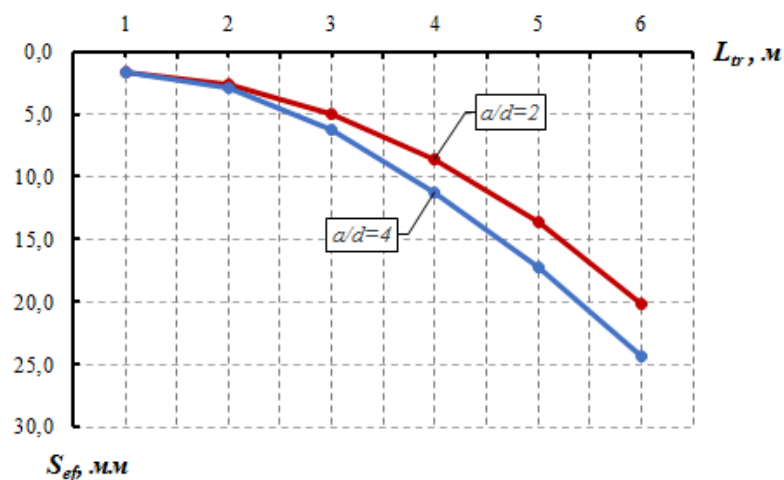


Рисунок 2.30. - График зависимости $S_{эф}=f(L_{tr})$ при $L_{sc}/L_0 = 0,75$, $H_{sc} = 20$ м; $d=0,4$ м, $E=18$ МПа и различном относительном расстоянии между сваями a/d

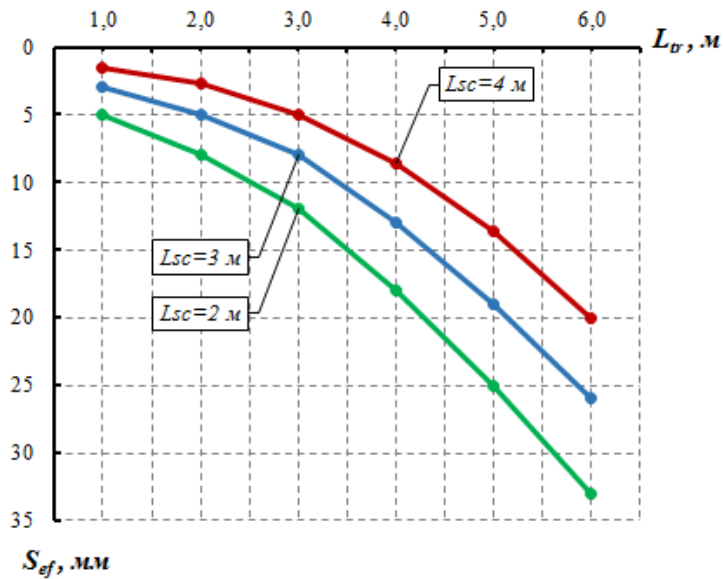


Рисунок 2.31. - График зависимости $S_{ef}=f(L_{tr})$ при $H_{sc}=20$ м; $a/d=2$; $E=15$ МПа и различном расстоянии между экраном и фундаментом здания L_{sc}

Рассмотрев зависимости изменения дополнительной осадки фундамента от устройства захватки «стены в грунте», выполняемой под защитой геотехнического экрана из разреженного ряда свай, от длины разрабатываемого участка траншеи, установлено, что наибольшее влияние на снижение осадки оказывает изменение конструктивных параметров геотехнического экрана при длине захватки, изменяющейся в диапазоне от 2,5 до 6,0 м.

Основные закономерности влияния откопки, траншеи под «стену в грунте» на осадки рядом расположенного здания, не защищенного экраном из разреженного ряда свай аналогичны полученным и с учетом работы экрана, но при меньшей величине осадки здания.

2.2 Оценка влияния устройства траншейной «стены в грунте» на осадки фундаментов здания, защищенного геотехническим экраном (аналитические решения)

Представленные ниже аналитические решения получены с целью подтверждающие результаты численных расчетов и их непротиворечия

решениям, полученным с использованием классических решений механики грунтов.

2.2.1 Определение напряжений в грунте на контакте с геотехническим экраном со стороны разрабатываемой траншеи и защищаемого фундамента

Нагрузки со стороны траншеи

Ниже рассмотрено полученное в упругой постановке аналитическое решение задачи об определении напряжений в грунтовом массиве, действующих на контакте с геотехническим экраном со стороны разрабатываемой под «стену в грунте» траншеи. При решении этой задачи, по аналогии с решением Д.А. Сапина [72], рассматривавшего задачу определения напряженно-деформированного состояния массива грунта при устройстве траншейной «стены в грунте», отсутствие грунта со стороны выемки компенсировано действием нормальных горизонтальных σ_x и касательных вертикальных τ напряжений на вертикальную поверхность $A-B$ в полупространстве, совмещенную с гранью траншеи, как это показано на Рисунке 2.32.

В рассматриваемом случае нормальные горизонтальные напряжения σ_x являются суммой давлений покоя грунта σ_0 и бентонитового раствора внутри траншеи σ_b , касательные τ – трение грунта.

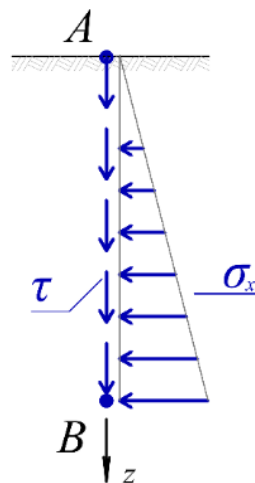


Рисунок 2.32. - Схема напряжений, действующих на плоскость $A-B$, совмещенную с гранью траншеи

$$\sigma_x = \sigma_0 + \sigma_b \quad (2.1)$$

$$\sigma_0 = \sigma_g \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (2.2)$$

$$\sigma_g = \gamma z \quad (2.3)$$

$$\sigma_b = \gamma_b z \quad (2.4)$$

$$\tau = \sigma_0 \tan \varphi \quad (2.5)$$

где:

γ_b – удельный вес бентонитового раствора;

γ_g – удельный вес грунта;

ν – коэффициент Пуассона грунта;

φ – угол внутреннего трения грунта.

Горизонтальное давление Q_{xz} , на контакте с поверхностью экрана, вызванное напряжениями σ_x и τ может быть представлено как:

$$Q_{xz} = q_{1z} + q_{2z} \quad (2.6)$$

где q_{1z} - напряжение, вызванное компенсирующим трением τ , а q_{2z} – результирующим нормальным напряжением σ_x .

Значения q_1 и q_2 можно получить, воспользовавшись решением Е. Мелана [100] (Рисунок 2.33), в соответствии с которым напряжение σ_{x1} от вертикальной сосредоточенной нагрузки P , действующей внутри массива, определяются как:

$$\sigma_{x1} = \frac{P}{\pi} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{(z-h)x^2}{r_1^4} + \frac{(z+h)(x^2+2h^2)-2hx^2}{r_2^4} + \frac{8hz(h+z)x^2}{r_2^6} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ -\frac{z-h}{r_1^2} + \frac{z+3h}{r_2^2} + \frac{4zx^2}{r_2^4} \right\} \right] \quad (2.7)$$

При действии горизонтальной сосредоточенной силы Q , напряжение σ_{x2} находится из следующей зависимости:

$$\sigma_{x2} = \frac{Qx}{\pi} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{x^2}{r_1^4} + \frac{x^2 + 8hz + 6h^2}{r_2^4} + \frac{8hz(h+z)^2}{r_2^6} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ \frac{1}{r_1^2} + \frac{3}{r_2^2} - \frac{4z(h+z)}{r_2^4} \right\} \right] \quad (2.8)$$

$$m = \frac{1-\nu}{\nu} \quad (2.9)$$

где:

(x, z) - координаты точки, в которой определяются напряжения;

h - глубина приложения сосредоточенных сил Q и P .

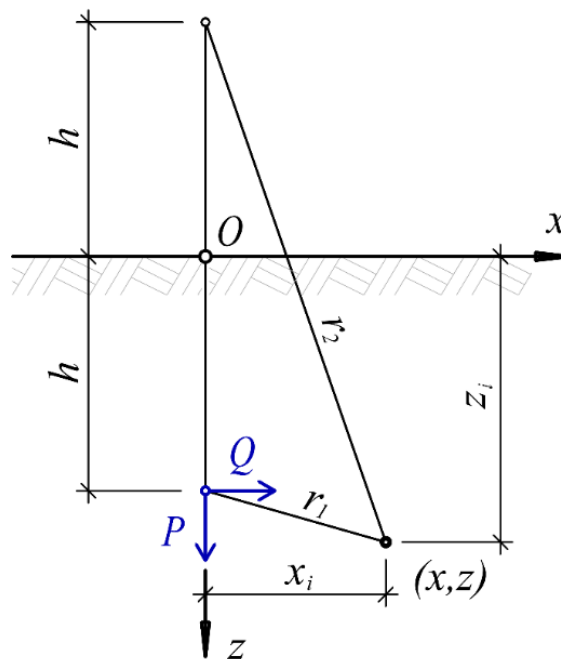


Рисунок 2.33. - Расчетная схема к решению Мелана

Выразив значения r_1 и r_2 через x , z и h , а усилия Q и P через напряжения, действующие на грани траншеи и определяемые по формулам (2.1), (2.5), получим следующие выражения для определения $q_1(x, z)$ и $q_2(x, z)$:

$$q_1(x, z) = \int_0^{H_{tr}} \frac{\gamma_b h \nu \tan \varphi}{\pi(1-\nu)} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{(z-h)x^2}{[x^2+(z-h)^2]^2} + \frac{(z+h)(x^2+2h^2)-2hx^2}{[x^2+(z+h)^2]^2} + \frac{8hz(h+z)x^2}{[x^2+(z+h)^2]^3} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ -\frac{z-h}{x^2+(z-h)^2} + \frac{z+3h}{x^2+(z+h)^2} + \frac{4zx^2}{[x^2+(z+h)^2]^2} \right\} \right] dh = \quad (2.10)$$

$$= \frac{\gamma_b \nu \tan \varphi}{\pi(1-\nu)} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{x^2(h+z-1)+2z^2(z-h)}{2[x^2+(z-h)^2]} + \frac{x^2(h-8z)-2z^2(7z+4h)}{2[x^2+(z+h)^2]} + \frac{8x^2z(x^2+2zh+13z^2)}{4[x^2+(z+h)^2]^2} + \frac{z^4}{x^2} \left(\frac{z+h}{x^2+(z+h)^2} + \frac{1}{x} \operatorname{arctg} \frac{z+h}{x} \right) + z \ln[x^2+(z+h)^2] - \frac{16z^2+x^2}{2x} \operatorname{arctg} \frac{z+h}{x} + \frac{z(x^2+2z)}{2x} \operatorname{arctg} \frac{z-h}{x} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ 2z+4h - \frac{2z(x^2+z^2+zh)}{x^2+(z+h)^2} + \frac{z}{2} \ln[x^2+(z-h)^2] - \frac{5z}{2} \ln[x^2+(z+h)^2] + x \operatorname{arctg} \frac{z-h}{x} - 3x \operatorname{arctg} \frac{z+h}{x} \right\} \right] \Big|_0^{H_{tr}}$$

$$q_2(x, z) = \int_0^{H_{tr}} \frac{\gamma_b(1-v) - \gamma v}{\pi(1-v)} \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{m+1}{2m} \left[\frac{hx^3}{[x^2 + (z-h)^2]^2} + \frac{hx^3 + 8h^2xz + 6h^3x}{[x^2 + (z+h)^2]^2} + \frac{8h^2xz^3 + 16h^3z^2x + 8h^4xz}{[x^2 + (z+h)^2]^3} \right] \right. \\ & \left. + \frac{m-1}{4m} \left[\frac{hx}{x^2 + (z-h)^2} + \frac{3hx}{x^2 + (z+h)^2} - \frac{4hxz^2 + 4h^2xz}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right] \right\} dh = \end{aligned} \right.$$

(2.11)

$$= \frac{\gamma_b(1-v) - \gamma v}{\pi(1-v)} \left[\begin{aligned} & \left. \left\{ \frac{m+1}{2m} \left[\begin{aligned} & -\frac{x^3 - xz^2 + hxz}{2(x^2 + (z-h)^2)} + \frac{5x^3 - 29xz^2 - 25hxz}{2(x^2 + (z+h)^2)} \\ & + \frac{2z^4 + 2hz^3}{2x(x^2 + (z+h)^2)} \\ & - \frac{4xz^4 + 88x^3z^2 + 34hxz^3 + 120hx^3z}{8x^2(x^2 + (z+h)^2)} \\ & + \frac{70xz^6 + 144xz^7 + 70hxz^5 + 144hxz^6}{4x^2(x^2 + (z+h)^2)^2} \\ & + \frac{210xz^6 + 432xz^7 + 70hxz^5 + 432hxz^6}{8x^4(x^2 + (z+h)^2)} \\ & + \frac{260xz^4 - 2x^3z^2 + 6hx^3z + 76hxz^3}{4(x^2 + (z+h)^2)^2} \\ & + 3x \ln[x^2 + (z+h)^2] - \frac{z}{2} \operatorname{arctg} \frac{z-h}{x} \\ & + \frac{-4x^3z^3 + 6x^5z + 70xz^5 + 144xz^6}{8x^5} \operatorname{arctg} \frac{z+h}{x} \end{aligned} \right] \right. \\ & \left. + \frac{m-1}{4m} \left[\begin{aligned} & \frac{4hxz}{2(x^2 + (z+h)^2)} + \frac{x}{2} \ln[x^2 + (z-h)^2] \\ & + \frac{3x}{2} \ln[x^2 + (z+h)^2] - z \operatorname{arctg} \frac{z-h}{x} \\ & - 5z \operatorname{arctg} \frac{z+h}{x} \end{aligned} \right] \right\} \right] \Bigg|_0^{H_{tr}} \end{aligned}$$

На Рисунке 2.34 показаны построенные по полученным формулам (2.10), (2.11) эпюры распределения по глубине напряжений $q_1(x, z)$ и $q_2(x, z)$, действующих в грунте на контакте с поверхностью геотехнического экрана, при его различном удалении от разрабатываемой траншеи.

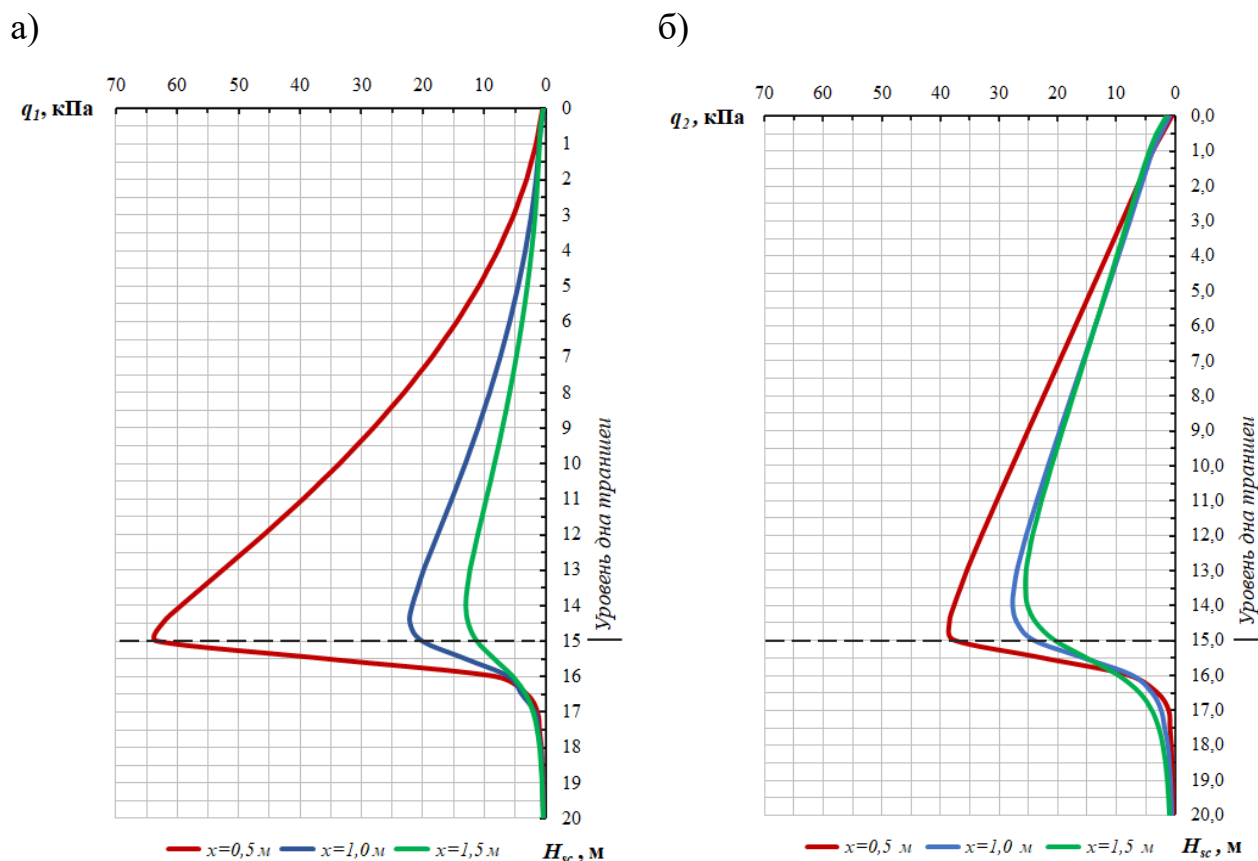


Рисунок 2.34. - Эпюры распределения напряжений а) $q_1(x, z)$ и б) $q_2(x, z)$ по глубине экрана при его удалении от траншеи глубиной 15 м на расстояние от нее 0,5; 1,0 и 1,5 м

Сопоставление полученных графиков показало, что напряжения в грунте на поверхности экрана от компенсирующих сил трения на стенке траншеи существенно выше напряжения, вызванного боковым давлением грунта σ_0 и бентонитового раствора σ_b . При равенстве σ_0 и σ_b давление на поверхность экрана, вызванное вскрытием траншеи, будет зависеть только от компенсирующих сил трения.

На Рисунке 2.35 приведены эпюры распределения результирующих давлений Q_1 при различном удалении экрана от разрабатываемой траншеи.

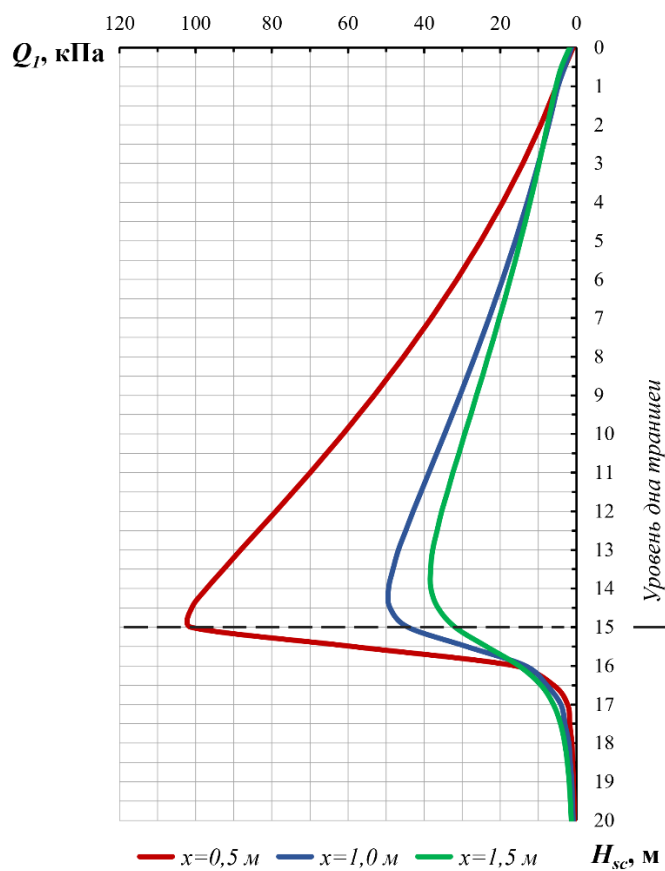


Рисунок 2.35. - Эпюры распределения результирующих напряжений Q_1 по глубине на контакте с геотехническим экраном при его удалении от траншеи глубиной 15 м на расстояние 0,5; 1,0 и 1,5 м

Графики на Рисунке 2.35 показывают, что напряжения в грунте на контакте с экраном уменьшается по мере его удаления от траншеи, при этом интенсивность изменения напряжений существенно снижается при расстоянии от траншеи, превышающем 1 м, что видно из графика на Рисунке 2.36, который показывает снижение максимальной величины напряжения Q_{1max} по мере увеличения расстояния от траншеи от траншеи x .

Зависимость напряжений от глубины экрана близка к линейной в пределах глубины траншеи, при превышении которой значения напряжений резко снижаются и стремятся к нулю по мере приближения к его нижнему концу.

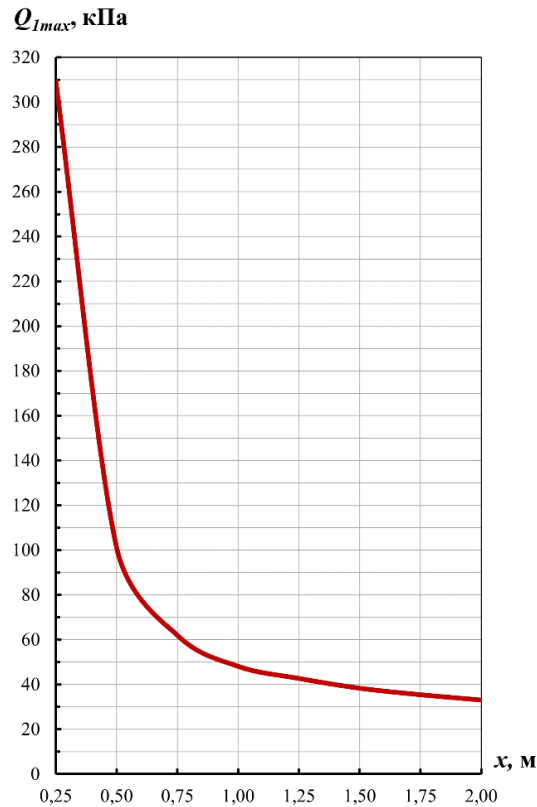


Рисунок 2.36. - График зависимости $Q_{1max} = f(x)$

Полученные расчетом закономерности изменения нормальные напряжений по глубине экрана и их зависимость от расстояния от экрана до траншеи аналогичны установленным численными методами при незначительной разнице в числовом выражении.

Полученные аналитические зависимости могут быть использованы для проверки основных результатов численных расчетов, а также для выполнения предварительных расчетов по упрощенным схемам.

Нагрузки со стороны фундамента

Со стороны фундамента на экран действует давление Q_2 , вызванное нагрузкой, передаваемой на грунт через подошву фундамента (Рисунок 2.37).

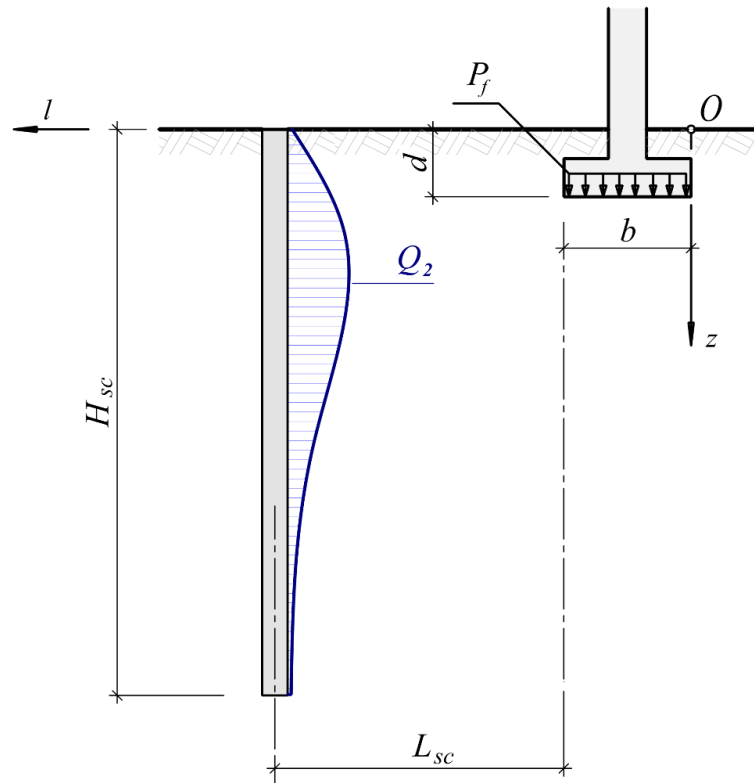


Рисунок 2.37. - Схема нагрузок на экран со стороны фундамента

Давление Q_2 , передаваемое фундаментом шириной b на экран, удаленный от него на расстоянии L_{sc} можно получить, воспользовавшись решением Мелана (2.7), записав его в следующем виде:

$$\sigma_{x3}(x, z, h) = \frac{P_f}{\pi} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{(z-h)x^2}{[x^2 + (z-h)^2]^2} + \frac{(z+h)(x^2 + 2h^2) - 2hx^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} + \frac{8hz(h+z)x^2}{[x^2 + (z+h)^2]^3} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ -\frac{z-h}{x^2 + (z-h)^2} + \frac{z+3h}{x^2 + (z+h)^2} + \frac{4zx^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right\} \right] \quad (2.12)$$

Проинтегрировав выражение (2.12) по ширине фундамента b , получим:

$$Q_2(l, z, d) = \int_{L_{sc}}^{L_{sc}+b} \frac{P_f}{\pi} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{(l-d)l^2}{[l^2 + (z-d)^2]^2} + \frac{(z+d)(l^2 + 2d^2) - 2dl^2}{[l^2 + (z+d)^2]^2} + \frac{8dz(d+z)l^2}{[l^2 + (z+d)^2]^3} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ -\frac{z-d}{l^2 + (z-d)^2} + \frac{z+3d}{l^2 + (z+d)^2} + \frac{4zl^2}{[l^2 + (z+d)^2]^2} \right\} \right] dl = \quad (2.13)$$

$$= \frac{P_f}{\pi} \left[\frac{m+1}{2m} \left\{ \frac{l(d-z)}{2(l^2 + (z-d)^2)} + \frac{l(d-z)}{2(l^2 + (d+z)^2)} + \frac{d^2 l}{(d+z)(l^2 + (d+z)^2)} - \frac{d zl^2 (l^3 - l(z+d)^2)}{(d+z)(l^4 + 2l^2(d+z)^2 + (d+z)^4)} + \frac{z-d}{2(z-d)} \operatorname{arctg} \frac{l}{z-d} + \frac{z-d}{2(z+d)} \operatorname{arctg} \frac{l}{z+d} + \frac{d^3 + d^2 z l^2 + dz^2 l^2 + d^2 z}{(z+d)^3} \operatorname{arctg} \frac{l}{z+d} \right\} + \frac{m-1}{4m} \left\{ \frac{d-z}{z-d} \operatorname{arctg} \frac{l}{z-d} + \frac{2z+d}{z+d} \operatorname{arctg} \frac{l}{z+d} - \frac{l}{2(l^2 + (z+d)^2)} \right\} \right] \Big|_{L_{sc}}^{L_{sc}+b}$$

где: (l, z) - координаты точки, в которой определяются напряжения; d - глубина заложения подошвы фундамента.

Эпюры давления Q_2 на экран при различном его удалении от фундамента приведены на Рисунке 2.38.

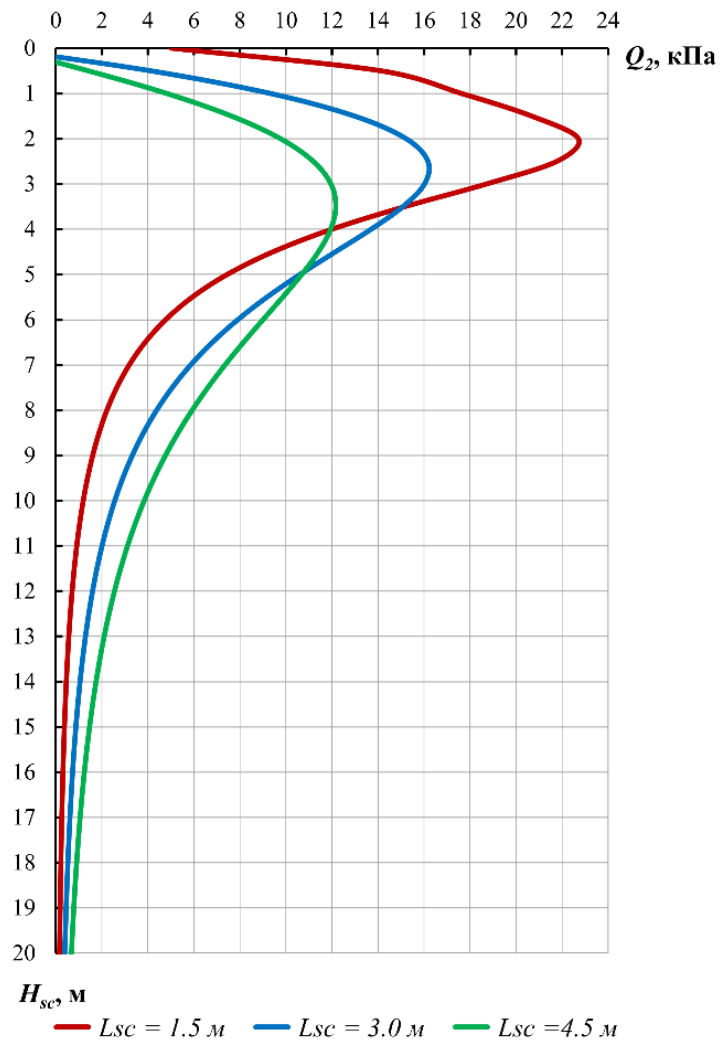


Рисунок 2.38. - График зависимости изменения давления Q_2 по глубине экрана при его удалении от фундамента шириной 1,5 м, глубиной заложения 1,5 м на расстоянии $L_{sc} = 1,5; 3,0$ и 4,5 м.

Результирующее давление Q_z на экран, расположенный между фундаментом и разрабатываемой траншеей, определяется как:

$$Q_z = Q_1 + Q_2 \quad (2.14)$$

На рисунке 2.39 показаны графики результирующего давления Q_z на экран при различном его местоположении.

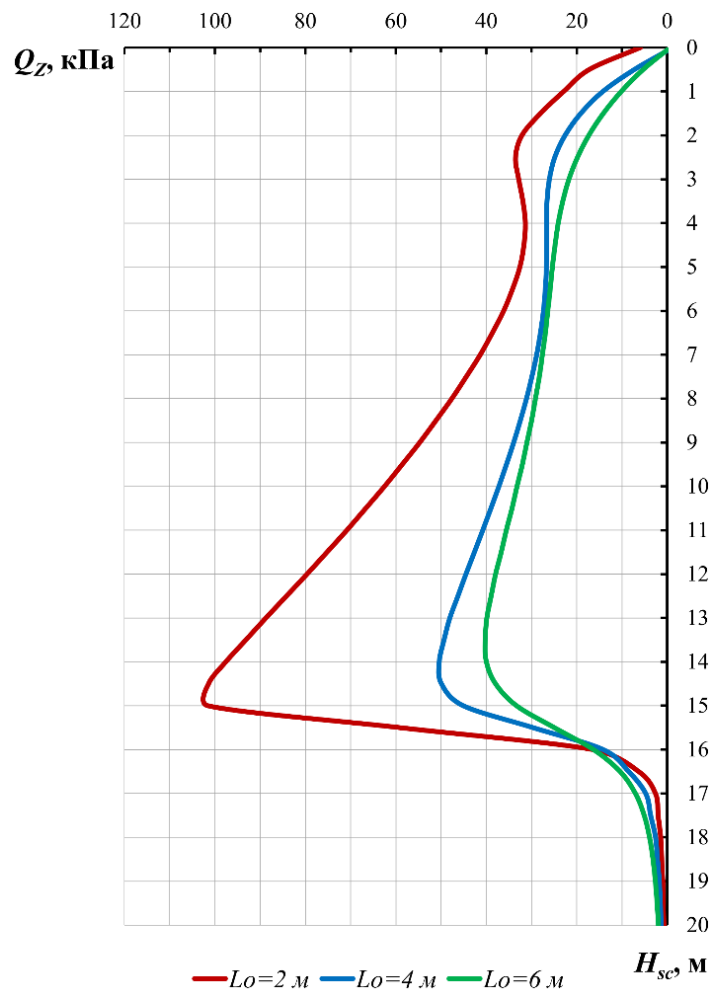


Рисунок 2.39. - График изменения, вызванного разработкой траншеи результирующего давления Q_z по глубине экрана, при расстоянии между фундаментом и траншеей $L_0 = 2,0; 4,0$ и $6,0$ м

2.2.2 Определение осадки защищаемого фундамента

Определение реактивных напряжений, возникающих в грунтовом массиве при перемещении экрана

Реактивный отпор грунта на контакте с экраном, вызванный его горизонтальным смещением, можно определить по методу коэффициента постели.

Полная интенсивность нагрузки P_z на 1 п.м. экрана (плоская задача) будет складываться из внешней нагрузки Q_z , определенной по формуле (2.15) и реактивного отпора грунта основания R_z и может быть определена как:

$$P_z = Q_z + R_z \quad (2.16)$$

$$R_z = kb u_z \quad (2.17)$$

где:

k - коэффициент постели;

b – ширина экрана;

u_z – перемещение экрана в точке на глубине z ;

Дифференциальное уравнение изгиба полосы шириной 1 м.п. имеет вид:

$$\frac{d^2 u_z}{dz^2} = \pm \frac{M_z}{EI} \quad (2.18)$$

где:

E – модуль упругости материала экрана;

I – момент инерции выделенного сечения экрана.

С учетом того, что:

$$\frac{d^2 M_z}{dz^2} = P_z \quad (2.19)$$

после двойного дифференцирования уравнения (2.18) имеем

$$EI \frac{d^4 u_z}{dz^4} = -P_z = -Q_z - k u_z \quad (2.20)$$

Полученное неоднородное дифференциальное уравнение четвертого порядка записывается в виде:

$$\frac{d^4 u_z}{dz^4} + 4\alpha^4 u_z = \frac{Q_z}{EI} \quad (2.21)$$

где:

α - коэффициент деформации;

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}} \quad (2.22)$$

Используя метод начальных параметров, величину перемещения экрана u_z от приложенной к нему нагрузки, выразим в виде:

$$u_z = u_0 A_z + \frac{\psi_0 B_z}{\alpha} - \frac{M_0 C_z}{EI\alpha^2} - \frac{Q_0 D_z}{EI\alpha^3} \quad (2.23)$$

где:

M_0, Q_0, u_0, ψ_0 – начальные параметры, соответствующие значениям на глубине $z = H_{sc}$

A, B, C, D – гиперболо-тригонометрические функции Крылова.

$$\begin{aligned} A &= \cosh(mz) \cos(mz) \\ B &= \frac{\cosh(mz) \sin(mz) + \sinh(mz) \cos(mz)}{2} \\ C &= \frac{\sinh(mz) \sin(mz)}{2} \\ D &= \frac{\cosh(mz) \sin(mz) - \sinh(mz) \cos(mz)}{4} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Так как значения моментов и поперечных сил на глубине $z = H_{sc}$ $M_0 = 0, Q_0 = 0$, выражение (2.23) запишется как:

$$u_z = u_0 A_z + \frac{\psi_0 B_z}{\alpha} + \frac{4Q\alpha D_{z-a}}{k_0} \quad (2.25)$$

где:

$$u_0 = \frac{\alpha Q (B_{H_{sc}-a} C_{H_{sc}} - A_{H_{sc}-a} D_{H_{sc}})}{k_0 (C_{H_{sc}}^2 - B_{H_{sc}} D_{H_{sc}})} \quad (2.26)$$

$$\psi_0 = \frac{\alpha (\alpha Q A_{H_{sc}-a} - u_0 k_0 B_{H_{sc}})}{k_0 C_{H_{sc}}} \quad (2.27)$$

$$k_0 = kb \quad (2.28)$$

$B_{H_{sc}}, C_{H_{sc}}, D_{H_{sc}}$ - значения функций B, C, D (2.24) на глубине H_{sc} ;

$A_{H_{sc}-a}, B_{H_{sc}-a}$ - значения функции A, B (2.24) на глубине $H_{sc} - a$, где a – глубина точки приложения нагрузки Q .

D_{z-a} - значения функции D (2.24) на глубине $z-a$, где z – глубина точки в которой определяется перемещение экрана u_z .

A_z, B_z - значения функций A, B (2.24) на глубине z ;

Определив значения перемещений геотехнического экрана, по выражению (2.17) получаем величины реактивных напряжений основания R_z , возникающих на контакте защитной свайной конструкции. На Рисунке 2.40 приведены эпюры перемещений экрана и реактивного отпора грунта в зависимости от местоположения экрана относительно фундамента и траншеи.

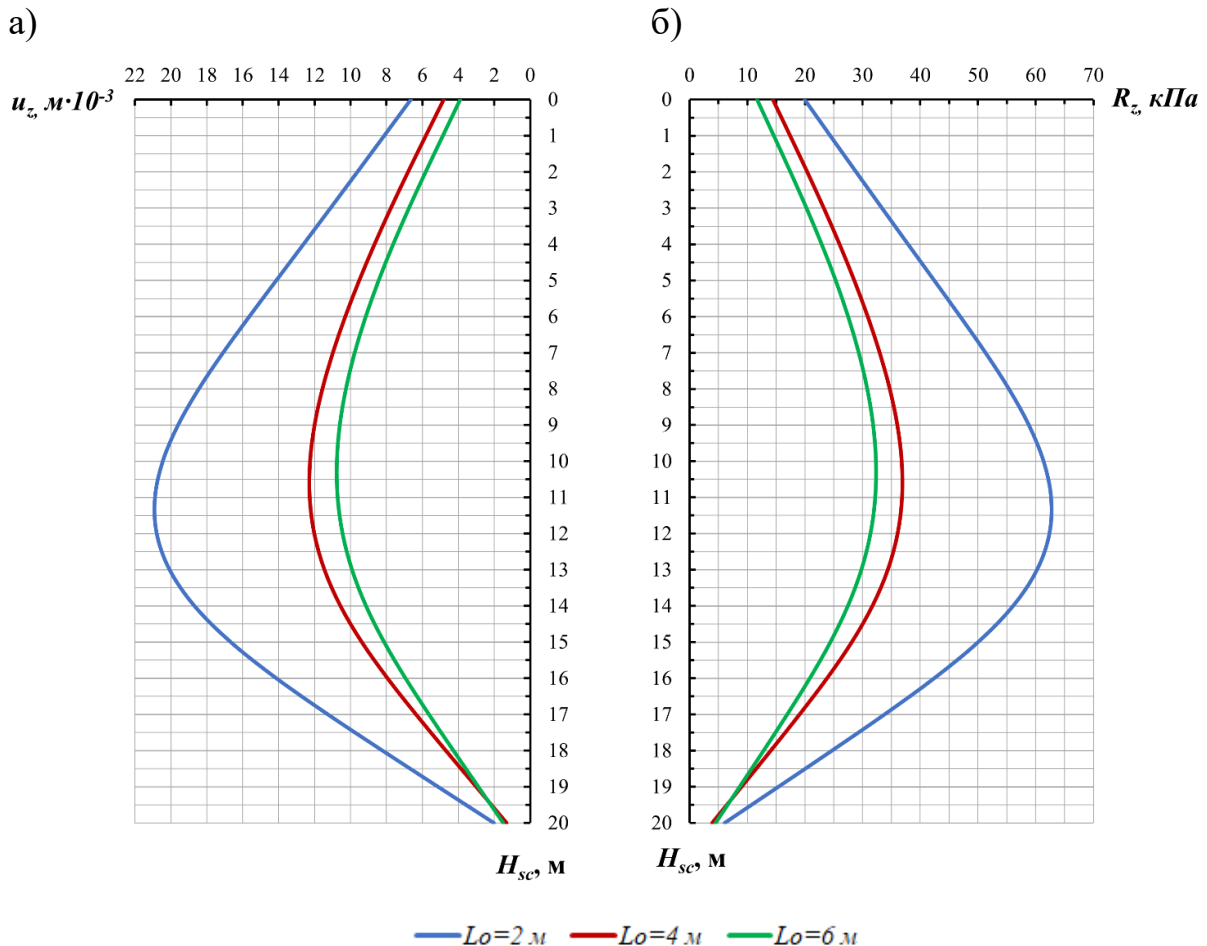


Рисунок 2.40. - Графики зависимости изменения а) перемещения геотехнического экрана u_z , б) реактивного напряжения основания R_z на контакте экрана при разработке траншеи по глубине экрана при расстоянии между фундаментом и траншеей $L_0 = 2,0; 4,0$ и $6,0$ м

Определение дополнительной осадки фундамента здания, вызванной устройством траншеи «стены в грунте» под защитой геотехнического экрана

Для определения осадки фундамента от реактивного давления грунта на контакте с геотехническим экраном (см. Рисунок 2.41), вызванного его перемещением, можно, применить решение Мелана, используя выражение (2.29).

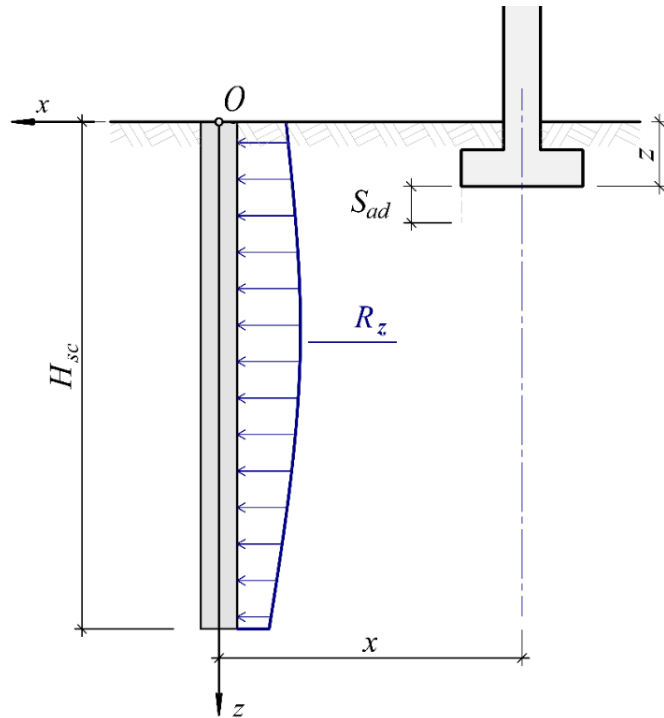


Рисунок 2.41. - Расчетная схема к определению дополнительной осадки фундамента.

$$v = \frac{Q}{\pi E} \left[\begin{aligned} & \frac{1 + \nu_1}{2} \left\{ \frac{(z - h)^2}{2r_1^2} + \frac{\ln[(z - h)^2 + x^2][(z + h)^2 + x^2]}{2} + \right. \\ & \left. \frac{z^2 + 6hz + 3h^2}{2r_2^2} - \frac{2hz(h + z)^2}{r_2^4} \right\} \\ & + \frac{1 - \nu_1}{4} \left\{ \frac{\ln[(z - h)^2 + x^2]}{2} + \frac{3\ln[(z + h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \left. + \frac{2z(h + z)}{r_2^2} \right\} \\ & - \frac{\nu_1(1 + \nu_1)}{2} \left\{ \frac{h^2 - z^2 - 2hz}{2r_2^2} + \frac{2hz(h + z)^2}{r_2^4} \right\} \\ & \left. + \frac{\nu_1(1 - \nu_1)}{4} \left\{ \frac{\ln[(z - h)^2 + x^2]}{2} - \frac{\ln[(z + h)^2 + x^2]}{2} \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{2z(h + z)}{r_2^2} \right\} \right] \quad (2.29) \end{aligned} \right.$$

$$\nu_1 = \frac{1}{m} \quad (2.30)$$

Выразив значения r_1 и r_2 через x , z и h , а усилие Q через реактивные напряжения, действующие на контакте с экраном и определяемые по формуле (2.17), получим следующее выражение для определения дополнительных осадок фундамента здания $S_{ad}(x, z)$:

$$S_{ad}(x, z) = \int_0^{H_{sc}} \frac{Q}{\pi E} \left[\begin{aligned} & \frac{1 + \nu_1}{2} \left\{ \frac{(z-h)^2}{2[x^2 + (z-h)^2]} + \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2][(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{z^2 + 6hz + 3h^2}{2[x^2 + (z+h)^2]} - \frac{2hz(h+z)^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right\} \\ & + \frac{1 - \nu_1}{4} \left\{ \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2]}{2} + \frac{3\ln[(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{2z(h+z)}{[x^2 + (z+h)^2]} \right\} \\ & - \frac{\nu_1(1 + \nu_1)}{2} \left\{ \frac{h^2 - z^2 - 2hz}{2[x^2 + (z+h)^2]} + \frac{2hz(h+z)^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right. \\ & \quad \left. - \frac{(z-h)^2}{2[x^2 + (z-h)^2]} \right\} \\ & + \frac{\nu_1(1 - \nu_1)}{4} \left\{ \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2]}{2} - \frac{\ln[(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{2z(h+z)}{[x^2 + (z+h)^2]} \right\} \end{aligned} \right] dh \quad (2.31)$$

$$= \frac{Q}{\pi E} \left[\begin{aligned} & \frac{1 + \nu_1}{2} \left\{ \frac{(z-h)^2}{2[x^2 + (z-h)^2]} + \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2][(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{z^2 + 6hz + 3h^2}{2[x^2 + (z+h)^2]} - \frac{2hz(h+z)^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right\} \\ & + \frac{1 - \nu_1}{4} \left\{ \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2]}{2} + \frac{3\ln[(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{2z(h+z)}{[x^2 + (z+h)^2]} \right\} \\ & - \frac{\nu_1(1 + \nu_1)}{2} \left\{ \frac{h^2 - z^2 - 2hz}{2[x^2 + (z+h)^2]} + \frac{2hz(h+z)^2}{[x^2 + (z+h)^2]^2} \right. \\ & \quad \left. - \frac{(z-h)^2}{2[x^2 + (z-h)^2]} \right\} \\ & + \frac{\nu_1(1 - \nu_1)}{4} \left\{ \frac{\ln[(z-h)^2 + x^2]}{2} - \frac{\ln[(z+h)^2 + x^2]}{2} \right. \\ & \quad \left. + \frac{2z(h+z)}{[x^2 + (z+h)^2]} \right\} \end{aligned} \right] \Big|_0^{H_{sc}}$$

Подставив ранее полученные значения реактивных напряжений в формулу (2.31) получим величину дополнительной осадки фундамента под защитой геотехнического экрана длиной 20м.

В таблице 2.3 приведены определенные по формуле (2.31), а также численными расчетами, значения дополнительных осадок фундамента шириной 1,5м, глубиной заложения 1,5м при разработке траншеи глубиной 15м под защитой геотехнического экрана глубиной 20м при различном его удалении от фундамента.

Таблица 2.3 - Дополнительные осадки фундамента, вызванные устройством траншеи под защитой геотехнического экрана

№	Расстояние между фундаментом и траншеей L_0 , м	Расстояние между фундаментом и экраном L_{SC} , м	Дополнительная осадка фундамента S_{ad} , см	
			Аналитическое решение	Численное решение
1	2,0	1,5	1,1	1,4
2	4,0	3,0	0,6	0,8
3	6,0	4,5	0,4	0,6

Сопоставление представленных в таблице 2.3 результатов численных расчетов с данными, полученными на основе предложенных аналитических решений, показало их удовлетворительную сходимость.

Выводы по второй главе

1. Выполненные расчеты подтвердили результаты ранее проведенных исследований по изучению влияния устройства монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа на дополнительные осадки зданий и сооружений окружающей застройки, расположенной в зоне влияния нового строительства.
2. Дополнительные осадки фундаментов окружающей застройки, вызванные устройством траншеи под «стену в грунте», увеличиваются с увеличением ее глубины и длины захватки бетонирования, а также по мере приближения

разрабатываемого участка «стены в грунте» к краю фундамента и уменьшаются по мере ее удаления от здания.

3. Проведенные численным методом исследования показали, что устройство геотехнического экрана из разреженного ряда свай является эффективным средством для снижения осадок зданий окружающей застройки, вызванных откопкой траншеи под монолитную железобетонную «стену в грунте», служащую ограждением котлована возводимого на соседней строительной площадке здания.
4. При выполнении расчета осадки здания, защищенного экраном из разреженного ряда свай, необходимо учитывать дополнительную технологическую осадку, вызванную его устройством. Согласно выполненным расчетам, дополнительная технологическая осадка, вызванная устройством свай экрана, увеличивается с увеличением диаметра и глубины скважин под сваи и уменьшается с увеличением относительного расстояния между сваями и их удаления от защищаемого здания.
5. Общая, определенная с учетом технологической составляющей от устройства свай экрана дополнительная осадка расположенного рядом с разрабатываемой траншеей здания, увеличивается с увеличением относительного расстояния между сваями и уменьшается с увеличением их диаметра, длины и увеличением расстояния между экраном и защищаемым зданием.
6. Осадка здания, вызванная откопкой траншеи, интенсивно снижается по мере увеличения длины свай экрана до значения, превышающего глубину котлована на 1-2 м. Дальнейшее увеличение длины свай практически не приводит к увеличению защитных свойств экрана.
7. Осадка здания, вызванная устройством «стены в грунте» под защитой отсечного экрана, возрастает с увеличением глубины траншеи и уменьшением ее расстояния до фундамента. Увеличение длины траншеи ведет к росту дополнительной осадки здания, при этом влияние габаритов захватки снижается по мере приближения ее к краю здания.

8. Применение защитного экрана из разреженного ряда свай может привести к снижению дополнительных осадок защищаемого здания, вызванных устройством «стены в грунте» траншейного типа, на 30...75%.
9. Полученные аналитические зависимости, связывающие параметры вскрываемой под устройство монолитной «стены в грунте» траншеи с возникающими при этом в массиве грунта на контакте с геотехническим экраном напряжениями, позволяют выбрать его рациональную конструкцию, оптимальное положение относительно разрабатываемой траншеи и необходимые размеры, а также могут быть использованы для выполнения поверочных расчетов в случае решения аналогичных задач одним из численных методов.

ГЛАВА 3. ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящей главе на основе теории планирования эксперимента выполнен факторный анализ влияния различных факторов на степень эффективности применения защитной конструкции из разреженного ряда свай с целью снижения осадок зданий и сооружений, вызванных откопкой траншеи под «стену в грунте».

3.1 Основные положения теории планирования эксперимента

Эффективным методом при решении многофакторных задач является применение теории математического планирования эксперимента, позволяющая выявить не только наиболее значимые факторы, влияющие на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай, но и получить интерполяционные зависимости, количественно описывающие поведение исследуемой системы и позволяющие предсказывать результат с требуемой точностью во всех точках принятой области варьирования факторами.

В соответствии с теорией математического планирования эксперимента [3] при решении задачи используются математические модели объекта исследования. Под математической моделью понимается уравнение, связывающее выходной параметр «у» с входными факторами « x_1, x_2, \dots, x_k »:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.1)$$

Такая функция (3.1) называется функцией отклика. Каждый фактор может принимать в эксперименте одно из нескольких значений. Такие значения называются уровнями.

Фактором называется изменяемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. Каждый фактор имеет область определения. Под областью определения понимается совокупность всех значений, которые может принимать данный фактор.

Выбор области эксперимента является одним из наиболее ответственных моментов в планировании многофакторной задачи, поскольку достоверность получаемых в итоге результатов во многом зависит от того, насколько корректно сделан этот выбор.

Верхняя и нижняя границы области определения фактора называются соответственно верхним и нижним уровнями данного фактора. Центру области определения соответствует основной уровень. Полу-разность верхнего и нижнего уровней называется интервалом варьирования данного фактора. Удобно выбрать масштабы по осям в факторном пространстве таким образом, чтобы верхнему «натуральному» уровню фактора соответствовало кодированное значение «+1», нижнему - «-1», а основному – «0» (по этой причине основной уровень называют нулевым). Для факторов с непрерывной областью определения это можно сделать с помощью преобразования:

$$X_j = \frac{(x_j - x_{j0})}{I_j}; j = 1, \dots, k, \quad (3.2)$$

где X_j - кодированное значение j -го фактора; x_j - натуральное значение j -го фактора; x_{j0} - натуральное значение основного уровня j -го фактора; I_j - интервал варьирования j -го фактора; k - количество учитываемых факторов.

Использование кодированных значений фактора значительно упрощает запись плана эксперимента и обработку результатов, а также позволяет в дальнейшем оценить вес каждого фактора и отбросить из плана эксперимента несущественные факторы.

В факторном пространстве область эксперимента в кодированных величинах представляет собой куб размерностью « k ».

Далее предполагается, что функция отклика (3.1) с достаточной степенью точности может быть аппроксимирована в области эксперимента полиномом, называемым уравнением полиномиальной регрессии:

$$Y = B_0 + \sum_{j=1}^k B_j X_j + \sum_{j,l=1}^k B_{jl} X_j X_l + \dots \quad (3.3)$$

Члены $B_j X_j$, соответствуют линейным эффектам; $B_{jl} X_j X_l (j \neq l)$ - эффектами взаимодействия первого порядка; $B_{jj} X_j^2$ - квадратичным эффектам и т.д. Величины B_0, B_j, B_{jl} и т.д. называются коэффициентами уравнения регрессии. В зависимости от того, полиномом какой степени будет использован, говорят, что функция отклика аппроксимируется линейной, квадратичной, либо другой соответствующей моделью полиномиальной регрессии.

Прямоугольная матрица, задающая своими строками и столбцами число и условия проведения опытов, достаточных для последующей оценки коэффициентов выбранной модели, называется планом эксперимента. Для учета всех возможных эффектов взаимодействия необходимо проведение полного факторного эксперимента, т.е. такого эксперимента, в котором реализуются все сочетания факторов. Если факторы варьируются на двух уровнях (+1 и -1), план полного факторного эксперимента содержит 2^k точек, где k – число учитываемых факторов; если уровня три (-1, 0, +1), то количество факторов равно 3^k . Иногда некоторыми из эффектов взаимодействия априори можно пренебречь, тогда появляется возможность в два или более раз сократить число необходимых экспериментальных точек. В этом случае план эксперимента представляет собой так называемую дробную реплику от плана полного факторного эксперимента. Подробно построение плана эксперимента рассмотрено на конкретном примере в следующем параграфе 3.2.

В соответствии с выбранным планом выполняются эксперименты, а затем в описываемой ниже последовательности обрабатываются их результаты:

1. Оценивается ошибка эксперимента. Для этого определяют:

- средние арифметические значения результатов для каждой точки

$$Y = \frac{\sum_{q=1}^n Y_q}{n}, \quad (3.4)$$

где n – повторяемость опытов;

- дисперсию результатов эксперимента

$$S^2 = \frac{\sum_{q=1}^n (Y_q - Y)^2}{(n-1)}; \quad (3.5)$$

- дисперсию воспроизводимости эксперимента

$$S_{воспр}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (Y_{iq} - Y_i)^2}{N(n-1)}, \quad (3.6)$$

где N – число точек в плане эксперимента; i – номер точки.

2. Вычисляются коэффициенты уравнения регрессии.

Коэффициенты уравнения регрессии вычисляются методом наименьших квадратов МНК. В общем случае матричное уравнение МНК записывается в виде:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3.7)$$

где B - матрица-столбец коэффициентов; X - матрица-план эксперимента; X^T - транспонированная матрица X ; $(X^T X)^{-1}$ - матрица, обратная произведению $X^T X$; Y - вектор-столбец значений функции отклика.

3. Проверяется значимость коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента.

Для этого определяют доверительный интервал

$$\Delta B = \pm S_{bj}, \quad (3.8)$$

$$S_{bj} = \frac{S_{воспр}^2}{N}. \quad (3.9)$$

Коэффициент уравнения регрессии считается значимым, если его абсолютная величина больше, чем доверительный интервал. Незначимые коэффициенты отбрасываются.

4. Проверяется адекватность выбранной модели.

Для проверки адекватности описания функции отклика, выбранной модели, используется критерий Фишера

$$F = \frac{S_{неадекват}^2}{S_{воспр}^2} \leq F_{табл}, \quad (3.10)$$

где $F_{табл}$ - табулированное значение критерия Фишера;

$$S_{\text{неадекват}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2}{(N-k)}, \quad (3.11)$$

где k – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии, включая B_0 ; y_i – экспериментальное значение отклика в i – ой точке; Y_i – значение отклика, предсказываемое полученным уравнением регрессии.

Для линейной и неполной квадратичной модели (без членов вида $B_{ij}X_i^2$), кроме того, надо проверить значимость коэффициентов при квадратичных членах:

$$\sum B_{jj} = Y_0 - B_0, \quad (3.12)$$

где Y_0 – значение функции отклика в центре области эксперимента.

Если полученная модель неадекватна, следует перейти к модели более высокого порядка и последовательно повторить все процедуры от построения плана эксперимента до проверки адекватности модели. Когда адекватность описания функции отклика достигнута и поставленная задача выполнена, можно переходить к анализу результатов. Для того чтобы получить уравнение регрессии в натуральных величинах, необходимо подставить в полученное уравнение регрессии в кодированных величинах в формулу (3.1).

3.2 Исходные данные

Для анализа степени влияния рассмотренных параметров свайного ряда на снижение осадок защищаемого здания, вызванных устройством «стены в грунте», было введено понятие коэффициента эффективности K_{ef} , определяемого как

$$K_{ef} = \frac{(S_{tr} - S_{sc})}{S_{tr}} \quad (3.13)$$

где S_{tr} – осадка здания, вызванная разработкой траншеи под «стену в грунте», без применения геотехнического экрана; S_{sc} – осадка здания, полученная при разработке траншеи, под защитой геотехнического экрана.

План эксперимента предусматривал выполнить несколько серий пространственных расчетов в программном комплексе MIDAS GTS, варьируя факторами, представленными в Таблице 3.1

Таблица 3.1 - Факторы численных исследований

Грунтовые условия		Параметры траншеи		Параметры экрана						
				Конфигурация			Технология изготовления			
Сыпучие	Связные	Тип грунта	Модуль деформации	Глубина траншеи	Относительное расположение	Диаметр свай	Относительное межосевое расстояние	Длина свай	Буровые сваи	Завинчиваемые сваи
		$E=15 \dots 30$ МПа		$H_{tr} = 20 \dots 30$ м	$H_{tr}/L_0=5 \dots 10$	$d=0,2 \dots 0,6$ м	$a/d = 2 \dots 4$	$H_{sc} = 16 \dots 36$ м		

Грунтовый массив, рассматриваемый в расчетной схеме, был смоделирован с использованием характеристик, представленных в Таблице 3.2.

В ходе численного исследования было выполнено моделирование более 380 расчетных ситуаций в которых создавались различные конфигурации конечно-элементных схем, изменяющихся в зависимости от грунтовых условий (рассматривался сыпучий или связный грунт, изменяющийся модуль деформации), характеристик разрабатываемой траншеи (варьировались различные значения глубины траншеи и ее удаленности от фундаментов здания), конструктивных параметров геотехнического экрана (в расчете участвовали переменные величины диаметра и длины свай, относительного осевого расстояния между сваями), технологии изготовления сваи (рассматривались варианты устройства свай экрана с извлечением грунта из скважин – буровые

или сваи, изготавливаемые без устройства скважин, погружаемые в грунт путем завинчивания).

Таблица 3.2 - Физико-механические характеристики грунтового массива

Характеристики грунта	Условные обозначения	Единицы измерения	Величина
Грунт №1 (песчаный)			
Модуль деформации	E	МПа	15
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	45
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,3
Удельное сцепление	C	кПа	3
Угол внутреннего трения	φ	(град) ^o	28
Удельный вес	γ	кН/м ³	18
Грунт №2 (песчаный)			
Модуль деформации	E	МПа	30
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	90
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,3
Удельное сцепление	C	кПа	2
Угол внутреннего трения	φ	(град) ^o	36
Удельный вес	γ	кН/м ³	18
Грунт №3 (связный)			
Модуль деформации	E	МПа	15
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	45
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,35
Удельное сцепление	C	кПа	28
Угол внутреннего трения	φ	(град) ^o	18
Удельный вес	γ	кН/м ³	18
Грунт №4 (связный)			
Модуль деформации	E	МПа	30
Модуль деформации при разгрузке	E_{ur}	МПа	90
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,35
Удельное сцепление	C	кПа	35
Угол внутреннего трения	φ	(град) ^o	21
Удельный вес	γ	кН/м ³	18

Программой эксперимента было предусмотрено 4 серии расчетов для разных типов грунтов с применением различной технологии изготовления свай. Таким образом варьирование исходных (модуль деформации грунта, параметры траншеи) и регулируемых (конструктивные параметры экрана) факторов осуществлялось:

- в 1-ой серии - для сыпучих грунтов, при использовании буровых свай;
- во 2-ой серии - для сыпучих грунтов при использовании завинчиваемых свай;
- в 3-ей серии - для связных грунтов, при использовании буровых свай;
- в 4-ой серии - для связных грунтов при использовании завинчиваемых свай.

Для определения коэффициента эффективности применения геотехнического экрана в каждой расчетной схеме моделировалось три расчетных случая для определения величины дополнительной осадки фундамента здания, вызванной:

1. Разработкой траншеи – S_{tr} , мм;
2. Устройством свай геотехнического экрана – S_{pl} , мм;
3. Разработкой траншеи под защитой геотехнического экрана без учета осадки, вызванной устройством свайной конструкции – S_{ef} , мм.

Схемы расчетных случаев для определения коэффициента эффективности приведены на Рисунках 3.1 ... 3.3.

Таким образом значение осадки S_{sc} , приведенной в формуле (3.13) для буровых свай будет определяться:

$$S_{sc} = S_{pl} + S_{ef} \quad (3.14)$$

для завинчиваемых свай, технология изготовления которых не предусматривает устройство скважин значение дополнительной осадки S_{sc} определяется как:

$$S_{sc} = S_{ef} \quad (3.15)$$

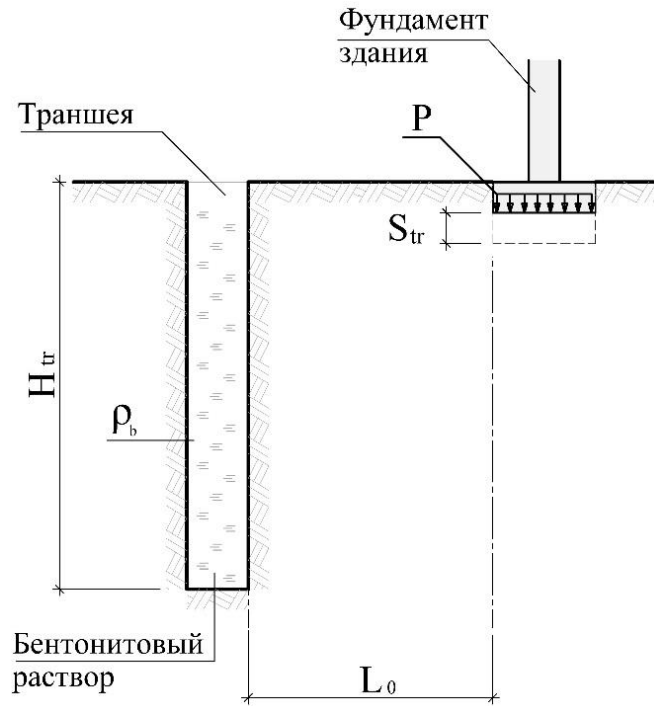


Рисунок 3.1. - Схема к расчетному случаю 1

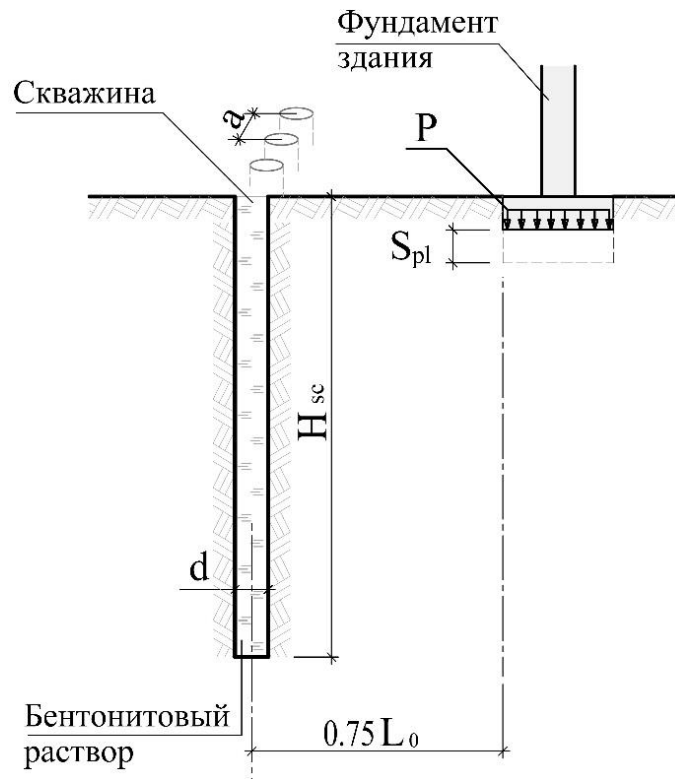


Рисунок 3.2. - Схема к расчетному случаю 2

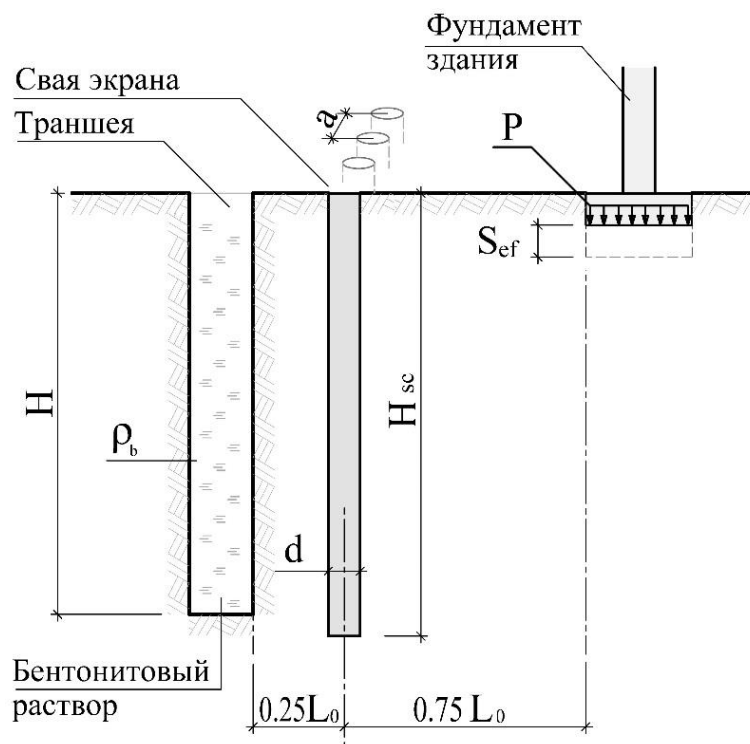


Рисунок 3.3. - Схема к расчетной ситуации 3

Моделирование расчетной ситуации производилось поэтапно. На исходной стадии моделировалось природное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, на следующей стадии к фундаменту прикладывалась эксплуатационная нагрузка, далее в зависимости от расчетной ситуации моделировалась разработка траншеи или скважины, заполненной бентонитовым раствором. Как уже отмечалось в предыдущей главе защитный бентонитовый раствор задавался путем давления на стенки и дно траншеи или скважины возрастающего с глубиной. Значение давления определялось из условия, что удельный вес глинистого раствора $\rho_b = 11 \text{ кН/м}^3$. В случае моделирования третьей расчетной ситуации следом за второй стадией (приложение эксплуатационной нагрузки к фундаменту существующего здания) выполнялась стадия устройства свай геотехнического экрана, далее следовала разработка траншеи, заполненной бентонитовым раствором. Результаты каждого выполненной стадии моделирования являлись начальными условиями для последующей стадии расчета.

Для моделирования свай и фундамента здания использовалась линейно-упругая модель с жесткостными характеристиками, приведенными в Таблице 3.3. При этом взаимодействие грунтового массива со сваями моделировалось контактными интерфейсными элементами, учитывающими технологию устройства свай. Так для завинчиваемых свай коэффициент снижения трения и сцепления грунта на поверхности свай принимался равным 1, а для буровых свай эти силы были снижены на 30%. Результаты ранее проведенных исследований по испытанию свай подтверждают факт снижения сопротивления грунта по боковой поверхности буронабивных свай.

Таблица 3.3 - Характеристики материалов конструкций

Характеристики материала (железобетон)	Условные обозначения	Единицы измерения	Величина
Модуль упругости	E	МПа	29000
Коэффициент Пуассона	ν	-	0,2
Объемный вес	γ	кН/м ³	24,0

Проведенные численные исследования совместной работы конструкции геотехнического экрана и грунтового массива позволили установить влияние исходных и регулируемых факторов на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа. Статистическая обработка результатов проведенных исследований выполнялась методом математического планирования экспериментов, основы которого изложены ниже. Подробно эта теория изложена в работах Ю.П. Адлера, Е.В. Марковой и Ю.В. Грановского [3], В.И. Асатуряна [5], Н. Джонсона и Ф. Лиона [28], Е.В.Марковой и А.Н. Лисенкова [47], Д.К. Монтгомери [53], Л.З. Румшинского [70] и др.

3.3 Математическая модель эксперимента

Применительно к поставленной задаче, целью метода математического планирования экспериментов является не только определение степени влияния различных характеристик на эффективность применения геотехнических экранов из разреженного ряда свай при разработке «стены в грунте» траншейного типа, но и установление зависимости исследуемой величины (коэффициента эффективности K_{ef}) от рассматриваемых параметров, изменяющихся в заданной области варьирования.

В таблице 3.4 приведены факторы их уровни и интервалы варьирования.

Таблица 3.4 - Уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Уровень факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
X_1 - диаметр свай d	0,20	0,40	0,60	0,20
X_2 - относительное расстояние между сваями a/d	2,00	3,00	4,00	1,00
X_3 - глубина экрана H_{sc}	16,00	26,00	36,00	10,00
X_4 - глубина траншеи H_{tr}	20,00	25,00	30,00	5,00
X_5 - относительное расстояние траншеи от фундамента H_{tr}/L_0	5,00	7,50	10,00	2,50
X_6 - модуль деформации E грунтового массива	15,00	22,50	30,00	7,50

Коэффициент эффективности применения геотехнического экрана K_{ef} является параметром оптимизации или откликом функции (3.3), которая аппроксимируется линейной моделью полиномиальной регрессии.

Значения коэффициентов B_i позволяют оценить линейные эффекты факторов, а коэффициентов $B_{ik...l}$ - силу влияния одного из факторов в зависимости от уровня, на котором находятся другие, то есть эффект взаимодействия факторов.

Полный факторный план эксперимента из шести факторов состоит из числа опытов, определяемых как:

$$N = m^k = 2^6, \quad (3.16)$$

где N - число опытов; m - число уровней; k - число факторов.

Модель типа (3.3) характеризует зависимость величины « Y » от значений независимых переменных (факторов) « X ».

В рассматриваемом случае выполняются все необходимые исходные предпосылки регрессионного анализа, а именно:

- зависимая переменная (отклик) – случайная величина с нормальным законом распределения;
- дисперсия в определении этой переменной не зависит от ее абсолютной величины;
- факторы изменяются с пренебрежительно малой ошибкой по сравнению с ошибкой в определении отклика.

План эксперимента в кодовом масштабе, приведенный в Таблице 3.4, обладает следующими важными свойствами:

- план симметричен относительно центра эксперимента, то есть, равна нулю сумма элементов любого столбца матрицы планирования:

$$\sum_{n=1}^N X_{in} = 0; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.17)$$

- план нормирован, то есть число опытов равно сумме квадратов элементов любого столбца:

$$\sum_{n=1}^N X_{in}^2 = N; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.18)$$

- план ортогонален, то есть сумма почленных произведений любых двух столбцов матрицы равна нулю:

$$\sum_{n=1}^N X_{in} X_{jn} = 0; i \neq j; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.19)$$

- план ротатабелен, то есть точки в матрице подбираются так, что точность предсказания значений параметра оптимизации одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависит от направления.

Важность этих свойств будет показана ниже при рассмотрении расчетных формул.

3.4 Оценка параметров модели

Условия проведения экспериментов представлены в Таблице 3.5.

Средняя дисперсия для каждого проведенного опыта рассчитывается по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{n=1}^n S_{yn}^2}{N}, \quad (3.20)$$

где S_{yn}^2 - построчная дисперсия каждого опыта, определяемая как:

$$S_{yn}^2 = \frac{\sum_{q=1}^{y_n} (Y_{nq} - Y_n)^2}{f_n}, \quad (3.21)$$

где Y_{nq} - результат q - го повторения n - го опыта; Y_n - среднее арифметическое значение n - го опыта; f_n - число степеней свободы при определении n - ой построчной дисперсии:

$$f_n = n - 1. \quad (3.21)$$

В численном эксперименте принималось трехкратное повторение опытов, следовательно $f_n = 2$.

Наибольшее значение дисперсии S_y^2 для расчетов 1 серии - 2.1×10^{-3} , 2 серии - 2.9×10^{-3} , 3 серии - 3.2×10^{-3} , 4 серии - 2.7×10^{-3} .

Для проверки однородности ряда построчных дисперсий рассчитаем значение критерия Кохрена по формуле:

$$G^{расч} = \frac{S_{yn(max)}^2}{\sum_{n=1}^{N_0} S_{yn}^2}, \quad (3.22)$$

где $S_{yn(max)}^2$ - наибольшая в ряду дисперсия; N_0 - число опытов с дублированием.

Следовательно, критерий Кохрена имеет значение для расчетов 1 серии - $G^{расч}=0.0109$, 2 серии $G^{расч}=0.0221$, 3 серии $G^{расч}=0.0203$, 4 серии $G^{расч}=0.0174$.

Таблица 3.5 - Условия проведения экспериментов

№ эксперимента	Факторы						Y _n			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
1	+	+	+	+	+	+	0,581	0,663	0,520	0,627
2	-	+	+	+	+	+	0,502	0,530	0,489	0,521
3	+	-	+	+	+	+	0,614	0,744	0,558	0,720
4	-	-	+	+	+	+	0,587	0,623	0,524	0,570
5	+	+	-	+	+	+	0,520	0,565	0,350	0,395
6	-	+	-	+	+	+	0,453	0,474	0,287	0,306
7	+	-	-	+	+	+	0,545	0,622	0,357	0,422
8	-	-	-	+	+	+	0,526	0,555	0,293	0,319
9	+	+	+	-	+	+	0,696	0,747	0,600	0,750
10	-	+	+	-	+	+	0,528	0,543	0,557	0,600
11	+	-	+	-	+	+	0,733	0,815	0,625	0,848
12	-	-	+	-	+	+	0,608	0,631	0,596	0,661
13	+	+	-	-	+	+	0,623	0,653	0,503	0,567
14	-	+	-	-	+	+	0,495	0,508	0,426	0,452
15	+	-	-	-	+	+	0,658	0,712	0,507	0,606
16	-	-	-	-	+	+	0,583	0,601	0,443	0,483
17	+	+	+	+	-	+	0,436	0,655	0,431	0,542
18	-	+	+	+	-	+	0,426	0,519	0,405	0,437
19	+	-	+	+	-	+	0,473	0,800	0,437	0,608
20	-	-	+	+	-	+	0,463	0,593	0,409	0,452
21	+	+	-	+	-	+	0,200	0,345	0,166	0,208
22	-	+	-	+	-	+	0,148	0,204	0,140	0,161
23	+	-	-	+	-	+	0,218	0,473	0,176	0,240
24	-	-	-	+	-	+	0,167	0,259	0,154	0,179
25	+	+	+	-	-	+	0,558	0,687	0,445	0,632
26	-	+	+	-	-	+	0,507	0,551	0,410	0,410
27	+	-	+	-	-	+	0,599	0,769	0,446	0,724
28	-	-	+	-	-	+	0,581	0,640	0,416	0,491
29	+	+	-	-	-	+	0,510	0,578	0,233	0,313
30	-	+	-	-	-	+	0,449	0,478	0,202	0,231
31	+	-	-	-	-	+	0,544	0,660	0,237	0,351
32	-	-	-	-	-	+	0,507	0,551	0,208	0,249

№ эксперимента	Факторы						Y _n			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
33	+	+	+	+	+	-	0,629	0,693	0,557	0,652
34	-	+	+	+	+	-	0,555	0,591	0,499	0,533
35	+	-	+	+	+	-	0,658	0,756	0,574	0,715
36	-	-	+	+	+	-	0,644	0,688	0,527	0,573
37	+	+	-	+	+	-	0,530	0,577	0,371	0,418
38	-	+	-	+	+	-	0,461	0,494	0,305	0,330
39	+	-	-	+	+	-	0,561	0,632	0,377	0,442
40	-	-	-	+	+	-	0,539	0,578	0,312	0,343
41	+	+	+	-	+	-	0,717	0,766	0,612	0,749
42	-	+	+	-	+	-	0,576	0,598	0,584	0,632
43	+	-	+	-	+	-	0,749	0,820	0,633	0,837
44	-	-	+	-	+	-	0,677	0,704	0,602	0,670
45	+	+	-	-	+	-	0,627	0,665	0,511	0,581
46	-	+	-	-	+	-	0,517	0,537	0,468	0,505
47	+	-	-	-	+	-	0,661	0,715	0,532	0,630
48	-	-	-	-	+	-	0,604	0,628	0,496	0,541
49	+	+	+	+	-	-	0,549	0,658	0,444	0,539
50	-	+	+	+	-	-	0,531	0,600	0,428	0,462
51	+	-	+	+	-	-	0,592	0,750	0,451	0,597
52	-	-	+	+	-	-	0,587	0,665	0,437	0,484
53	+	+	-	+	-	-	0,216	0,288	0,203	0,246
54	-	+	-	+	-	-	0,206	0,270	0,172	0,200
55	+	-	-	+	-	-	0,236	0,353	0,206	0,269
56	-	-	-	+	-	-	0,231	0,302	0,177	0,209
57	+	+	+	-	-	-	0,608	0,689	0,491	0,660
58	-	+	+	-	-	-	0,562	0,607	0,461	0,520
59	+	-	+	-	-	-	0,649	0,768	0,493	0,741
60	-	-	+	-	-	-	0,640	0,693	0,475	0,555
61	+	+	-	-	-	-	0,523	0,578	0,284	0,368
62	-	+	-	-	-	-	0,451	0,491	0,242	0,287
63	+	-	-	-	-	-	0,554	0,644	0,283	0,397
64	-	-	-	-	-	-	0,514	0,560	0,248	0,301

Для полученных величин $G^{расч}$, используя G - критерий Кохрена, при уровне значимости $\alpha = 0.05$, степени свободы $f_n = 2$ и числе опытов $N=64$ найдем табличное [21] значение $G^{табл} = 0.1370$.

Так как все полученные значения $G^{расч} < G^{табл}$ - ряд дисперсий можно считать однородным.

Тогда, средняя дисперсия, определенная по формуле (3.28), $S_y^2=0.003$, а число степеней свободы анализируемого эксперимента $f_l=N(n-1)=64(3-1)=128$.

Использование в математической модели планирования эксперимента 6 факторов уравнение (3.3) запишется в виде:

$$\begin{aligned}
 Y = B_0 + \sum_{i=1}^6 B_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq 6} B_{ij} X_i X_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq 6} B_{ijk} X_i X_j X_k \\
 + \sum_{1 \leq i < j < k < l \leq 6} B_{ijkl} X_i X_j X_k X_l + \sum_{1 \leq i < j < k < l < m \leq 6} B_{ijklm} X_i X_j X_k X_l X_m \\
 + \sum_{1 \leq i < j < k < l < m \leq 6} B_{ijklm} X_i X_j X_k X_l X_m \\
 + \sum_{1 \leq i < j < k < l < m < p \leq 6} B_{ijklmp} X_i X_j X_k X_l X_m X_p + B_{123456} X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Коэффициенты уравнения регрессии будут вычисляться по формулам:

$$B_0 = \frac{\sum_{n=1}^N Y_{in}}{N}, \tag{3.24}$$

$$B_i = \frac{\sum_{n=1}^N X_i Y_{in}}{N}, i = 1, 2, \dots, N \tag{3.25}$$

Значения вычисленных коэффициентов регрессии представлены в Таблице 3.6, эти коэффициенты будут считаться значимыми если выполняются условие:

$$|B_i| \geq t_{\alpha_i f_1} S_{bj}, \tag{3.26}$$

где: $t_{\alpha_i f_1} = 2.04$ - критерий Стьюдента;

$\alpha = 0.05$ - уровень значимости;

$f_1 = 64$ - число степеней свободы;

$S_{bj} = \sqrt{S_{bj}^2}$ - среднеквадратичная ошибка в определении

i – го коэффициента регрессии; $i = 0, 1, 2, \dots, 64$.

$$S_{bj}^2 = \frac{S_y^2}{nN}, \tag{3.27}$$

Таблица 3.6 - Коэффициенты уравнений регрессии

1 серия											
B_0	0,522	B_{15}	0,012	B_{46}	-0,006	B_{146}	0,000	B_{456}	0,005	B_{2346}	0,000
B_1	0,027	B_{16}	0,003	B_{56}	0,006	B_{156}	0,001	B_{1234}	0,000	B_{2456}	0,000
B_2	-0,025	B_{23}	-0,003	B_{123}	0,001	B_{234}	-0,001	B_{1235}	0,000	B_{3456}	0,001
B_3	0,066	B_{24}	0,003	B_{124}	-0,002	B_{235}	0,002	B_{1236}	-0,001	B_{12345}	0,000
B_4	-0,066	B_{25}	-0,004	B_{125}	0,004	B_{236}	-0,003	B_{1245}	0,002	B_{12346}	0,000
B_5	0,071	B_{26}	0,001	B_{126}	-0,001	B_{246}	0,000	B_{1246}	0,000	B_{12356}	0,000
B_6	-0,021	B_{34}	0,030	B_{134}	-0,002	B_{256}	0,000	B_{1345}	-0,002	B_{12456}	0,000
B_{12}	0,009	B_{35}	-0,030	B_{135}	0,005	B_{345}	-0,026	B_{1346}	-0,002	B_{13456}	0,002
B_{13}	0,000	B_{36}	-0,012	B_{136}	0,000	B_{346}	-0,003	B_{1456}	-0,003	B_{23456}	-0,001
B_{14}	-0,011	B_{45}	0,030	B_{145}	-0,005	B_{356}	0,004	B_{2345}	0,000	B_{123456}	0,000
2 серия											
B_0	0,595	B_{15}	0,002	B_{46}	0,001	B_{146}	0,005	B_{456}	-0,001	B_{2346}	0,000
B_1	0,056	B_{16}	0,014	B_{56}	-0,005	B_{156}	-0,006	B_{1234}	0,000	B_{2456}	0,002
B_2	-0,039	B_{23}	-0,003	B_{123}	0,000	B_{234}	-0,001	B_{1235}	-0,001	B_{3456}	0,001
B_3	0,078	B_{24}	-0,001	B_{124}	-0,004	B_{235}	0,001	B_{1236}	-0,001	B_{12345}	0,000
B_4	-0,048	B_{25}	0,001	B_{125}	0,007	B_{236}	-0,001	B_{1245}	0,003	B_{12346}	0,000
B_5	0,043	B_{26}	-0,003	B_{126}	-0,002	B_{246}	-0,002	B_{1246}	-0,001	B_{12356}	-0,001
B_6	-0,010	B_{34}	0,032	B_{134}	-0,001	B_{256}	0,002	B_{1345}	-0,001	B_{12456}	0,001
B_{12}	0,001	B_{35}	-0,035	B_{135}	0,003	B_{345}	-0,026	B_{1346}	-0,002	B_{13456}	0,002
B_{13}	0,007	B_{36}	-0,007	B_{136}	0,002	B_{346}	-0,001	B_{1456}	-0,006	B_{23456}	-0,001
B_{14}	-0,005	B_{45}	0,021	B_{145}	-0,008	B_{356}	0,001	B_{2345}	0,000	B_{123456}	0,000
3 серия											
B_0	0,406	B_{15}	0,005	B_{46}	0,003	B_{146}	-0,002	B_{456}	-0,002	B_{2346}	0,001
B_1	0,019	B_{16}	0,001	B_{56}	0,004	B_{156}	0,000	B_{1234}	0,000	B_{2456}	0,000
B_2	-0,006	B_{23}	-0,002	B_{123}	0,000	B_{234}	-0,001	B_{1235}	0,000	B_{3456}	-0,002
B_3	0,098	B_{24}	0,000	B_{124}	-0,001	B_{235}	-0,002	B_{1236}	0,000	B_{12345}	0,000
B_4	-0,040	B_{25}	-0,004	B_{125}	0,000	B_{236}	-0,001	B_{1245}	0,000	B_{12346}	0,000
B_5	0,081	B_{26}	-0,001	B_{126}	0,000	B_{246}	-0,001	B_{1246}	0,000	B_{12356}	0,000
B_6	-0,014	B_{34}	0,016	B_{134}	0,000	B_{256}	0,000	B_{1345}	0,000	B_{12456}	-0,001
B_{12}	0,001	B_{35}	-0,019	B_{135}	-0,002	B_{345}	0,005	B_{1346}	0,000	B_{13456}	0,000
B_{13}	-0,003	B_{36}	0,002	B_{136}	0,000	B_{346}	0,000	B_{1456}	-0,002	B_{23456}	0,000
B_{14}	0,000	B_{45}	-0,017	B_{145}	0,002	B_{356}	0,001	B_{2345}	-0,001	B_{123456}	0,000
4 серия											
B_0	0,485	B_{15}	0,002	B_{46}	0,005	B_{146}	-0,003	B_{456}	-0,003	B_{2346}	0,001
B_1	0,058	B_{16}	0,005	B_{56}	0,005	B_{156}	-0,001	B_{1234}	0,000	B_{2456}	-0,001
B_2	-0,022	B_{23}	-0,009	B_{123}	-0,003	B_{234}	0,001	B_{1235}	0,000	B_{3456}	-0,003
B_3	0,124	B_{24}	0,004	B_{124}	0,000	B_{235}	0,000	B_{1236}	0,000	B_{12345}	0,001
B_4	-0,057	B_{25}	-0,002	B_{125}	0,000	B_{236}	-0,002	B_{1245}	0,001	B_{12346}	-0,001
B_5	0,077	B_{26}	-0,002	B_{126}	0,000	B_{246}	0,000	B_{1246}	-0,001	B_{12356}	-0,001
B_6	-0,014	B_{34}	0,011	B_{134}	-0,004	B_{256}	0,000	B_{1345}	0,002	B_{12456}	0,000
B_{12}	-0,006	B_{35}	-0,021	B_{135}	-0,005	B_{345}	0,006	B_{1346}	-0,001	B_{13456}	0,001
B_{13}	0,016	B_{36}	0,004	B_{136}	0,002	B_{346}	0,001	B_{1456}	-0,001	B_{23456}	-0,001
B_{14}	-0,009	B_{45}	-0,013	B_{145}	0,005	B_{356}	0,001	B_{2345}	-0,002	B_{123456}	0,000

Таким образом, выделив значимые коэффициенты, уравнения регрессии примут следующий вид:

для 1 серии расчетов

$$y = 0,522 + 0,027X_1 - 0,025X_2 + 0,066X_3 - 0,066X_4 + 0,071X_5 - \\ -0,021X_6 - 0,011X_1X_4 + 0,012X_1X_5 + 0,030X_3X_4 - \\ - 0,030X_3X_5 - 0,012X_3X_6 + 0,030X_4X_5 - 0,026X_3X_4X_5 \quad (3.28)$$

для 2 серии расчетов

$$y = 0,406 + 0,019X_1 - 0,006X_2 + 0,098X_3 - 0,040X_4 + 0,081X_5 - \\ -0,014X_6 + 0,005X_1X_5 + 0,016X_3X_4 - 0,019X_3X_5 - \\ -0,017X_4X_5 + 0,005X_3X_4X_5 \quad (3.29)$$

для 3 серии расчетов

$$y = 0,595 + 0,056X_1 - 0,039X_2 + 0,078X_3 - 0,048X_4 + 0,043X_5 - \\ -0,010X_6 + 0,032X_3X_4 - 0,035X_3X_5 + 0,021X_4X_5 - \\ -0,026X_3X_4X_5 \quad (3.30)$$

для 4 серии расчетов

$$y = 0,485 + 0,058X_1 - 0,022X_2 + 0,124X_3 - 0,057X_4 + 0,077X_5 - \\ -0,014X_6 + 0,016X_1X_3 + 0,011X_3X_4 - 0,021X_3X_5 - \\ -0,013X_4X_5 \quad (3.31)$$

Полученные уравнения регрессии в виде (3.28), (3.29), (3.30), (3.31) необходимо проверить на адекватность, при помощи критерия Фишера, расчетное значение которого определяется по формуле:

$$F_{f_1f_2}^{\text{расч}} = \frac{S_{\text{неадекват}}^2}{S_y^2}, \quad (3.32)$$

где S_y^2 - средняя дисперсия опыта; f_1 - число степеней свободы этих опытов; $S_{\text{неадекват}}^2$ - дисперсия неадекватности; f_2 - число степеней свободы неадекватности.

Дисперсия неадекватности определяется по формуле

$$S_{\text{неадекват}}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (Y_n^{\text{расч}} - Y_n^{\text{эксп}})^2}{f_2}, \quad (3.33)$$

где $Y_n^{\text{расч}}$ - значение отклика в n -ом опыте, рассчитываемое по уравнениям регрессии (3.28), (3.29), (3.30), (3.31); $Y_n^{\text{эксп}}$ - значение отклика в n -ом опыте, определенное экспериментально.

Число степеней свободы f_2 определяется как:

$$f_2 = N - k, \quad (3.34)$$

где N - число опытов плана, k - число коэффициентов уравнения (3.28), (3.29), (3.30), (3.31).

Определив f_2 , из формулы (3.42), используя уравнение регрессии (3.28), (3.29), (3.30), (3.31), значения коэффициентов из Таблицы 3.6, а также экспериментально полученные значения отклика, получим, что для расчетов 1 серии $S_{\text{неадекват}}^2 = 1.05973 \times 10^{-3}$, 2 серии $S_{\text{неадекват}}^2 = 1.06391 \times 10^{-3}$, 3 серии $S_{\text{неадекват}}^2 = 1.07937 \times 10^{-3}$, 4 серии $S_{\text{неадекват}}^2 = 1.05842 \times 10^{-3}$

Таким образом, из формулы (3.32) следует, что расчетное значение критерия Фишера для расчетов 1 серии $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}} = 0.49135$, 2 серии $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}} = 0.3833$, 3 серии $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}} = 0.4154$, 4 серии $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}} = 0.4017$. Критерий же Фишера, соответствующий степеням свободы $f_1 = 64$ и $f_2 = 53$ при уровне значимости $\alpha = 0.05$, равен $F_{f_1 f_2}^{\alpha} = 1.00$.

Сопоставив полученные значения $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}}$ и $F_{f_1 f_2}^{\alpha}$, установили, что $F_{f_1 f_2}^{\text{расч}} < F_{f_1 f_2}^{\alpha}$. Таким образом, гипотеза об адекватности уравнений регрессии (3.28), (3.29), (3.30), (3.31) верна.

3.5 Анализ результатов

Выполненный на основе теории математического планирования эксперимента факторный анализ показал, что наибольшей силой влияния на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай, используемого для снижения осадок зданий окружающей застройки, вызванных устройством траншеи под «стену в грунте», обладают глубина разрабатываемой траншеи и ее расстояние от фундамента здания, диаметр и длина свай геотехнического экрана, далее следует модуль деформации грунтового массива и относительное расстояние между сваями защитной конструкции. Для наглядности установленная в результате проведенного математического анализа относительная сила влияния факторов на коэффициент эффективности применения геотехнического экрана K_{ef} показана на Рисунке 3.4 в виде диаграмм.

В целом при исследовании эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай для защиты окружающей застройки при разработке «стены в грунте» траншейного типа необходимо оперировать практически всеми рассмотренными факторами (исходными и регулируемыми), считая их существенными.

Полученные зависимости коэффициента K_{ef} от рассмотренных факторов показаны на Рисунках 3.5 ... 3.13 в виде следующих графиков:

- $K_{ef} = f(d)$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от диаметра свай геотехнического экрана;
- $K_{ef} = f(H_{sc})$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от длины свай геотехнического экрана;
- $K_{ef} = f(H_{tr})$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от глубины траншеи;
- $K_{ef} = f(H_{sc}/H_{tr})$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от относительной длины свай экрана;

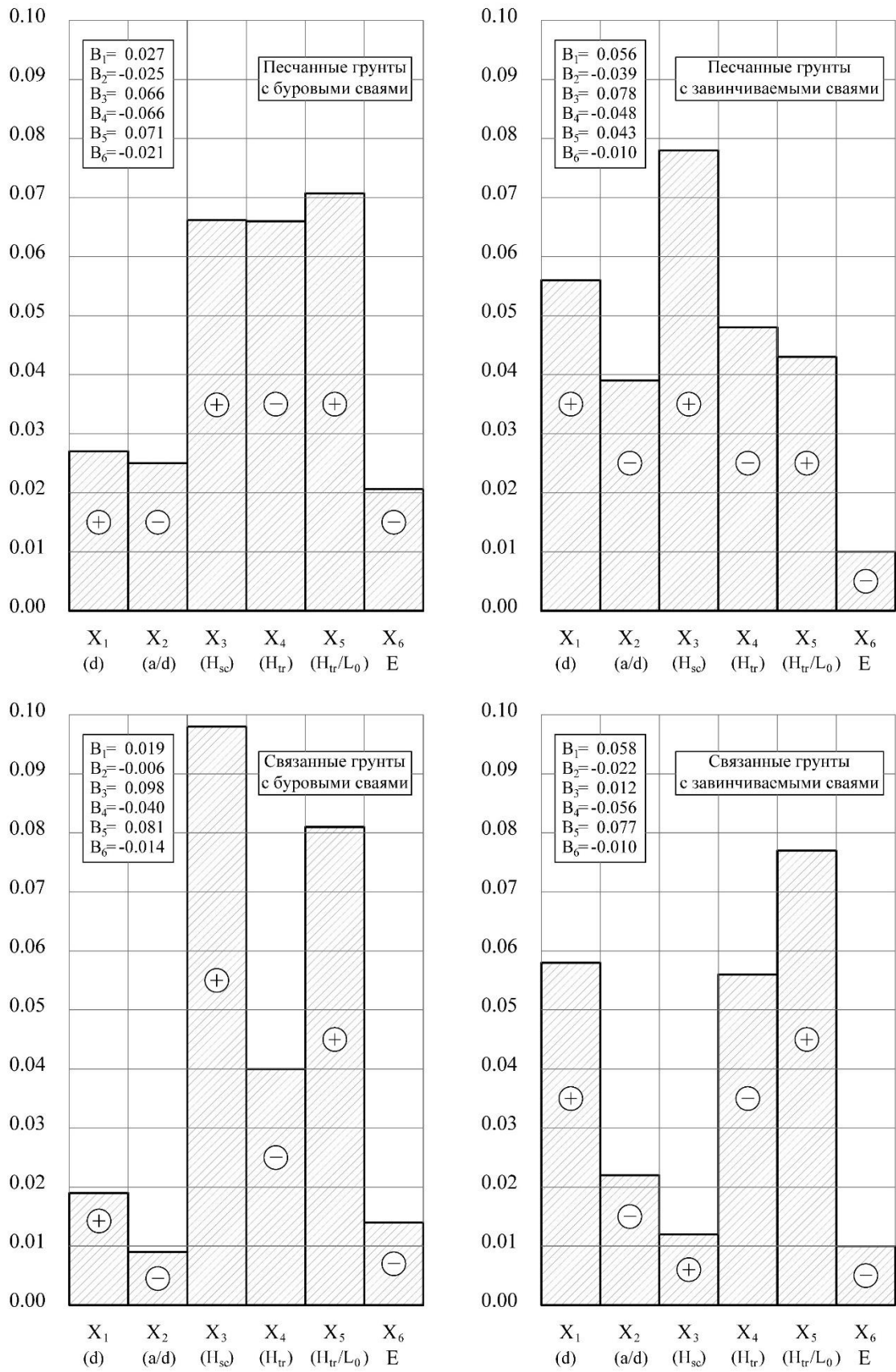


Рисунок 3.4. - Относительная сила влияния факторов на коэффициент эффективности применения геотехнического экрана

- $K_{ef} = f(H_{tr}/L_0)$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от относительного расстояния траншеи фундамента здания;
- $K_{ef} = f(E)$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} модуля деформации грунтового массива;
- $K_{ef} = f(E)$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от модуля деформации грунтового массива при различных типа грунта;
- $K_{ef} = f(d)$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} диаметра свай геотехнического экрана при различной технологии изготовления свай;

$K_{ef} = f(H_{sc})$ - графики зависимости коэффициента эффективности K_{ef} длины свай геотехнического экрана при различной технологии изготовления свай.

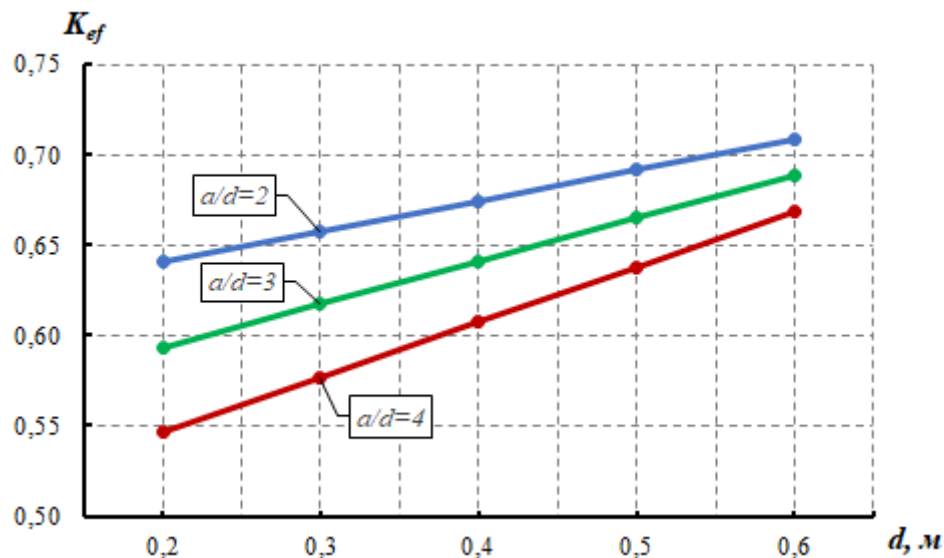


Рисунок 3.5. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от диаметра свай геотехнического экрана $K_{ef}=f(d)$ при $H_{sc}=26$ м, $H_{tr}=20$ м, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15$ МПа

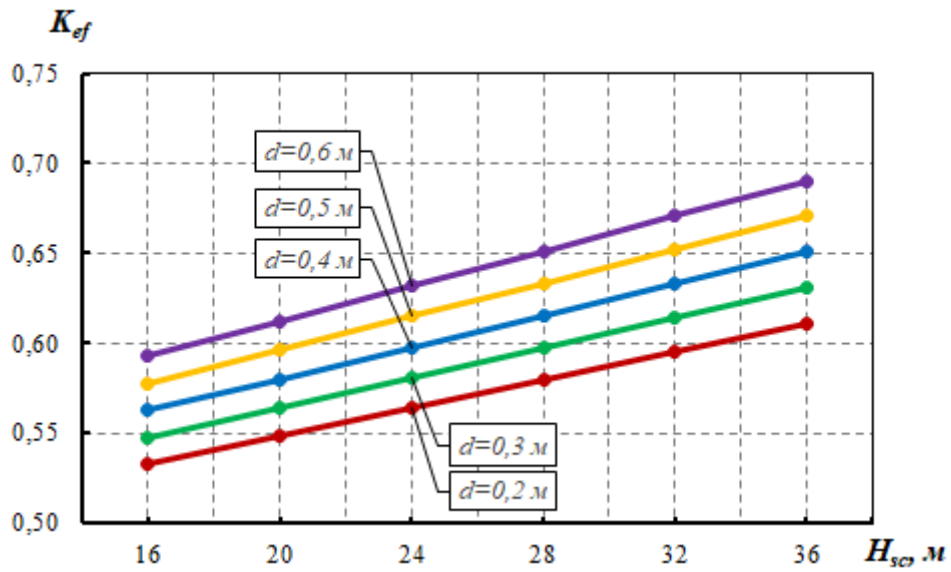


Рисунок 3.6. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от длины свай геотехнического экрана $K_{ef}=f(H_{sc})$ при $a/d=3$, $H_{tr}=25$ м, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15$ МПа

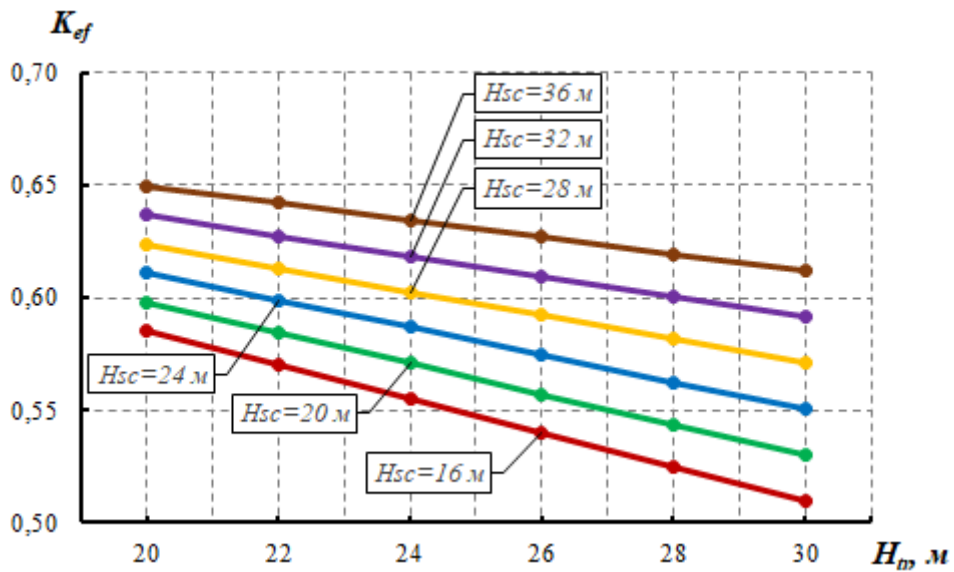


Рисунок 3.7. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от глубины траншеи $K_{ef}=f(H_{tr})$ при $a/d=3$, $d=0,3$ м, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15$ МПа

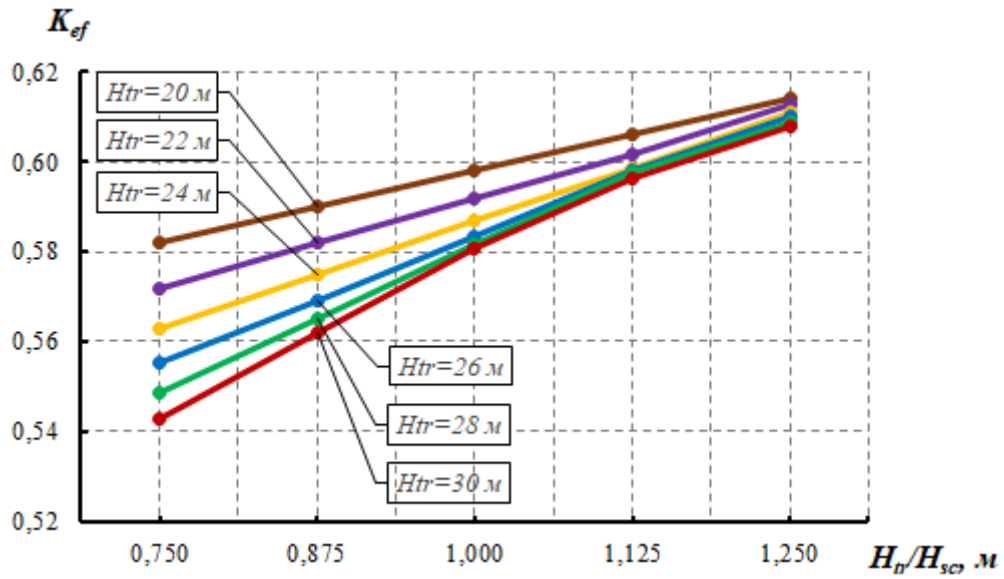


Рисунок 3.8. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от относительной глубины траншеи $K_{ef}=f(H_{sc}/H_{tr})$ при $a/d=3$, $d=0,3 м$, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15 МПа$

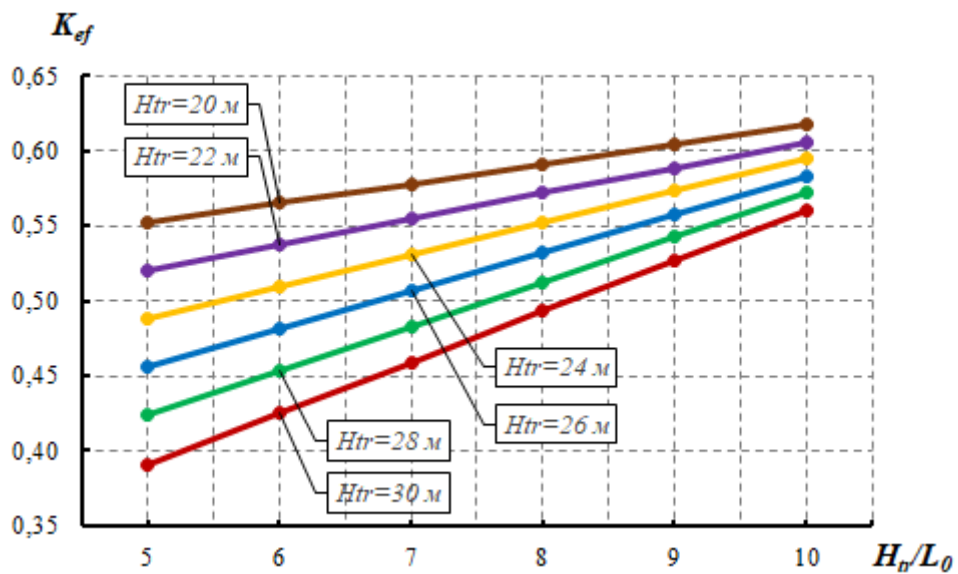


Рисунок 3.9. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от относительного расстояния траншеи $K_{ef}=f(H_{tr}/L_0)$ при $a/d=3$, $d=0,3 м$, $H_{sc}=26 м$, $E=15 МПа$

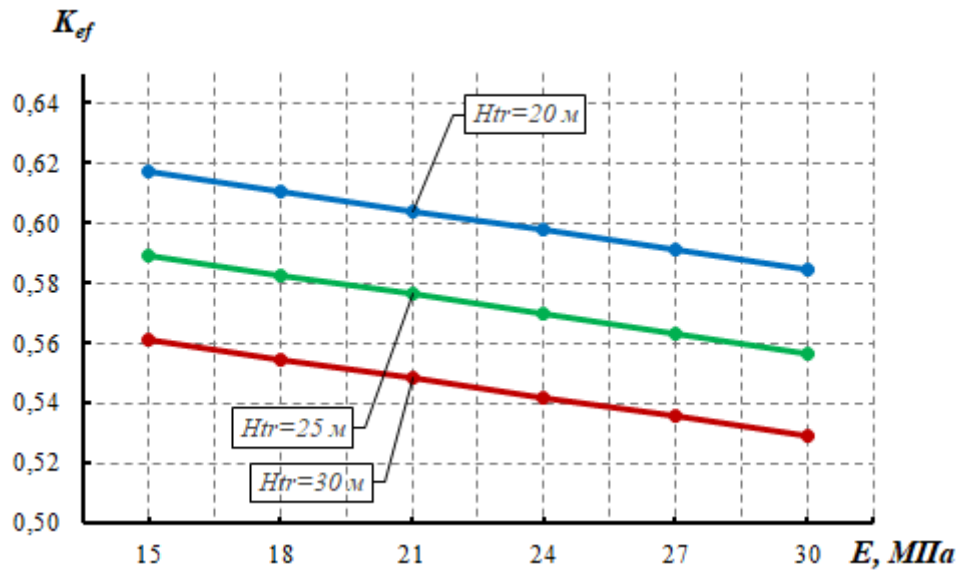


Рисунок 3.10. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от модуля деформации грунтового массива $K_{ef}=f(E)$ при $a/d=3$, $d=0,3$ м, $H_{sc}=26$ м, $H_{tr}/L_0=10$

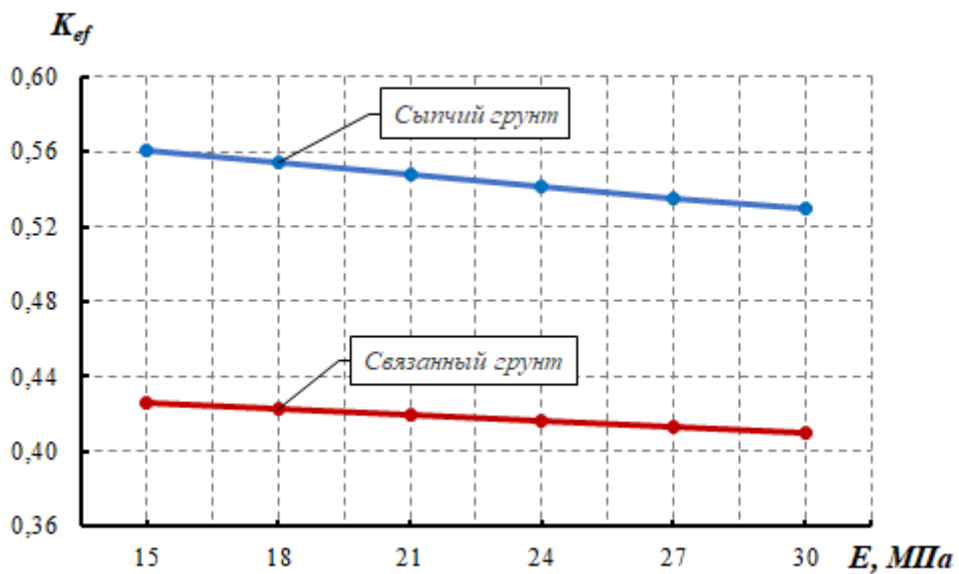


Рисунок 3.11. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от модуля деформации грунтового массива различных типах грунтов $K_{ef}=f(E)$ при $a/d=3$, $d=0,3$ м, $H_{sc}=26$ м, $H_{tr}=30$ м, $H_{tr}/L_0=10$

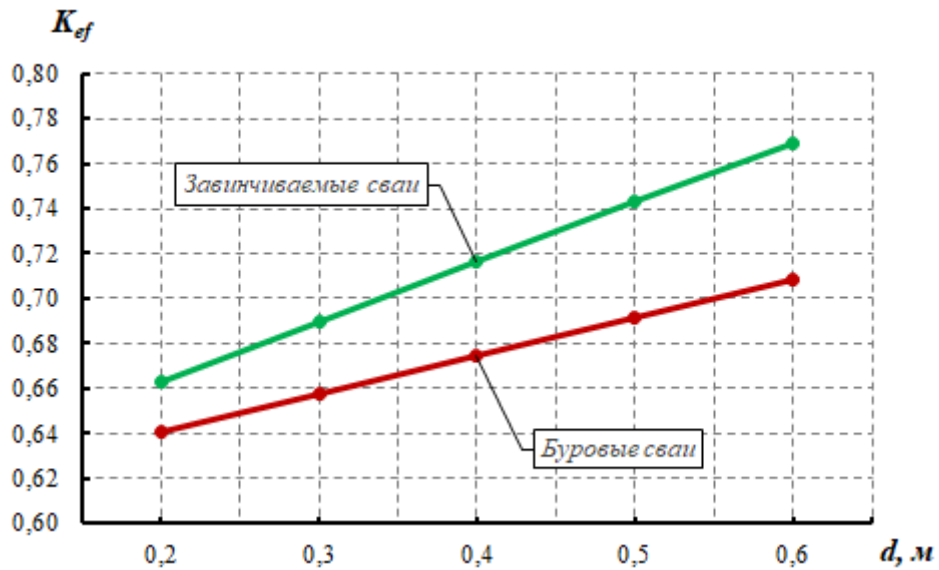


Рисунок 3.12. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от диаметра свай геотехнического экрана и технологии их изготовления $K_{ef}=f(d)$ при $a/d=2$, $H_{sc}=26$ м, $H_{tr}=30$ м, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15$ МПа

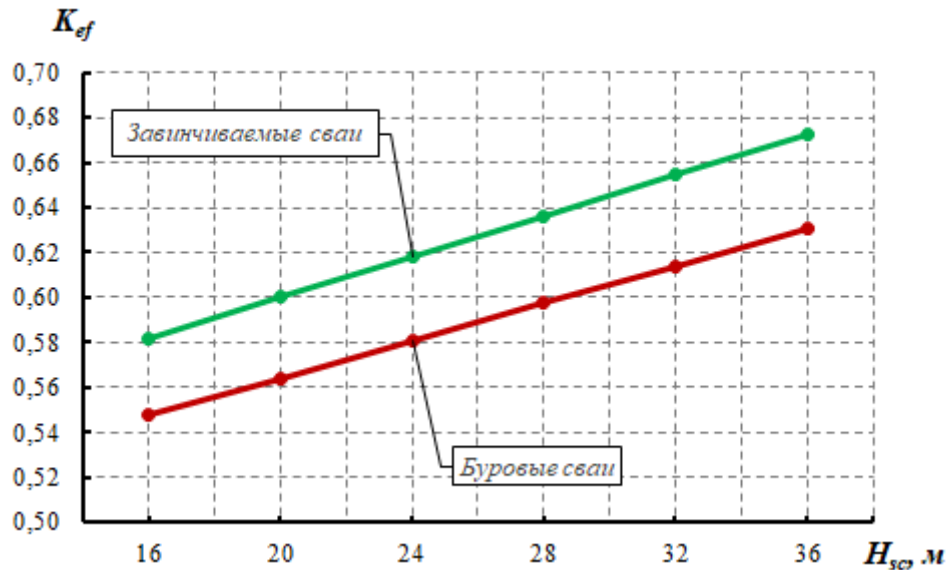


Рисунок 3.13. - График зависимости коэффициента эффективности K_{ef} от длины свай геотехнического экрана и технологии их изготовления $K_{ef}=f(H_{sc})$ при $a/d=2$, $d=0,3$ м, $H_{tr}=30$ м, $H_{tr}/L_0=10$, $E=15$ МПа

Приведенные графики составляют лишь часть полученных, но, являясь характерными, позволяют в полной мере проанализировать влияние различных факторов на коэффициент эффективности применения геотехнического экрана при устройстве «стены в грунте» траншейного типа.

Из приведенных графиков следует:

- эффективность применения геотехнического экрана повышается с увеличением диаметра и длины свай и уменьшением относительного осевого расстояния между сваями;
- увеличение глубины разрабатываемой траншеи снижает коэффициент эффективности, при этом, анализируя влияния соотношения длины свай экрана к глубине траншеи, необходимо отметить, что увеличение коэффициента эффективности с ростом относительной длины свай проходит наиболее интенсивно до значения этого соотношения равного 1.0, дальнейшее увеличение длины свай не ведет к существенному росту эффективности применения экрана;
- увеличение коэффициента эффективности происходит совместно с увеличением относительного расстояния траншеи по отношению к фундаменту, при этом эффективность применения геотехнического экрана растет с уменьшением глубины траншеи и ее расстояния до фундамента здания;
- применение геотехнического экрана наиболее эффективно в грунтах с более низкими модулями деформации, причем в песчаных грунтах коэффициент эффективности будет выше по сравнению со связными;
- технологии выполнения свай, связные с устройством скважин под защитой бентонитового раствора, приводят к существенному снижению коэффициента эффективности.

Полученные в результате численных исследований закономерности влияния исходных (грунтовые условия, характеристики траншеи) и регулируемых (характеристики экрана, технология устройства свай экрана) параметров на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа согласуются с данными мониторинга за строительством зданий в условиях стесненной городской застройки, имеют физическое объяснение и не противоречат имеющимся представлениям о работе защитных отсечных экранов.

3.6 Определение параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай

На основании проведенного анализа разработаны и построены номограммы по определению конструктивных параметров геотехнических экранов из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа, в зависимости от исходных условий и технологии изготовления свай, которые представлены на Рисунках 3.14 ... 3.17.

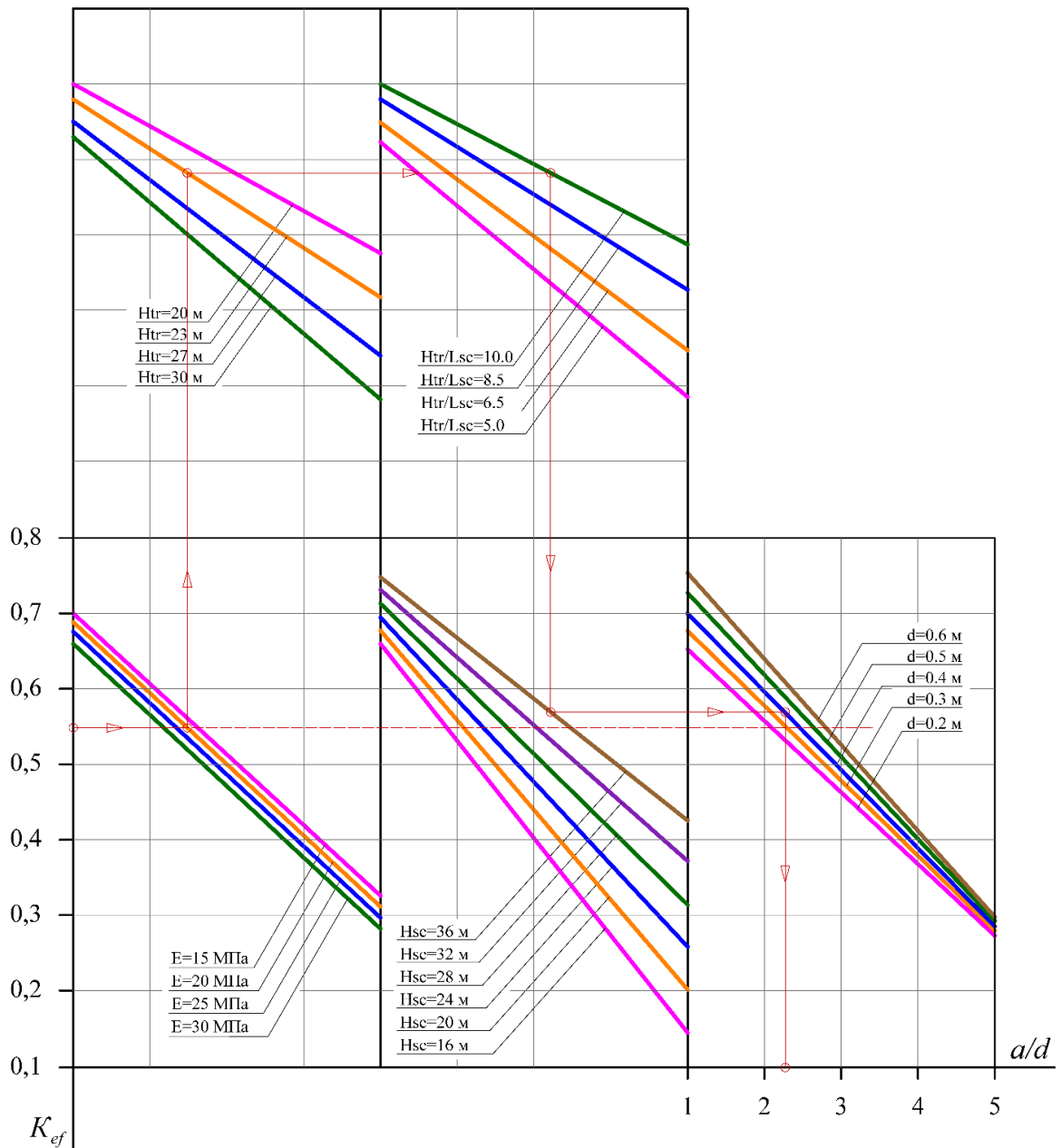


Рисунок 3.14. - Номограмма для определения параметров геотехнического экрана в песчаных грунтах при применении буровых свай

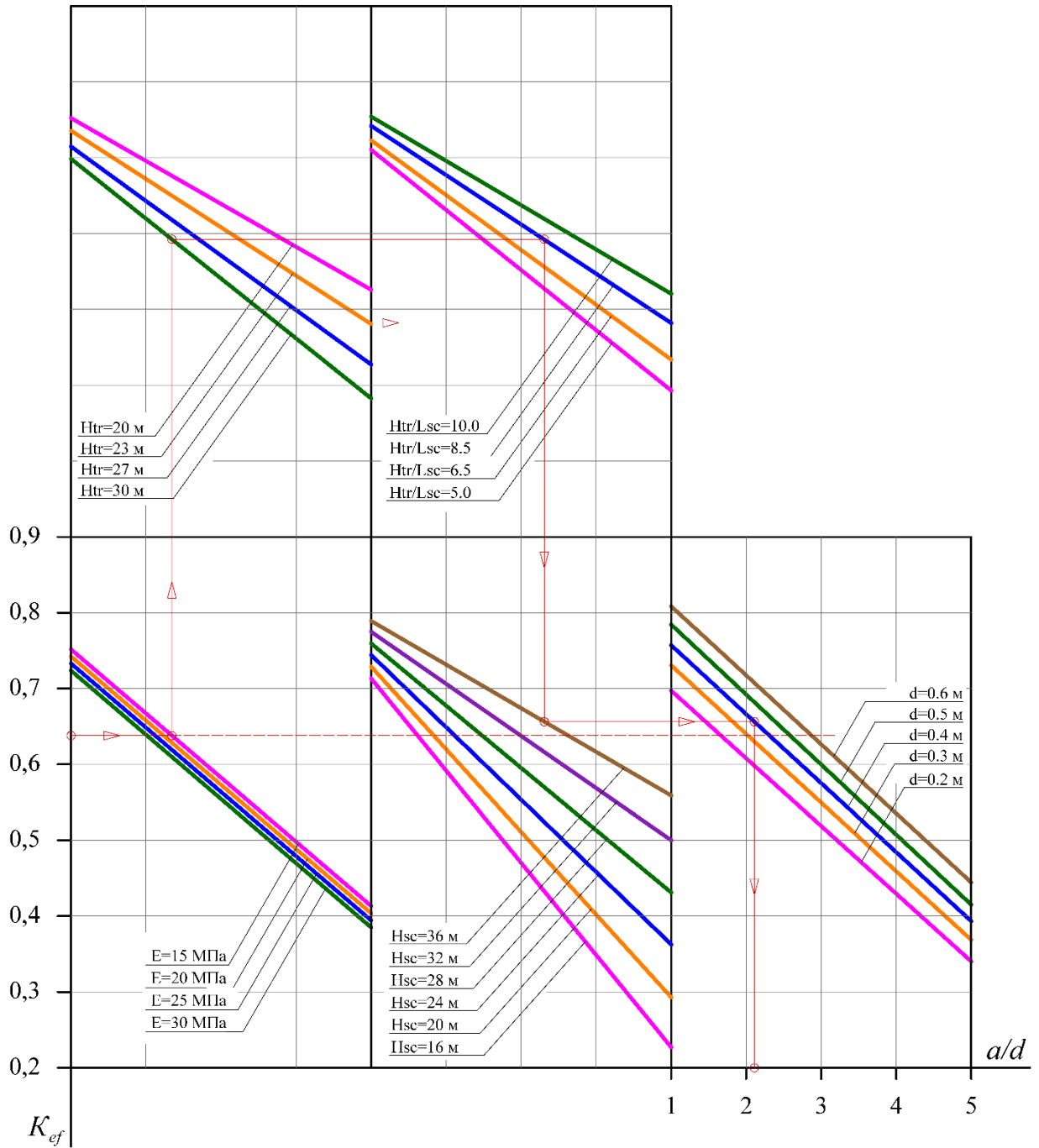


Рисунок 3.15. - Номограмма для определения параметров геотехнического экрана в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

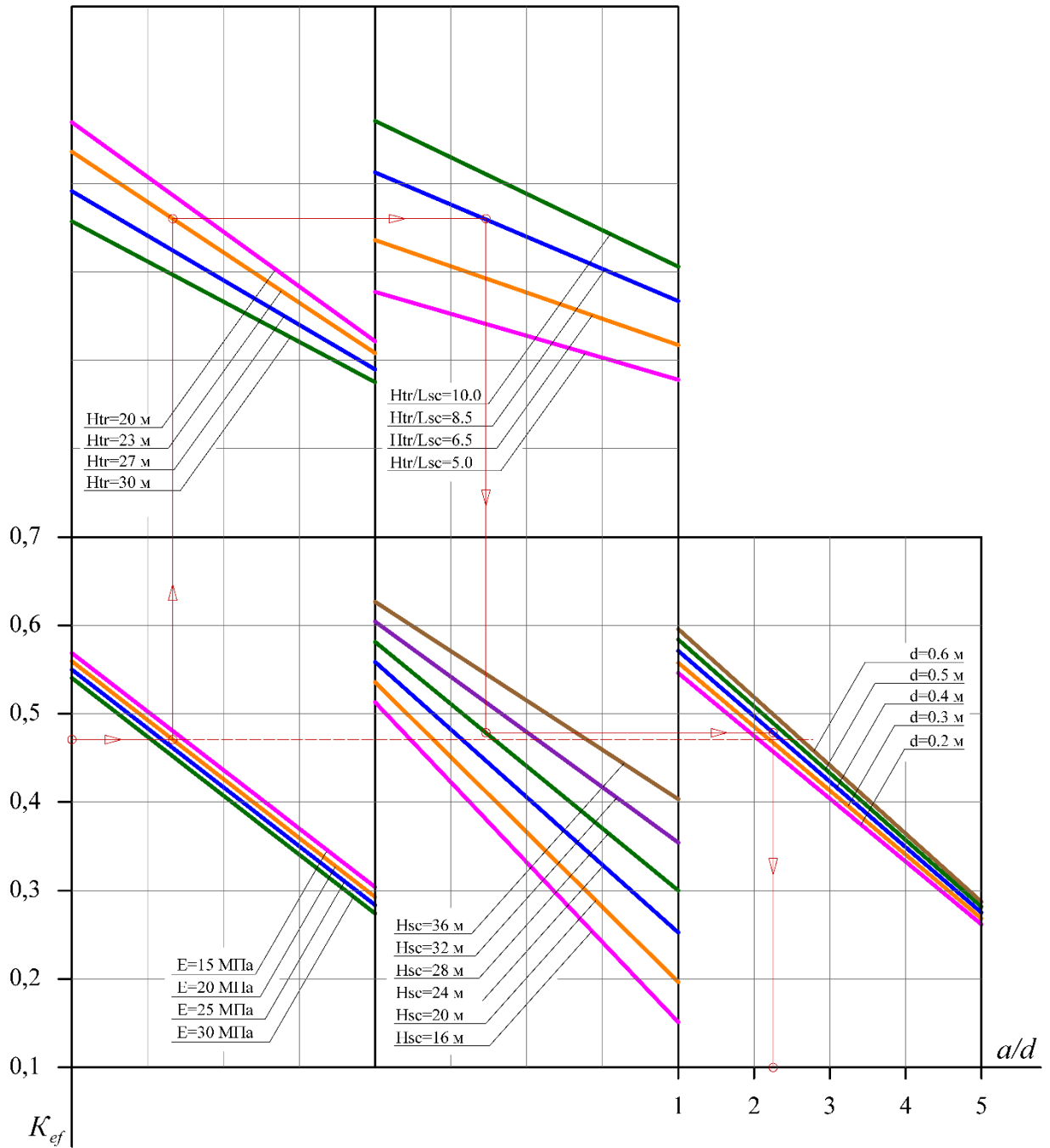


Рисунок 3.16. - Номограмма для определения параметров геотехнического экрана в связных грунтах при применении буровых свай

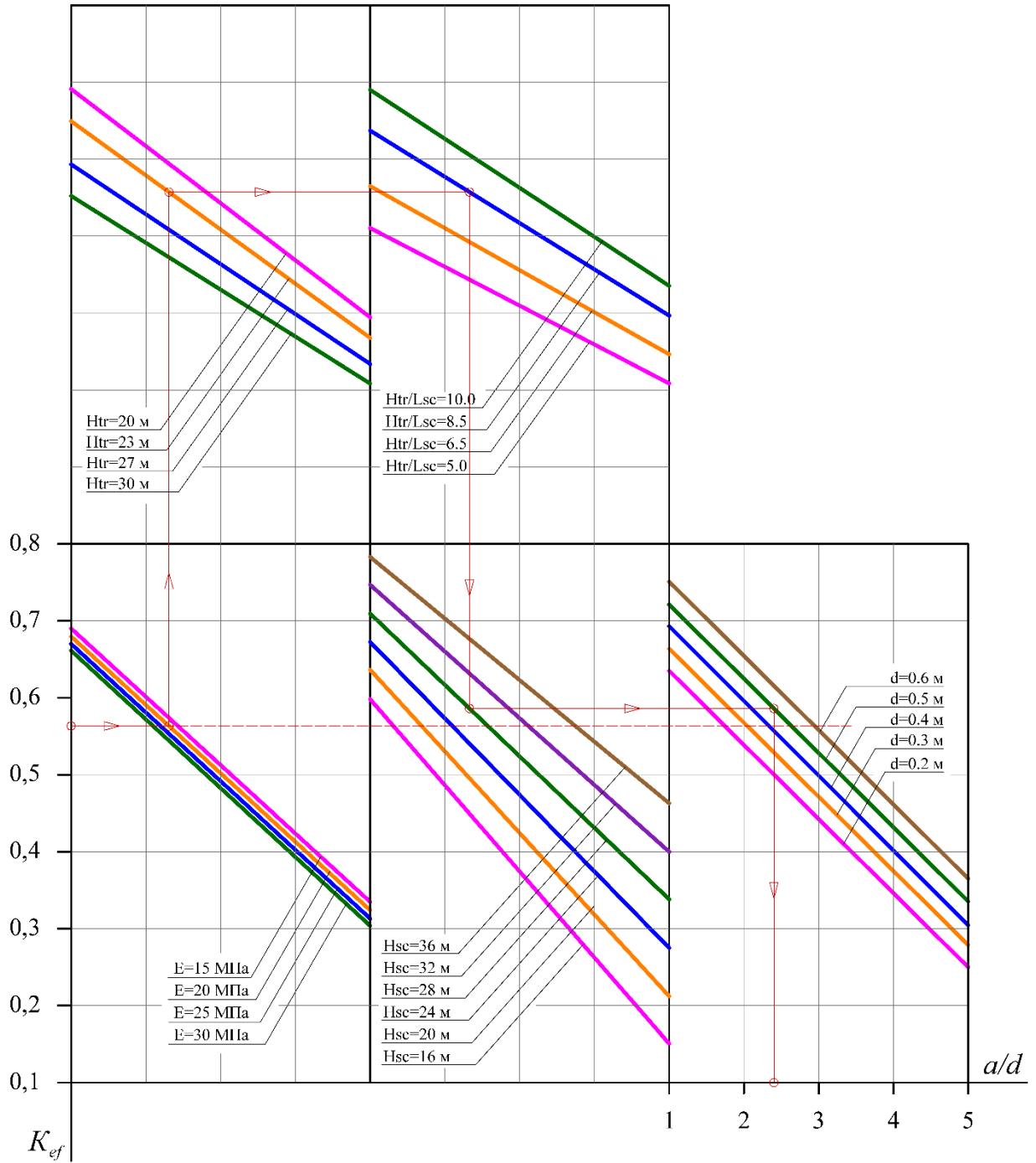


Рисунок 3.17. - Номограмма для определения параметров геотехнического экрана в связанных грунтах при применении завинчиваемых свай

3.7 Пример определения параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай по предложенным номограммам

Требуется определить требуемые параметры защитной свайной конструкции для снижения осадок здания, расположенного на расстоянии 2,5 м от разрабатываемой «стены в грунте» глубиной 20 м, учитывая, что грунты основания преимущественно представлены песками, средневзвешенный модуль деформации $E=20$ МПа, геотехнический экран предполагается выполнить в виде буровых свай, требуемый коэффициент эффективности должен быть не ниже $K_{ef} = 0,56$.

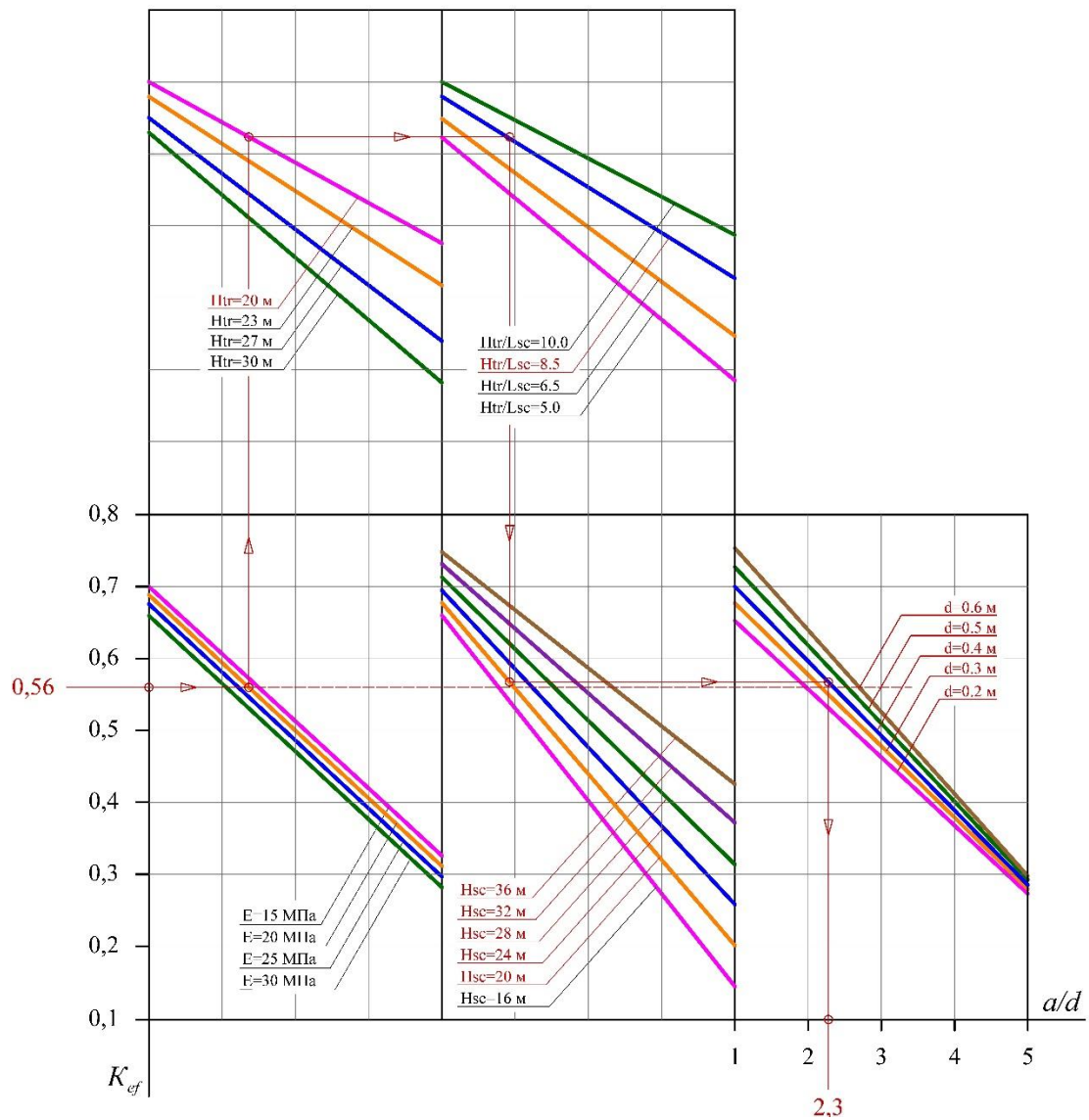


Рисунок 3.18. - Схема для определения параметров геотехнического экрана в песчаных грунтах при применении буровых свай

Как видно из схемы при заданных условиях наименьшая длина свай составляет $H_{sc} = 20$ м, при этом диаметр свай может быть выбран в диапазоне от 0,2 до 0,6 м. К примеру, для диаметра $d = 0,4$ м, шаг свай будет составлять $a = 2,3 \cdot 0,4 = 0,92$ м.

Выводы по третьей главе

1. Выполненный анализ полученных зависимостей степени влияния различных факторов на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай для защиты от развития дополнительных осадок зданий и сооружений, вызванных устройством монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа, показал следующее:
 - наибольшей степенью влияния на эффективность применения защитного экрана из разреженного ряда свай, характеризуемую коэффициентом эффективности, обладают глубина разрабатываемой траншеи, ее расстояние относительно фундамента здания, диаметр и длина свай экрана, меньшее влияние оказывают модуль деформации грунтового массива и относительное осевое расстояние между сваями;
 - коэффициент эффективности применения защитного экрана из разреженного ряда свай увеличивается с увеличением диаметра и длины свай и уменьшается с увеличением расстояния между сваями, глубины траншеи и расстояния от здания, а также с увеличением модуля деформации грунтового массива;
 - эффективность применения защитного экрана из разреженного ряда свай для защиты от развития дополнительных осадок зданий и сооружений, вызванных устройством монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа, в песчаных грунтах выше по сравнению с его применением в связных грунтах;

- технологии выполнения свай экрана, предусматривающие их устройство в предварительно пробуренных скважинах, приводят к существенному снижению эффективности его применения по сравнению с методами, основанными на погружение свай без выемки грунта, например ввинчиванием.
- 2. Установленные функциональные зависимости позволяют оценить эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай, расположенного между траншеей под «стену в грунте» и фундаментом здания, при различных сочетаниях влияющих на нее факторов.
- 3. Разработанные диаграммы, связывающие коэффициент эффективности применения геотехнического экрана с его конструктивными параметрами для различных грунтовых условий и технологией изготовления свай, дают возможность существенно упростить подбор основных размеров защитной свайной конструкции с заданной степенью ее эффективности.

ГЛАВА 4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО ЭКРАНА

Поиск рациональных решений при проектировании в области современного строительства является актуальной задачей. Одним из вариантов поиска оптимума по выбранному критерию является разработка и анализ множества различных проектных предложений с целью нахождения наилучшего решения. Для этой цели наиболее эффективным является использование методов теории оптимизации [4, 6, 24, 66, 69, 73], используя которые можно найти оптимальное решение без рассмотрения многочисленных вариантов альтернативных потенциально возможных решений.

Ниже предложено решение и его алгоритм по определению оптимальных конструктивных параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай, устраиваемого для снижения дополнительных осадок зданий, вызванных разработкой «стены в грунте» траншейного типа, полученное с использованием методов теории оптимизации.

4.1 Постановка задачи оптимизации

Известно, что защитные мероприятия в большей или меньшей степени приводят к увеличению стоимости строительства. Применение геотехнических экранов не является исключением и требует дополнительных затрат для их устройства, включающих стоимость используемых материалов, и работ по их изготовлению.

В связи с тем, что стоимость свай защитной конструкции прямо пропорциональна расходу материала, затраченного на их устройство, критерий оптимизации можно сформулировать в виде выражения

$$V \rightarrow \inf \quad (4.1)$$

Как показано в [69] ориентировочный состав основных работ, входящих в стоимость устройства одного кубического метра буронабивной сваи, представлен в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Стоимость устройства 1 м³ буронабивной сваи

Наименование работы	Состав основных работ, входящих в стоимость устройства буронабивной сваи	Диаметр сваи	Средняя стоимость устройства 1 м ³ буронабивной сваи длиной до 50 м (в ценах на 2010 г.)
Устройство буронабивной сваи комплектом импортного оборудования (Bauer, Delmag, Mait, Soilmes и др.)	<ul style="list-style-type: none"> - установка буровой машины на место устройства сваи; - перемещение буровой установки к месту бурения очередной скважины; - установка и наращивание секций обсадной трубы; - установка и наращивание секций арматурного каркаса; - установка и наращивание звеньев бетонолитной трубы; - укладка бетонной смеси в скважину; - извлечение и очистка бетонолитных и обсадных труб и др. 	600...1000 мм	20...25 тыс. руб.

На основании вышеизложенного, в границах варьируемых параметров рассматриваемой задачи, критерием оптимизации принят объем материалов свай (Рисунок 4.1) и в результате выражение (4.1) преобразуется к виду:

$$V_p(a, \frac{a}{d}, H_{sc}, H_{tr}, \frac{H_{tr}}{L_0}, E, K_{ef}) \rightarrow inf \quad (4.2)$$

где: V_p - объем материала свай, a - диаметр свай, a/d - относительное осевое расстояние между сваями, H_{sc} - длина свай, H_{tr} - глубина траншеи, H_{tr}/L_0 - относительное расстояние между траншей и фундаментом здания, E - модуль деформации грунтового массива, K_{ef} - коэффициент эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа.

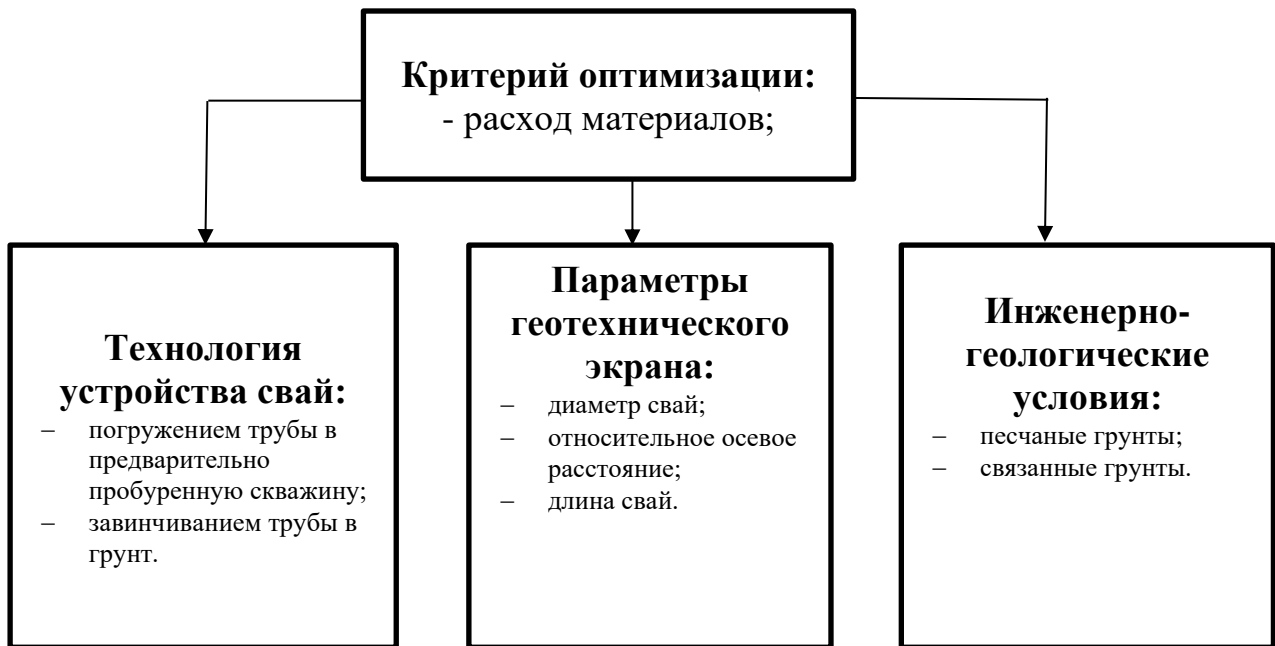


Рисунок 4.1. - Блок-схема факторов, влияющих на критерий оптимизации

Для проектируемого геотехнического экрана функция (4.2) преобразуется в выражение:

$$\bar{V} = \frac{V_p}{a} \rightarrow \inf \quad (4.3)$$

где: \bar{V} - относительный объем материалов свай геотехнического экрана приведенный на 1 погонный метр, a - осевое расстояние между сваями (см. Рисунок 4.2).

Объем одной сваи V_p выражается как:

$$V_p = \frac{\pi d^2 H_{sc}}{4} \quad (4.4)$$

где: d и H_{sc} - диаметр и длина сваи, соответственно.

Относительный объем свай \bar{V} геотехнического экрана определится как

$$\bar{V} = \frac{\pi d^2 H_{sc}}{4a} \quad (4.5)$$

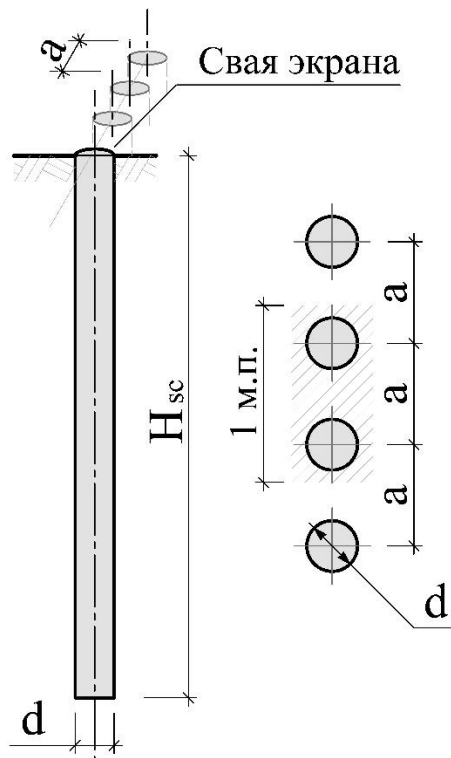


Рисунок 4.2. - Схема геотехнического экрана

В Главе 3 настоящей диссертации была принята математическая модель с использованием уравнения полиномиальной регрессии (3.23), преобразованной к виду:

$$K_{ef} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_1 B_2 \dots B_m X_1 X_2 \dots X_m, \quad (4.6)$$

где по методике планирования эксперимента выполнен факторный анализ, в результате которого получены уравнения регрессии (3.28... 3.31), отражающие зависимость изменения коэффициента эффективности применения геотехнического экрана от исходных условий (глубины траншеи, относительного расстояния траншеи от фундамента здания, модуля деформации грунтового массива) и параметров защитной свайной конструкции (диаметра, относительного осевого расстояния между сваями, длины и технологии изготовления свай). На полученные функции вводится ряд ограничений (4.7) которые определяют область действительных значений варьируемых параметров при определении критерия оптимальности.

$$\left\{ \begin{array}{l} d^{min} \leq d_i \leq d^{max}; \\ a^{min} \leq a_i \leq a^{max}; \\ H_{cs}^{min} \leq H_{sci} \leq H_{cs}^{max}; \\ H_{tr}^{min} \leq H_{tri} \leq H_{tr}^{max}; \\ L_0^{min} \leq L_{0i} \leq L_0^{max}; \\ E^{min} \leq E \leq E^{max}; \\ K_{ef}^{min} \leq K_{efi} \leq K_{ef}^{max} \end{array} \right. \quad (4.7)$$

Для оценки условий и возможности нахождения критерия оптимизации (4.3) необходимо выполнить его анализ в совместном рассмотрении с полученными в Главе 3 настоящей диссертации функциями (3.28 ... 3.31), в которых

y - коэффициент эффективности K_{ef}

X_1 – кодированное значение диаметра сваи экрана d ;

X_2 – кодированное значение относительного осевого расстояния между сваями a/d (a – осевое расстояние между сваями);

X_3 – кодированное значение длины сваи экрана H_{sc} ;

X_4 – кодированное значение глубины траншеи H_{tr} ;

X_5 – кодированное значение относительного расстояния траншеи от фундамента H_{tr}/L_0 (L_0 – расстояние от траншеи до фундамента);

X_6 – кодированное значение средневзвешенного модуля деформации грунтового массива E .

Кодированные значения варьируемых параметров, изменяются в пределах от -1 до +1.

4.2 Анализ функции критерия оптимизации

Приведем полученные уравнения регрессии (3.28 ... 3.31) к следующему единообразному виду:

$$y = AX_1X_3 + BX_1 + CX_2 + DX_3 + F \quad (4.8)$$

Где коэффициенты A , B , C , D и F выражаются через факторы X_4 , X_5 , X_6 и коэффициенты уравнения регрессии B_i , зависящие от глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи до фундамента здания H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива грунта E , соответственно. Таким образом параметры A , B , C , D и F можно выразить как:

для сыпучих грунтов с применением буровых свай:

$$A = 0,000;$$

$$B = 0,027 - 0,011X_4 + 0,012X_5;$$

$$C = -0,025; \quad (4.9)$$

$$D = 0,066 + 0,030X_4 - 0,030X_5 - 0,012X_6 - 0,026X_4X_5;$$

$$F = 0,522 - 0,066X_4 + 0,071X_5 - 0,021X_6 + 0,030X_4X_5.$$

для сыпучих грунтов с применением завинчиваемых свай:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,000; \\
 B &= 0,056; \\
 C &= -0,039; \\
 D &= 0,078 + 0,032X_4 - 0,035X_5 - 0,026X_4X_5; \\
 F &= 0,595 - 0,048X_4 + 0,043X_5 - 0,010X_6 + 0,021X_4X_5.
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

для связанных грунтов с применением буровых свай:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,000; \\
 B &= 0,019 + 0,005X_5; \\
 C &= -0,006; \\
 D &= 0,098 + 0,016X_4 - 0,019X_5 + 0,005X_4X_5; \\
 F &= 0,406 - 0,040X_4 + 0,081X_5 - 0,014X_6 - 0,017X_4X_5.
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$

для связанных грунтов с применением завинчиваемых свай:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,016; \\
 B &= 0,058; \\
 C &= -0,022; \\
 D &= 0,124 + 0,011X_4 - 0,021X_5; \\
 F &= 0,485 - 0,057X_4 + 0,077X_5 - 0,014X_6 - 0,013X_4X_5.
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

Из уравнения (4.8) возможно выразить факторы X_1, X_2, X_3 через параметры A, B, C, D и F , получив следующие выражения:

$$X_1 = \frac{y - CX_2 - DX_3 - F}{AX_3 + B}
 \tag{4.13}$$

$$X_2 = \frac{y - AX_1X_3 - BX_1 - DX_3 - F}{C}
 \tag{4.14}$$

$$X_3 = \frac{y - BX_1 - CX_2 - F}{AX_1 + D} \quad (4.15)$$

Рассматривая выражение (4.14), характеризующую взаимосвязь параметров (X_1, X_2, X_3) между собой, функцию $X_2 = f(X_1, X_3)$ возможно представить в виде некоторой поверхности, ограниченной областью значений варьируемых факторов X_1, X_2, X_3 (изменяющихся от -1 до 1) в виде куба, у которой на границах зависимость между факторами (X_1, X_2, X_3) будет иметь линейный характер. Графическая интерпретация функции $X_2 = f(X_1, X_3)$ в границах заданных варьируемых значений (от -1 до +1) показана на Рисунке 4.3.

Как видно поверхность $X_2 = f(X_1, X_3)$, будет находиться в пределах области варьируемых факторов только при определенных значениях $y = K_{ef}$, коэффициента эффективности находящемся в диапазоне от K_{ef}^{min} до K_{ef}^{max} .

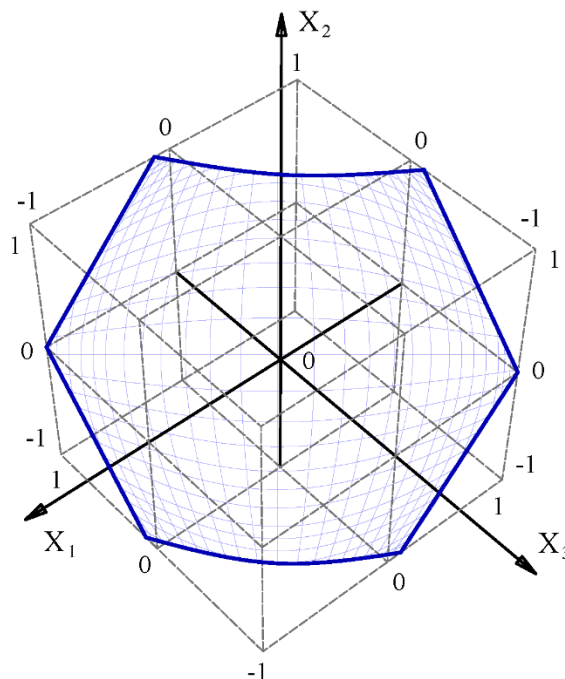


Рисунок 4.3. - Графическая интерпретация функции $X_2 = f(X_1, X_3)$

Выразив факторы X_1, X_2, X_3 через диаметр сваи d , длину сваи H_{sc} и относительный объем свай экрана \bar{V} , получим следующие зависимости:

$$X_1 = 5d - 2 \quad (4.16)$$

$$X_2 = \frac{\pi d H_{sc}}{4\bar{V}} - 3 \quad (4.17)$$

$$X_3 = 0.1H_{sc} - 2,6 \quad (4.18)$$

Таким образом, зависимость $\bar{V} = (X_1, X_2, X_3)$ изменения относительного объема свай экрана \bar{V} от факторов X_1, X_2, X_3 запишется в следующем виде:

$$\bar{V} = \frac{\pi(X_1 + 2)(10X_3 + 26)}{20(X_2 + 3)} \quad (4.19)$$

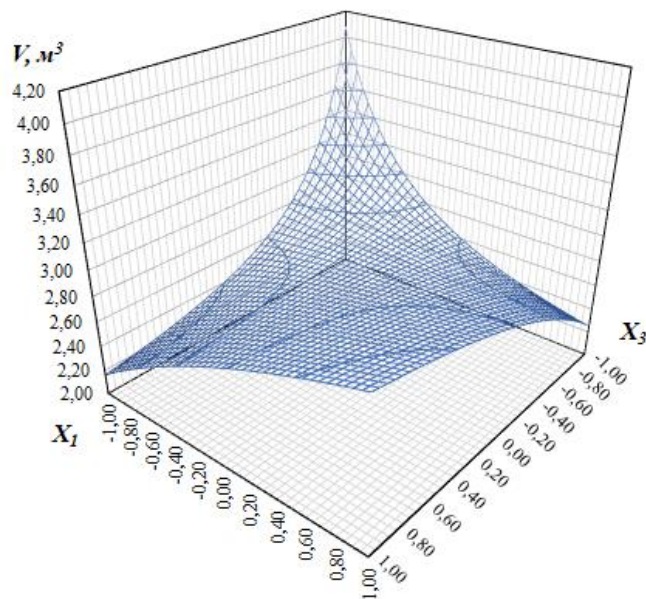
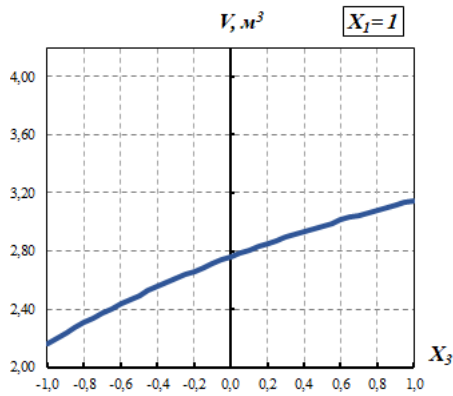


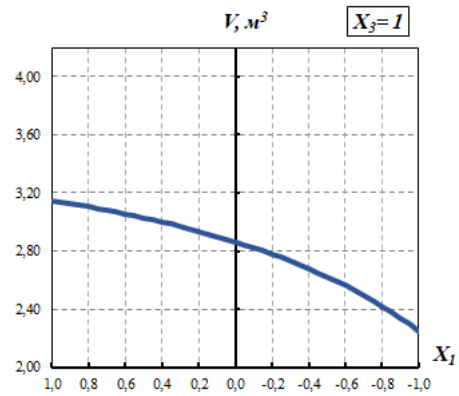
Рисунок 4.4. - Поверхность функцией $\bar{V} = f(X_1, X_3)$

Графическая интерпретация выше приведенной функции (4.19) определяется поверхностью в виде параболического гиперboloида (Рисунок 4.4), которая имеет точки экстремума, расположенные на границах области определения факторов X_1 и X_3 (Рисунок 4.5).

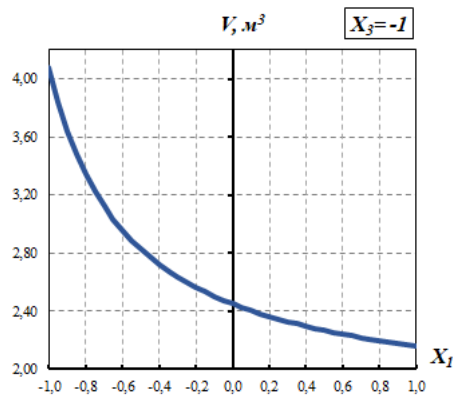
а)



б)



в)



г)

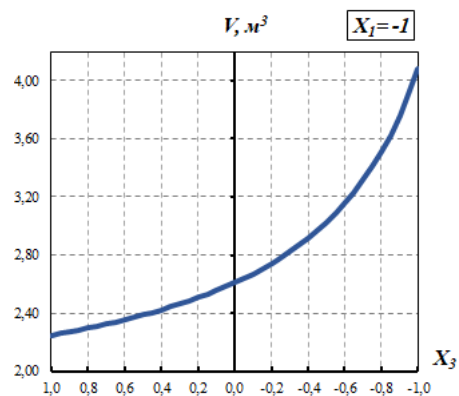


Рисунок 4.5. - График функции $\bar{V} = f(X_1, X_2, X_3)$ на гранцах:
 а) при $X_1 = 1$; б) при $X_3 = 1$; в) при $X_3 = -1$; г) при $X_1 = -1$

Как видно из выражений (4.13 ... 4.15, 4.19) на величину критерия оптимизации \bar{V} влияют не только характеристики экрана (X_1, X_2, X_3), но и факторы (X_4, X_5, X_6) которые связаны между собой параметрами A, B, C, D и F (4.9...4.12), при этом в отличие от регулируемых факторов X_1, X_2, X_3 (конструктивных характеристик экрана), при варьировании которых производится поиск оптимального решения, факторы X_4, X_5, X_6 неизменяемые так как они являются исходными данными поставленной задачи и зависят от параметров траншеи и ее местоположения, а также от типа и свойств грунтового массива.

Анализ зависимости (4.19) показывает, что функция принимает минимальные значения при максимальных величинах факторов X_1 и X_3 и при минимальном уровне X_2 (т. е. $X_1=1, X_2 = -1, X_3 = 1$).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что функция (4.19) в зависимости от факторов X_1, X_2, X_3 , связанных между собой параметрами A, B, C, D и F и частной величиной значения функции отклика y (коэффициента эффективности K_{ef}), может достигать минимальных значений (в границах варьируемых параметров) в одной из четырех точек на границах пересечения значений параметров X_1, X_3 (в точках при $X_1 = 1; X_3 = 1; X_1 = -1; X_3 = 1; X_1 = -1; X_3 = -1; X_1 = 1; X_3 = -1$). Т.е. величина минимального объема материала свай геотехнического экрана в зависимости от исходных условий и заданного уровня эффективности геотехнического экрана будет достигаться при одном из четырех сочетаний минимальных и максимальных значений диаметра свай экрана и их длины. Для нахождения условий, при которых данная функция будет достигать минимальных значений в определенной угловой точке, необходимо выполнить сравнение величин \bar{V} , которые функция принимает в этих точках (см. Рисунок 4.6).

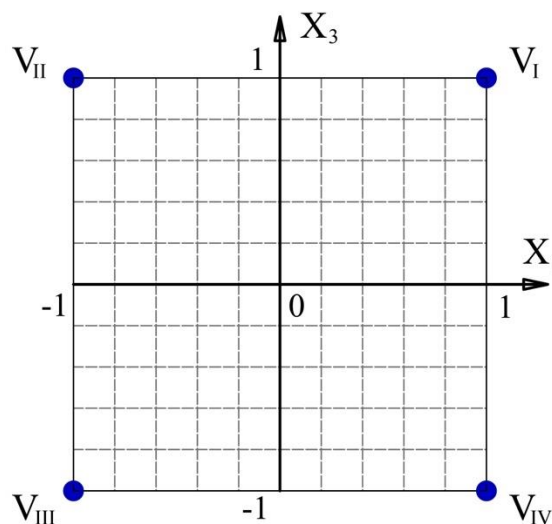


Рисунок 4.6. - Схема расположения точек экстремума функции $\bar{V} = (X_1, X_2, X_3)$

Таким образом выражения (4.19 и 4.21) примут следующий вид:

в точке I с координатами $X_1 = 1; X_3 = 1$

$$V_I = \frac{27\pi}{5(X_2^I + 3)} \quad (4.20)$$

$$X_2^I = \frac{y - A - B - D - F}{C} \quad (4.21)$$

в точке II с координатами $X_1 = -1; X_3 = 1$

$$V_{II} = \frac{9\pi}{5(X_2^{II} + 3)} \quad (4.22)$$

$$X_2^{II} = \frac{y + A + B - D - F}{C} \quad (4.23)$$

в точке III с координатами $X_1 = -1; X_3 = -1$

$$V_{III} = \frac{4\pi}{5(X_2^{III} + 3)} \quad (4.24)$$

$$X_2^{III} = \frac{y - A + B + D - F}{C} \quad (4.25)$$

в точке IV с координатами $X_1 = 1; X_3 = -1$

$$V_{IV} = \frac{12\pi}{5(X_2^{IV} + 3)} \quad (4.26)$$

$$X_2^{IV} = \frac{y + A - B + D - F}{C} \quad (4.27)$$

Выполнив поочередное сравнение величин $V_I, V_{II}, V_{III}, V_{IV}$, решая неравенства возможно найти граничные значения y (коэффициента эффективности K_{ef}), в зависимости от которых функция (4.19) будет принимать минимальные значения в различных точках в пределах варьирования факторов X_1, X_2, X_3 . Таким образом граничные параметры (коэффициенты оптимизации $k_{opt}^{I-II} \dots k_{opt}^{VI}$) полученные при сравнении величин \bar{V} запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_I &\geq V_{II} \\ y &\geq k_{opt}^{I-II} = -2A - 2B - 3C + D + F \end{aligned} \quad (4.28)$$

$$\begin{aligned} V_I &\geq V_{IV} \\ y &\geq k_{opt}^{I-IV} = -\frac{13}{5}A + B - 3C - \frac{13}{5}D + F \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} V_{IV} &\geq V_{II} \\ y &\geq k_{opt}^{IV-II} = -A - 7B - 3C + 7D + F \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\begin{aligned} V_{IV} &\geq V_{III} \\ y &\geq k_{opt}^{IV-III} = 2A - 2B - 3C - D + F \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} V_{II} &\geq V_{III} \\ y &\geq k_{opt}^{II-III} = \frac{13}{5}A - B - 3C - \frac{13}{5}D + F \end{aligned} \quad (4.32)$$

Для удобства использования значения коэффициентов k_{opt}^{I-II} ; k_{opt}^{I-IV} ; k_{opt}^{II-III} ; k_{opt}^{II-IV} ; k_{opt}^{III-IV} в зависимости от параметров траншеи и ее местоположения, грунтовых условий, а также технологии изготовления свай геотехнического экрана были сведены в таблицы, которые представлены в Приложении В.

Исходя из этого условия, при которых \bar{V} будет принимать минимальные значения запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} & V_I - \min \\ & \text{при } y \geq k_{opt}^{I-II}; y \geq k_{opt}^{I-IV} \\ & X_1 = 1; X_3 = 1 \end{aligned} \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} & V_{IV} - \min \\ & \text{при } k_{opt}^{II-IV} \leq y \leq k_{opt}^{I-IV} \\ & X_1 = 1; X_3 = -1 \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned} & V_{II} - \min \\ & \text{при } y \geq k_{opt}^{II-III}; y \leq k_{opt}^{II-IV}; y \leq k_{opt}^{II-I} \\ & X_1 = -1; X_3 = 1 \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} & V_{III} - \min \\ & \text{при } y \leq k_{opt}^{II-III}; y \leq k_{opt}^{III-IV} \\ & X_1 = -1; X_3 = -1 \end{aligned} \quad (4.36)$$

Таким образом зная величину требуемого y (коэффициента эффективности K_{ef}), а также условий, при которых функция критерия оптимизации (4.19) в границах заданной области, принимает минимальные значения (приняв при этом соответствующие этому условию, величины X_1 и X_3) по формуле (4.14) можно найти оптимальное значение фактора X_2 .

4.3. Алгоритм определения оптимальных параметров экрана

Предлагаемый алгоритм разработан для определения оптимальных конструктивных параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай, устраиваемого для снижения дополнительных осадок зданий, вызванных разработкой «стены в грунте» траншейного типа.

В качестве начальных исходных условий поставленной задачи служат следующие данные:

- тип грунтовых условий (песчаные или связанные грунты);
- средневзвешенный модуль деформации грунтового массива (E);
- глубина траншеи разрабатываемой «стены в грунте» H_{tr} ;
- относительное расстояние траншеи «стены в грунте» от фундаментов защищаемого здания H_{tr}/L_0 , где L_0 – расстояние от траншеи до фундамента;
- технология изготовления свай геотехнического экрана (буровые или завинчиваемые сваи).

Для удобства использования предложенного алгоритма составлены таблицы по определению параметров A , B , C , D и F в зависимости от исходных данных. Таблицы представлены в Приложении А настоящей диссертации.

Проектирование геотехнического экрана из разреженного ряда свай, расположенного между защищаемым зданием и разрабатываемой «стеной в грунте» траншейного типа производится в следующем порядке.

1. Определение параметров A , B , C , D и F на основе анализа исходных данных.
2. На основании оценки результатов геотехнического расчета производится назначение коэффициента эффективности применения геотехнического экрана K_{ef} . При этом необходимо проверить условие:

$$K_{ef}^{min} \geq K_{ef} \geq K_{ef}^{max} \quad (4.37)$$

Для удобства использования предлагаемого метода разработаны таблицы по определению значений коэффициентов K_{ef}^{min} , K_{ef}^{max} в зависимости от исходных данных (параметров A , B , C , D и F). Таблицы представлены в Приложении Б настоящей диссертации.

3. Определение оптимальных величин длины H_{sc}^{opt} и диаметра d^{opt} свай геотехнического экрана при которых объем материалов, требуемый для его изготовления, при заданном коэффициенте эффективности K_{ef} будет минимальным. При этом должно соблюдаться одно из четырех условий:

$$\begin{aligned} &\text{при } K_{ef} \geq k_{opt}^{I-II}; K_{ef} \geq k_{opt}^{I-IV} \\ &d \rightarrow \max; H_{sc} \rightarrow \max \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } k_{opt}^{II-IV} \leq K_{ef} \leq k_{opt}^{I-IV} \\ &d \rightarrow \max; H_{sc} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } K_{ef} \geq k_{opt}^{II-III}; K_{ef} \leq k_{opt}^{II-IV}; K_{ef} \leq k_{opt}^{I-II} \\ &d \rightarrow \min; H_{sc} \rightarrow \max \end{aligned} \quad (4.40)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } K_{ef} \leq k_{opt}^{II-III}; K_{ef} \leq k_{opt}^{III-IV} \\ &d \rightarrow \min; H_{sc} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (4.41)$$

Интервал варьирования величины диаметра свай d и их длины H_{sc} составляет 0,2-0,6 м и 16-36 м, соответственно.

Значения коэффициентов k_{opt}^{I-II} ; k_{opt}^{I-IV} ; k_{opt}^{II-III} ; k_{opt}^{II-IV} ; k_{opt}^{III-IV} представлены в Приложении В настоящей диссертации.

4. Определяется оптимальное значение шага свай геотехнического экрана, соответствующее заданной величине коэффициенте эффективности K_{ef} , выбранным оптимальным длины H_{sc}^{opt} и диаметра d^{opt} свай, а также определенным параметрам, зависящих от исходных условия. Величина оптимального шага свай a^{opt} определяется в соответствии с выражением:

$$\alpha^{opt} = \frac{d(0.5AdH_{sc} + (0.2A - 0.1D)H_{sc} + (13A - 5B + 26D)d + y - 5.2A + 2B + 3C - F)}{C} \quad (4.42)$$

5. Определяется относительный объем бетона затраченного на устройство геотехнического экрана исходя из следующей зависимости:

$$\bar{V} = \frac{C\pi d H_{sc}}{4(K_{ef} - (5B - 13A)d - (0.1D - 0.2A)H_{sc} - 0.5AdH_{sc} - F - 5.2A + 2B + 3C + 2.6D)} \quad (4.43)$$

на Рисунке 4.7 приведена графическая зависимость функции (4.43).

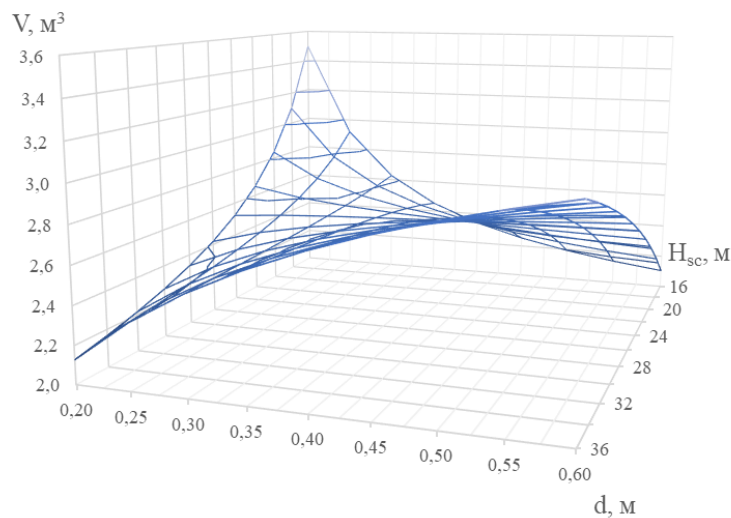


Рисунок 4.7. - Графическая интерпретация функции зависимости изменения относительного объема геотехнического экрана

$$\bar{V} = f(d, H_{sc}) \text{ при } a/d=3, d=0,3 \text{ м, } H_w/L_0=10, E=15 \text{ МПа}$$

Блок-схема определения оптимальных конструктивных параметров в соответствии с предложенным алгоритмом приведена на Рисунке 4.8.

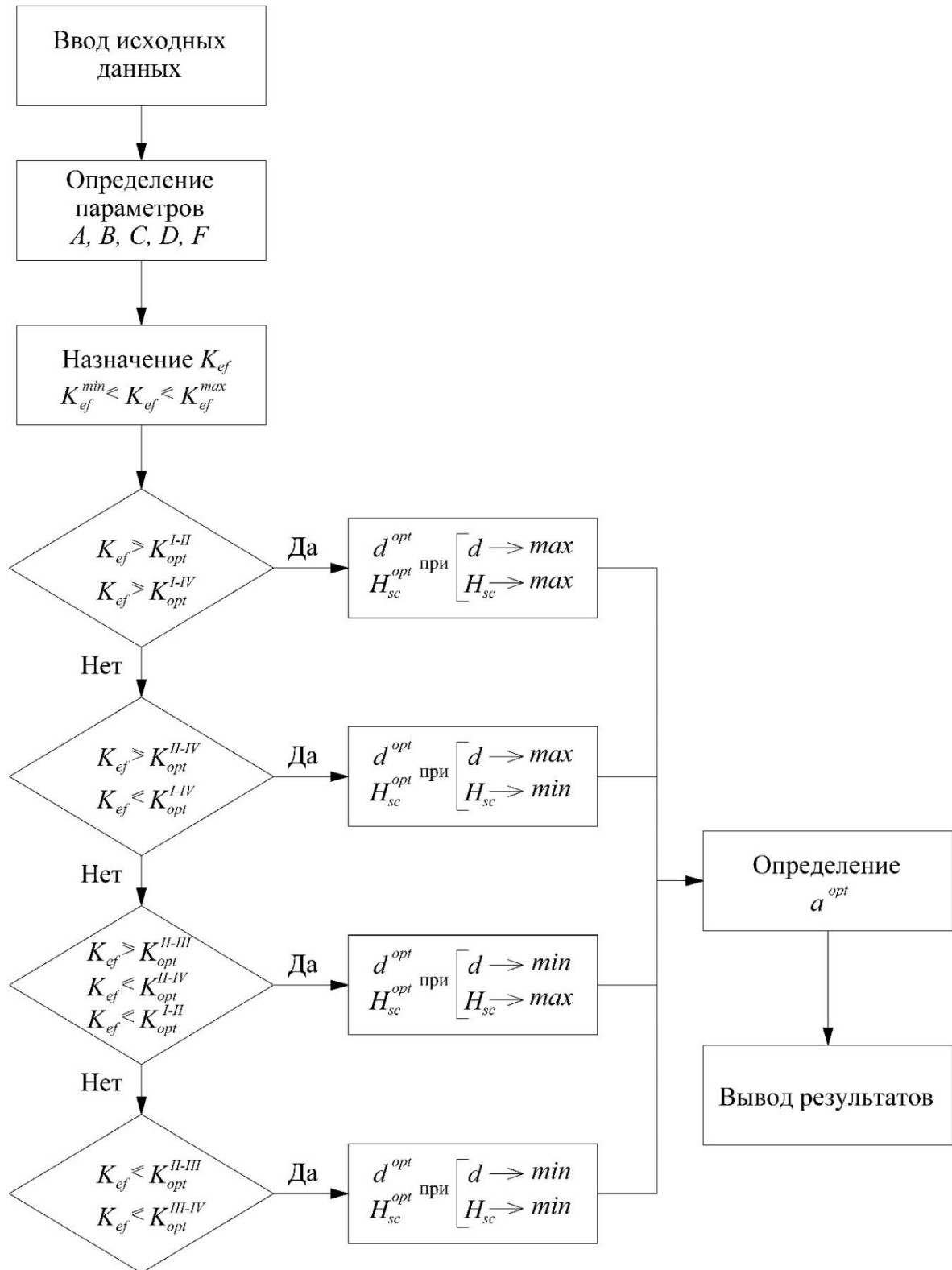


Рисунок 4.8. - Блок-схема проектирования геотехнического экрана

4.4. Пример определения оптимальных параметров защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай по предложенному алгоритму

В непосредственной близости от существующего здания на расстоянии 2,5 м разрабатывается котлован глубиной 12 м, ограждение которого выполняется в виде монолитной железобетонной «стены в грунте» траншейного типа глубиной 20 м. Расчет влияния показал, что прогнозируемые дополнительные осадки здания на момент окончания строительства составят 52 мм, при этом осадка, вызванная разработкой «стены в грунте» составит 39 мм.

Необходимо подобрать параметры конструкции защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай при минимально требуемом расходе материалов для снижения дополнительных осадок здания до величины, не превышающей значения регламентируемой в СП 22.13330 [75].

При решении поставленной задачи, необходимо учесть, что прилегающее 4-х этажное здание без подвального этажа, выполнено по жесткой стеновой схеме. Фундаменты здания решены в виде ленточных с шириной подошвы 1,2 м, глубиной заложения 1,5 м. Категория технического состояния II – работоспособное. Грунты основания преимущественно представлены песками, средневзвешенный модуль деформации $E=20$ МПа. Геотехнический экран предполагается выполнить в виде буровых свай.

В соответствии с [75] СП 22.13330-2016 (Приложение К) предельно допустимые величины осадок здания составят 30 мм. В связи с этим величину общей дополнительной осадки необходимо понизить на 22 мм, снизив значение осадки, вызванной разработкой «стены в грунте» до 17 мм. Зная значения осадок с учетом применения защитной свайной конструкции и без нее возможно найти требуемое значение коэффициента эффективности, которое будет определяться следующим образом:

$$K_{ef} = \frac{(39 - 17)}{39} = 0,56$$

Принимая во внимание, что экран из разреженного ряда буровых свай будет устраиваться в песчаных грунтах, с модулем деформации $E=20$ Мпа, при глубине траншеи $H_{tr}=20$ м и ее удалении от здания $L_0=2,5$ м:

1. Находим значения коэффициентов A, B, C, D и F из таблиц, представленных в Приложении А настоящей диссертации.

$$A = 0,000, B = 0,040, C = -0,025, D = 0,039, F = 0,603$$

2. Находим минимальные и максимальные значения коэффициента эффективности $K_{ef}^{min}, K_{ef}^{max}$ из таблиц, представленных в Приложении Б настоящей диссертации.

$$K_{ef}^{min}=0,499, K_{ef}^{max} = 0,708$$

Таким образом соблюдается условие:

$$K_{ef}^{min} = 0,499 \geq K_{ef} = 0,560 \geq K_{ef}^{max} = 0,708$$

3. Находим значения коэффициентов оптимизации $k_{opt}^{I-II}, k_{opt}^{I-IV}, k_{opt}^{II-III}, k_{opt}^{II-IV}, k_{opt}^{III-IV}$ из таблиц, представленных в Приложении В настоящей диссертации.
 $k_{opt}^{I-II} = 0,637, k_{opt}^{I-IV} = 0,616, k_{opt}^{II-III} = 0,535, k_{opt}^{II-IV} = 0,670, k_{opt}^{III-IV} = 0,558$
4. Сравниваем значение требуемого коэффициента эффективности с величинами коэффициентов оптимизации $k_{opt}^{I-II}, k_{opt}^{I-IV}, k_{opt}^{II-III}, k_{opt}^{II-IV}, k_{opt}^{III-IV}$.

$$K_{ef} = 0,56 \geq k_{opt}^{II-III} = 0,535;$$

$$K_{ef} = 0,56 \leq k_{opt}^{II-IV} = 0,670;$$

$$K_{ef} = 0,56 \leq k_{opt}^{I-II} = 0,637$$

Результаты сравнения показали, что применительно к поставленной задаче при заданном уровне эффективности, объем материалов, требуемый для изготовления геотехнического экрана из разреженного ряда свай, будет минимальным при использовании свай с минимальным диаметром и максимальной их длиной.

$$d \rightarrow \min; H_{sc} \rightarrow \max$$

5. По номограммам, представленным в главе 3 настоящей диссертации, находим минимальные и максимальные значения диаметра свай и их длины, в пределах которых эффективность использования защитной конструкции будет не ниже заданного уровня. В результате получено, что при имеющихся исходных данных длина свай H_{sc} может изменяться в пределах от 28 до 36 м, а их диаметр от 0,2 до 0,6 м. Таким образом оптимальные длина и шаг свай составят $d^{opt} = 0,2$ м, $H_{sc}^{opt} = 36$ м, соответственно.

6. Используя определенные параметры A, B, C, D и F , а также найденные величины оптимального диаметра свай d^{opt} и их длины H_{sc}^{opt} , определяем величину оптимального шага свай a^{opt} по следующей зависимости: $a^{opt} = \frac{d(0.5AdH_{sc} + (0.2A - 0.1D)H_{sc} + (13A - 5B + 26D)d + y - 5.2A + 2B + 3C - F)}{C} = 0,94$ м

7. Используя определенные оптимальные параметры конструкции, определяем объем приведенного к 1 м.п. материалов свай экрана

$$\bar{V} = 1,21 \text{ м}^3$$

Выводы по четвертой главе

1. Выполненные исследования и аналитические решения с применением метода математического планирования эксперимента позволили:
 - разработать методику оценки эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от его конструктивных параметров (длина и диаметр свай, шаг погружения), исходных данных (размеры траншеи и грунтовые условия) и технологии устройства свай экрана;
 - определить предельные значения коэффициентов эффективности K_{ef}^{min} , K_{ef}^{max} и пределы эффективного применения защитного экрана;
 - разработать алгоритм расчета по определению оптимальных конструктивных параметров геотехнического экрана.

2. Разработанный алгоритм расчета позволяет, варьируя конструктивными параметрами защитного экрана, определить такое их сочетание, при котором дополнительные осадки здания, вызванные разработкой траншеи под «стену в грунте», будут снижены до заданных значений при минимальном расходе материалов на 1 п.м. его устройства.

Значения используемых в расчетах коэффициентов приведены в трех Приложениях к диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении диссертационной работы приводятся итоги выполненных исследований. По их результатам сделаны следующие выводы:

1. Одним из основных конструктивных решений ограждений котлованов в сложных инженерно-геологических условиях и высоком уровне стояния подземных вод является монолитная железобетонная «стена в грунте» траншейного типа, применение которой в стесненных условиях городского строительства осложняется существенным влиянием ее устройства на окружающую застройку. По имеющимся данным, дополнительные осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством траншеи под «стену в грунте», могут достигать 80% от общих дополнительных осадок, вызванных возведением нового объекта.
2. Возможным вариантом защитных мероприятий по снижению влияния устройства «стены в грунте» на осадки окружающей застройки является геотехнический экран из разреженного ряда свай, эффективность применения которого для этой цели показана выполненными в настоящей диссертации численными исследованиями, по данным которых осадки защищаемого здания за счет устройства указанного экрана могут быть снижены на 30...75%.
3. Проведенными исследованиями установлено, что эффективность применения экрана из разреженного ряда свай, характеризуемая коэффициентом эффективности K_{ef} , увеличивается с увеличением диаметра и длины свай и уменьшается с увеличением расстояния между ними, глубины траншеи и ее расстояния от здания, а также с увеличением модуля деформации грунтового массива.
4. Факторным анализом, основанном на теории планирования эксперимента, определено, что наибольшей степенью влияния на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай для защиты зданий и сооружений окружающей застройки от развития дополнительных

осадок, вызванных устройством траншеи под «стену в грунте», обладают глубиной разрабатываемой траншеи, ее расстояние относительно фундамента здания, диаметр и длина свай экрана, меньшее влияние оказывают модуль деформации грунтового массива и относительное осевое расстояние между сваями. При расчете геотехнического экрана все перечисленные факторы следует рассматривать, как значимые.

5. Показано, что применение защитного экрана из разреженного ряда свай наиболее эффективно при его устройстве до глубины, составляющей не более 1,2 глубины траншеи и его расположении ближе к ней. Эффективность применения экрана существенно выше в песчаных грунтах по сравнению с глинистыми.
6. Расчеты показали, что устройство свай экрана из буровых свай, выполненных с выемкой грунта, существенно снижает коэффициент эффективности его применения для защиты от развития дополнительных осадок зданий, расположенных в зоне влияния строительства. Более эффективен экран из металлических ввинчиваемых свай.
7. Установленные функциональные зависимости (уравнения регрессии) коэффициента эффективности применения геотехнического экрана от варьируемых факторов, представленные в виде номограмм, для различных грунтовых условий и двух технологией изготовления свай, позволяют существенно упростить подбор основных размеров защитной свайной конструкции.
8. Разработанная методика оптимизации конструктивных параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай, позволяющая подобрать такое их сочетание, при котором дополнительные осадки здания, вызванные разработкой «стены в грунте» траншейного типа, будут снижены до заданных величин при одновременном достижении наилучших технико-экономических показателей экрана по расходу материала.

9. Полученные с использованием классических решений механики грунтов аналитические решения, описывающие физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания, могут быть использованы для проверки результатов численных расчетов, а также для выполнения предварительных расчетов геотехнических экранов и дополнительных осадок фундаментов защищаемых ими зданий по упрощенным схемам.
10. Разработанный на основе проведенных аналитических исследований алгоритм расчета позволяет, варьируя конструктивными параметрами защитного экрана, определить такое их сочетание, при котором дополнительные осадки здания, вызванные разработкой траншеи под «стену в грунте», будут снижены до заданных значений при минимальном расходе материалов на 1 п.м. его устройства.

Значения используемых в расчетах коэффициентов приведены в трех Приложениях к диссертации.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Направлениями дальнейшей разработки темы являются:

- Исследование взаимодействия с грунтовым массивом многорядных свайных конструкций, служащих экраном, защищающим здания и сооружения, расположенные в зоне влияния строительства, от развития сверхнормативных осадок, вызванных производством строительных работ, разработка методики их расчета численными и аналитическими методами;
- Разработка методики оптимизации параметров конструкций из разреженных рядов свай, служащих ограждением вертикальных откосов котлованов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адигамов, Р.Ш. Взаимодействие разреженного ряда свай и массива связанного грунта при креплении вертикального откоса: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02 / Адигамов Рафкат Шовхатович. – М., 1983. – 167 с.
2. Адигамов, Р.Ш. Расчет свайных конструкций для удержания вертикального откоса грунта / Р.Ш. Адигамов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян // В кн.: Проблема и практика фундаментостроения промышленных, сельскохозяйственных, жилых и общественных зданий применительно к условиям Восточной Сибири - Иркутск, 1983. - С.31-32.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
4. Алексеев, В.М. Оптимальное управление / В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1979. – 432 с.
5. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента / В.И. Асатурян. - М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
6. Банди, Б. Методы оптимизации / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 64 с.
7. Бартоломей, А. А. О влиянии удерживающей свайной конструкции на напряженное состояние и величину коэффициента устойчивости однородного откоса / А. А. Бартоломей, А. Н. Богомолов // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. - 1987. – С.3-9.
8. Бартоломей, А. А. Определение величины оползневого давления на свайные элементы удерживающей конструкции / А. А. Бартоломей, А. Н. Богомолов // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. - 1988 – С.47-51.
9. Бартоломей, А. А. Определение нагрузок на свайные фундаменты зданий, возводимых на склонах, возникающих за счет сил оползневого давления / А. А. Бартоломей, А. Н. Богомолов // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. - 1988. – С.9-11.

10. Бартоломей, А. А. Расчет перемещений свайного фундамента на ополз-неопасном склоне / А. А. Бартоломей, О. А. Маковецкий // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. - 1988. – С.168.
11. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
12. Билеуш, А. И. Выбор рациональных параметров шпилек при закреплении оползней на основании расчета напряженного состояния / А. И. Билеуш // Наука и техника в городском хозяйстве. – 1983. – № 52. – С.60-64.
13. Билеуш, А. И. Метод определения усилий и деформаций в оползневом блоке / А. И. Билеуш // Наука и техника в городском хозяйстве. – 1985. – № 58. – С.60-65.
14. Билеуш, А. И. Методика расчета удерживающих противооползневых со-оружений / А. И. Билеуш // Гидравлика и гидротехника. – 1981. – № 33. – С.86-93.
15. Богомолов, А.Н. Определение давления грунта на противооползневые удерживающие сооружения на основе анализа напряженного состояния приоткосной области/ Богомолов А.Н., Пономарев А.Б., Богомоллова О.А.//Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2015. - №3. – С.5-21.
16. Браславский, В. Д. Противооползневые конструкции на автомобильных дорогах / В. Д. Браславский, Ю. М. Львович, Л. В. Грицюк и др. - М.: Транспорт, 1985. – 301 с.
17. Буслов, А. С. Уравнение движения оползня при наличии местных сопро-тивлений / А. С. Буслов // Изв. АН УзССР. Серия техн. наук. – 1983. – № 3. – С.48-52.
18. Галлагер, Р. Метод конечных элементов / Р. Галагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
19. Гинзбург, Л. К. О распределении давления грунта между рядами свай / Л. К. Гинзбург // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1985. – № 2. – С.28.

20. Гинзбург, Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции / Л. К. Гинзбург. - М.: Стройиздат, 1979. – 80 с.
21. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман – М.: Высшее образование, 2007. – 404 с.
22. Готман, А.Л. Расчет противооползневых свайных сооружений / А. Л. Готман // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая [Электронный ресурс]. – 2013. – № 2(27) – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1376>.
23. Готман, А.Л. Расчет многорядных противооползневых свайных сооружений / А. Л. Готман // Инженерные подходы к решению геотехнических задач: сб. науч. тр., посвящ. 80-летию Константина Шагеновича Шадунца / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Кубан. гос. аграр. ун-т, Каф. оснований и фундаментов. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – С.142–148.
24. Готман, Ю. А. Определение оптимальных размеров грунтоцементного массива, снижающего перемещения ограждений глубоких котлованов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Готман Юрий Альфредович. – М., 2011 – 185 с.
25. Деревенец, Ф. Н. Исследование взаимодействия оползневых грунтов со сваями удерживающих сооружений / Ф. Н. Деревенец, С. И. Маций // Материалы VI регион, конф. молодых ученых. – Краснодар, 2004. – С. 245-247.
26. Деревенец, Ф. Н. К вопросу определения оползневого давления на свайные сооружения / Ф. Н. Деревенец, С. И. Маций // Материалы V регион. конф. молодых ученых. – Краснодар, 2003. – С.244-245.
27. Деревенец, Ф. Н. Применение метода конечных элементов для исследования взаимодействия грунтов оползня со сваями / Ф. Н. Деревенец, С. И. Маций // Материалы Всерос. научн.-техн. конф. / ПГТУ. – Пермь, 2004. – С. 36-41.

28. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 610 с.
29. Зарецкий, Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений / Ю. К. Зарецкий. - М.: Стройиздат, 1988. – 349 с.
30. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 189 с.
31. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
32. Зехниев, Ф.Ф. Экспериментальные и численные исследования эффективности применения геотехнических экранов при защите городской застройки в зоне влияния глубоких котлованов / Ф.Ф. Зехниев, Д.А. Внуков // Строительные науки. – 2016. – № 14. – С.141–147.
33. Знаменский, В.В. Применение двухрядных свайных удерживающих конструкций в мелких котлованах / В.В. Знаменский, Е.Б. Морозов // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: научные труды тринадцатой международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. Москва 14-21 апреля 2010 г. МГСУ. – 2010. – С.794-796.
34. Знаменский, В.В. К вопросу о взаимодействии вертикального откоса грунта с разреженным рядом свай / В.В. Знаменский, Е.Б. Морозов // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: научные труды четырнадцатой международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов. Москва 27-29 апреля 2011 г. МГСУ. – 2011. – С.574-576.
35. Знаменский, В.В. Оценка влияния устройства защитного геотехнического экрана на деформации здания, расположенного в зоне влияния нового строительства, по результатам численного моделирования / В.В. Знаменский, Д.Ю. Чунюк, Е.Б. Морозов // Научное обозрение. – 2015. – №18. – С.43–48.

36. Знаменский, В.В. Численные исследования влияния устройства геотехнического экрана на осадки рядом расположенных зданий / В.В. Знаменский, Е.Б. Морозов // Перспективы науки. – 2019. – №3(114). – С. 31-34.
37. Знаменский, В.В. Результаты численного исследования влияния защитного экрана из разреженного ряда свай на осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством монолитной стены в грунте траншейного типа/ В.В. Знаменский, Е.Б. Морозов // Наука на рубеже тысячелетий: перспективные технологии, науки о жизни: материалы XII международной научно-практической конф. – Будапешт 27-28 февраля 2019 г. Перспективы науки. - 2019. – №3(114). – С. 198-203.
38. Ильичев, В.А., Опыт устройства котлованов в городе Москве / В.А. Ильичев [и др.] // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сборник трудов научно-технической конф. - СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 404 с.
39. Ильичёв, В.А. Прогноз деформаций зданий вблизи котлованов в условиях тесной городской застройки Москвы / В.А. Ильичев, П.А. Коновалов, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 4. – С.17–21.
40. Ильичёв, В.А. Влияние строительства заглубленных сооружений на существующую застройку в Москве / В.А. Ильичев, П.А. Коновалов, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2001. – №4. – С.19–24.
41. Карасев, О. В. Экспериментальные исследования двухрядных подпорных стен из буронабивных свай / О. В. Карасев, В. Н. Берман, А. А. Цесарский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1983. – №2. – С.9-11.
42. Кильвандер, Э. Я. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия фундаментов глубокого заложения с окружающим грунтом в условиях их работы на оползневом склоне / Э. Я. Кильвандер, А. Г. Гагаркин

- // Труды V междунар. конф. по проблемам свайного фундаменто-строения.- М.: 1996. – Т.А. – С.83-87.
43. Колыбин, И. В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях / И.В. Колыбин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2008. – № 12. – С.90-124.
 44. Конюхов, Д.С. Расчёт технологических деформаций существующих зданий в процессе изготовления ограждающих конструкций котлованов / Д.С. Конюхов, А.И. Свиридов // Вестник МГСУ. – 2011. – №5. – С.99–103.
 45. Лapidус, Л. С. Укрепление откосов слабых насыпей сваями / Л. С. Ла-пидус, К. Ш. Шадунц // Вопросы геотехники. Труды ДИИГа. Сб. 5. – Днепрпетровск: 1962. – С.48-55.
 46. Мангушев, Р.А., Оценка влияния техногенных факторов на изменение характеристик грунтов при устройстве подземного пространства большого объёма/ Р.А. Мангушев, Н.В. Ошурков, А.В. Игошин // Материалы междунар. конф. «Геотехнические проблемы мегаполисов». – М., 2010.
 47. Маркова, Е.В. Комбинаторные планы в задачах многофакторного эксперимента / Е.В. Маркова, А.Н. Лисенков. – М.: Наука, 1979. – 346 с.
 48. Маслов, Н. Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними) / Н. Н. Маслов. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
 49. Маслов, Н. Н. Прикладная механика грунтов / Н. Н. Маслов. – М.: Машстройиздат, 1949. – 328с.
 50. Маций, С. И. Взаимодействие свайных рядов с грунтом оползней: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Маций Сергей Иосифович. – СПб., 1991. – 23с.
 51. Маций, С. И. Применение метода конечных элементов для исследования взаимодействия грунтов оползня со сваями / С. И. Маций, Ф. Н. Дерсвенец // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – №4. – С.8-12.
 52. Мирсаяпов, И.Т. Экспериментальные исследования НДС грунтового массива при совместном деформировании с ограждающей конструкцией

- консольного типа в процессе поэтапной разработки котлована / И.Т. Марсияпов, Д.Р. Сафин // Известия КГАСУ. – 2011. – № 3 (17). – С.79-84.
53. Монтгомери, Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д.К. Монтгомери. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 383 с.
54. Морозов, Е.Б. Оценка эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа / Е.Б. Морозов // Перспективы науки. - 2018. – №2(101). – С.55-61.
55. Недря, Г. Д. Об одном методе расчета давления на сооружения, обтекаемые оползневыми массами / Г. Д. Недря // Основания и фундаменты. - 1984. - Вып. 17. - С.55-59.
56. Никифорова, Н.С. Защита зданий вблизи глубоких котлованов и коммуникационных коллекторов геотехническим отсечными экранами/ Н.С. Никифорова, Д.А. Внуков //Вестник МГСУ. – 2011. - №5. – С.108-112.
57. Орагвелидзе, З. С. Механическое закрепление оползней с помощью буронабивных свай: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Орагвелидзе Зураб Сергеевич. – Баку., 1984. – 23 с.
58. Орагвелидзе, З. С. Определение силы сопротивления свай боковому смещению грунтов / З. С. Орагвелидзе. // Сообщение АН ГССР. - 1981. - т. 103. – №2. – С.385-388.
59. Парамонов, В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники / В.Н. Парамонов. – СПб., ГК «Геореконструкция», 2011. – 262 с.
60. Петрухин, В.П. Строительство коммуникационных тоннелей в Москве и обеспечение сохранности существующих зданий / В.П. Петрухин [и др.] // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. – № 4. – С.12 –16.
61. Полищук, А.И. Оценка работы разделительных ограждений в слабых глинистых грунтах, устраиваемых для защиты существующих зданий от влияния нового строительства/ А.И. Полищук, А.С. Межаков //Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. – №2. – С.124-131.

62. Полищук, А.И. Геотехнический барьер и его влияние на осадки фундаментов соседних зданий / А.И. Полищук, А.С. Межаков // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. - №4. – С.133-142.
63. Пономарев, А.Б. Результаты геотехнического моделирования влияния устройства глубокого котлована на существующую застройку / А. Б. Пономарев [и др.] // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура = PNRPU Bulletin. Construction and Architecture. – 2014. – № 4. – С.188-201.
64. Разводовский, Д.Е. Допустимые деформации существующей застройки / Д.Е. Разводовский // Вестник НТЦ «Строительство». – 2017 – № 13. – С.106-121.
65. Разводовский, Д.Е. Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений / Д.Е. Разводовский, О.А. Шулятьев, Н.С. Никифорова // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Том XII. Строительство подземных сооружений. – 2008. – С.230-239.
66. Рассказов, Л.Н. Оптимизация конструкций грунтовых плотин / Л.Н. Рассказов, И.Л. Орехова // Гидротехническое строительство. – 1985. – №7, – С.32.
67. Рекомендации по проектированию и устройству оснований, фундаментов и подземных сооружений при реконструкции гражданских зданий и исторической застройки, 1998. // Правительство Москвы, Москомархитектура. – 1998. – 89 с.
68. Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной городской застройки, 1999. // Правительство Москвы, Москомархитектура. – 1999. – 55 с.
69. Рузаев, А.М. Оптимизация параметров свайных фундаментов. / А.М. Рузаев // Вестник МГСУ. – 2010. – №3. – С.94-105.
70. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Изд-во Наука, 1971. – 192 с.

71. Сапин, Д.А. Осадки фундаментов зданий соседней застройки при устройстве траншейной «стены в грунте» / Д.А. Сапин // Жилищное строительство. – 2015. – № 4. – С.8–13.
72. Сапин, Д.А. Дополнительные технологические осадки фундаментов зданий соседней застройки при устройстве траншейной «стены в грунте»: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02/ Сапин Дмитрий Александрович. – СПб., 2016. – 177 с.
73. Сеа, Ж. Оптимизация. Теория и алгоритмы / Ж. Сеа. – М.: Изд-во Мир, 1973. – 244 с.
74. Семенков, О. Г. Определение критического расстояния между элементами удерживающего сооружения оползневых склонов / О. Г. Семенков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. – №6. – С.11-12.
75. СП 22.13330.2016. Актуализированная версия СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП, 2011. – 162 с.
76. СП 24.13330.2011. Актуализированная версия СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. – М.: ФГУП ЦПП, 2011. – 86 с.
77. СП 63.13330.2012. Актуализированная версия СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции основные положения. – М.: ФГУП ЦПП, 2012. – 155 с.
78. СП 361.13258000.2017. Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2018. – 56 с.
79. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. / под общей редакцией Ильичева В.А. и Мангушева Р.А. – М.: Изд-во АСВ, 2016 – 1040 с.
80. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М.: Изд-во Мир, 1977. – 349с.
81. Тер-Мартirosян, З.Г. Расчет напряженно-деформированного состояния массивов многофазных грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян, Д.М. Ахпателов. – М.: Типография МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1982. – 120 с.

82. Туровская, А. Я. Экспериментальное определение оползневого давления на подпорные стены методом центробежного моделирования / А. Я. Туровская, Н. Б. Черненко // Инженерная геология. – 1983. – №1. – С.97-103.
83. Улицкий В.М., Подземные сооружения в условиях городской застройки на слабых грунтах / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин // Гидротехника. – 2010. – №2. – С.46–50.
84. Ухов, С.Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов / С.Б. Ухов. – М.: Типография МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1973. -158 с.
85. Фадеев, А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221с.
86. Фадеев, А.Б. Решение геотехнических задач методом конечных элементов / А.Б. Фадеев, А.Л. Прегер. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. – 193 с.
87. Хамов, А. П. К расчету усилия прорезания грунта свай в оползающем откосе / А. П. Хамов // Межвуз. сб. науч. тр.: Всесоюзн. ин-т железнодорожного транспорта. – 1987. – №140. – С.62-66.
88. Шадунц, К. Ш. Взаимодействие свайных рядов с грунтом оползней / К. Ш. Шадунц, С. И. Маций // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1997. – №2. – С.2-6.
89. Шулятьев, О.А. Освоение подземного пространства городов/ О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева, В.С. Поспехов - М.: Изд-во АСВ, 2017. – 510 с.
90. Adashi, T. Analysis on the preventive mechanism of landslide stabilizing piles/ T. Adashi, M. Kimura, S. Tada // Numerical Models in Geomechanics: Proc. 3th Int. Symp., Niagara Falls, 8-11 May, 1988. - London; New York, 1989.- pp.691-698.
91. Adashi, T. Model tests on the preventive mechanism of landslide stabilizing piles / T. Adashi, M. Kimura, S. Tada // Proc. JSCE. - 1988. - №.400. - pp.243-252.
92. Ang, E.-C. Numerical investigation of limit soil pressure for design of pile stabilized slopes / E.-C. Ang, J. E. Loehr, D. E. Smith // Proc. 11th Internat. conf. of IACMAG. -Torino, 2005. -V. 2. -pp.319-326

93. Ausilio, E. Stability analysis of slopes reinforced with piles / E. Ausilio, E. Conte, G. Dente // *Computers and Geotechnics*. - 2001. - 28. - pp.591 -611.
94. Bin-Chen, B.H. The use of piling and propping for the protection of buildings beside deep excavations: case studies from Taipei, Taiwan / B.H. Bin-Chen, F.T. David, C. Chun-Hung, N.H. Richard, Hwang // *Proc. The 3rd Int. Symp. (IS-Toulouse. 2002) "Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground"*, 4th Session Deep Excavation: Design and analysis. – Toulouse, France, 23–25 October, 2002. – pp.57–62.
95. Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations. *Bulletin of the American Mathematical Society*. Vol.49, 1943, pp.1–23.
96. Horikoshi K. and Randolph M.F. A contribution to optimal design of piled rafts. *Geotechnique*, Vol. 48, No. 3, 1998, pp.307-317.
97. Ito, T. Discussions. Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles/ T. Ito, T. Matsui // *Soils and foundations*. - 1978. - 18. - №2. - pp.41-44.
98. Ito, T. Methods to estimate lateral force action on stabilizing piles / T. Ito, T. Matsui // *Soils and foundations*. - 1975. - 15. - №4. - pp.43-59.
99. Lee, S. H. Low-Reynolds-number flow past cylindrical bodies of arbitrary cross-sectional shape / S. H. Lee, L. G. Leai // *J. Fluid. Mech.* - 1986. - 164. -pp.401-427.
100. Melan E. Der Spannungszustand der durch eine Einzelkraft im innern beanspruchten Halbschiebe, *Zeitschrift fur angewandte Mathematik und Mechanik*. – B. 12, H. 6. – 1932.
101. Plaxis: Finite Element Code for Soil and Rock Analyses, 3D Foundation. Tutorial Manual / R.B.J. Brinkgerve [и др.] – Balkema, 2006.
102. Poulos, H. G. Analysis of piles In soil undergoing lateral movement / H. G. Poulos // *Journal SMFD, ASCE*. - 1973. - V. 99. - № SM 5. - pp. 391-406.
103. Poulos H.G. Effects of urban construction on existing pile foundations. *Proceedings XIIIth ICSMGE. Czech Republic, Prague, Vol. 3, 2003*, pp.401-424.

104. Randolph, M. F. The limiting pressure on a circular pile loaded laterally in cohesive soil / M. F. Randolph, G. T. Houlsby // *Geotechnique*. - 1984. - №4.- pp.613-623.
105. Shmuelyan, A. Piled stabilization of slopes / A. Shmuelyan // *Landslides Glissements de terrain: Proc. of 17* international symposium on landslides*. - Trondheim, 17-21 June, 1996.-V. 3.-pp.1799-1804.
106. Viggiani, C Ultimate lateral load on piles used to stabilize landslides / C. Viggiani// *Soil. Mech. And Found. Eng., Proc. 10 Int. Conf., Stockholm, 15-19 June, 1981.-Rotterdam, 1981.-V. 3.-pp.555-560*
107. Wang, Y.-Z. Distribution of earth pressure on retaining wall / Y.-Z. Wang // *Geotechnique*. - 2000. - 50. - X>>1. - pp.83-88.
108. Winter, H. Stabilization of clay slopes by piles / H. Winter, W. Schwarz, G. Gudehus // *Impruv. Ground. Proc. 8 Eur.: Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Helsinki, 23-26 May, 1983.- Rotterdam, 1983. - V. 2. - pp.545-550*.
109. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. *The finite element method. 5th edition. Volume 2. Butterworth-Heinemann, 2000.*

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Значения коэффициентов A, B, C, D, F Песчаные грунты при применении буровых свай.

Для песчаных грунтов при применении буровых свай значения коэффициентов $A=0,000, C=-0,025$.

Таблица А.1

Значения коэффициента B в песчаных грунтах при применении буровых свай

B											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	0,026	0,024	0,022	0,019	0,017	0,015	0,013	0,011	0,008	0,006	0,004
5,5	0,028	0,026	0,024	0,022	0,020	0,017	0,015	0,013	0,011	0,009	0,006
6,0	0,031	0,029	0,026	0,024	0,022	0,020	0,018	0,015	0,013	0,011	0,009
6,5	0,033	0,031	0,029	0,027	0,024	0,022	0,020	0,018	0,016	0,013	0,011
7,0	0,036	0,033	0,031	0,029	0,027	0,025	0,022	0,020	0,018	0,016	0,014
7,5	0,038	0,036	0,034	0,031	0,029	0,027	0,025	0,023	0,020	0,018	0,016
8,0	0,040	0,038	0,036	0,034	0,032	0,029	0,027	0,025	0,023	0,021	0,018
8,5	0,043	0,041	0,038	0,036	0,034	0,032	0,030	0,027	0,025	0,023	0,021
9,0	0,045	0,043	0,041	0,039	0,036	0,034	0,032	0,030	0,028	0,025	0,023
9,5	0,048	0,045	0,043	0,041	0,039	0,037	0,034	0,032	0,030	0,028	0,026
10,0	0,050	0,048	0,046	0,043	0,041	0,039	0,037	0,035	0,032	0,030	0,028
Примечания											
1. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} и относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 величины коэффициента определять по интерполяции.											

Таблица А.2

Значения коэффициента D в песчаных грунтах при применении буровых свай

D											
$H_{tr}, \text{ м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,028</u> 0,052	<u>0,039</u> 0,063	<u>0,050</u> 0,074	<u>0,062</u> 0,086	<u>0,073</u> 0,097	<u>0,084</u> 0,108	<u>0,095</u> 0,119	<u>0,106</u> 0,130	<u>0,118</u> 0,142	<u>0,129</u> 0,153	<u>0,140</u> 0,164
5,5	<u>0,027</u> 0,051	<u>0,037</u> 0,061	<u>0,048</u> 0,072	<u>0,058</u> 0,082	<u>0,068</u> 0,092	<u>0,078</u> 0,102	<u>0,088</u> 0,112	<u>0,098</u> 0,122	<u>0,108</u> 0,132	<u>0,119</u> 0,143	<u>0,129</u> 0,153
6,0	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,036</u> 0,060	<u>0,045</u> 0,069	<u>0,054</u> 0,078	<u>0,063</u> 0,087	<u>0,072</u> 0,096	<u>0,081</u> 0,105	<u>0,090</u> 0,114	<u>0,099</u> 0,123	<u>0,108</u> 0,132	<u>0,118</u> 0,142
6,5	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,034</u> 0,058	<u>0,042</u> 0,066	<u>0,050</u> 0,074	<u>0,058</u> 0,082	<u>0,066</u> 0,090	<u>0,074</u> 0,098	<u>0,082</u> 0,106	<u>0,090</u> 0,114	<u>0,098</u> 0,122	<u>0,106</u> 0,130
7,0	<u>0,025</u> 0,049	<u>0,032</u> 0,056	<u>0,039</u> 0,063	<u>0,046</u> 0,070	<u>0,053</u> 0,077	<u>0,060</u> 0,084	<u>0,067</u> 0,091	<u>0,074</u> 0,098	<u>0,081</u> 0,105	<u>0,088</u> 0,112	<u>0,095</u> 0,119
7,5	<u>0,024</u> 0,048	<u>0,030</u> 0,054	<u>0,036</u> 0,060	<u>0,042</u> 0,066	<u>0,048</u> 0,072	<u>0,054</u> 0,078	<u>0,060</u> 0,084	<u>0,066</u> 0,090	<u>0,072</u> 0,096	<u>0,078</u> 0,102	<u>0,084</u> 0,108
8,0	<u>0,023</u> 0,047	<u>0,028</u> 0,052	<u>0,033</u> 0,057	<u>0,038</u> 0,062	<u>0,043</u> 0,067	<u>0,048</u> 0,072	<u>0,053</u> 0,077	<u>0,058</u> 0,082	<u>0,063</u> 0,087	<u>0,068</u> 0,092	<u>0,073</u> 0,097
8,5	<u>0,022</u> 0,046	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,030</u> 0,054	<u>0,034</u> 0,058	<u>0,038</u> 0,062	<u>0,042</u> 0,066	<u>0,046</u> 0,070	<u>0,050</u> 0,074	<u>0,054</u> 0,078	<u>0,058</u> 0,082	<u>0,062</u> 0,086
9,0	<u>0,022</u> 0,046	<u>0,024</u> 0,048	<u>0,027</u> 0,051	<u>0,030</u> 0,054	<u>0,033</u> 0,057	<u>0,036</u> 0,060	<u>0,039</u> 0,063	<u>0,042</u> 0,066	<u>0,045</u> 0,069	<u>0,048</u> 0,072	<u>0,050</u> 0,074
9,5	<u>0,021</u> 0,045	<u>0,023</u> 0,047	<u>0,024</u> 0,048	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,028</u> 0,052	<u>0,030</u> 0,054	<u>0,032</u> 0,056	<u>0,034</u> 0,058	<u>0,036</u> 0,060	<u>0,037</u> 0,061	<u>0,039</u> 0,063
10,0	<u>0,020</u> 0,044	<u>0,021</u> 0,045	<u>0,022</u> 0,046	<u>0,022</u> 0,046	<u>0,023</u> 0,047	<u>0,024</u> 0,048	<u>0,025</u> 0,049	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,026</u> 0,050	<u>0,027</u> 0,051	<u>0,028</u> 0,052

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Таблица А.3

Значения коэффициента F в песчаных грунтах при применении буровых свай

F											
$H_{tr}, \text{М}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	$\frac{0,526}{0,568}$	$\frac{0,507}{0,549}$	$\frac{0,488}{0,530}$	$\frac{0,468}{0,510}$	$\frac{0,449}{0,491}$	$\frac{0,430}{0,472}$	$\frac{0,411}{0,453}$	$\frac{0,392}{0,434}$	$\frac{0,372}{0,414}$	$\frac{0,353}{0,395}$	$\frac{0,334}{0,376}$
5,5	$\frac{0,534}{0,576}$	$\frac{0,516}{0,558}$	$\frac{0,498}{0,540}$	$\frac{0,480}{0,522}$	$\frac{0,462}{0,504}$	$\frac{0,444}{0,486}$	$\frac{0,426}{0,468}$	$\frac{0,408}{0,450}$	$\frac{0,390}{0,432}$	$\frac{0,372}{0,414}$	$\frac{0,354}{0,396}$
6,0	$\frac{0,542}{0,584}$	$\frac{0,526}{0,568}$	$\frac{0,509}{0,551}$	$\frac{0,492}{0,534}$	$\frac{0,475}{0,517}$	$\frac{0,458}{0,500}$	$\frac{0,442}{0,484}$	$\frac{0,425}{0,467}$	$\frac{0,408}{0,450}$	$\frac{0,391}{0,433}$	$\frac{0,374}{0,416}$
6,5	$\frac{0,551}{0,593}$	$\frac{0,535}{0,577}$	$\frac{0,519}{0,561}$	$\frac{0,504}{0,546}$	$\frac{0,488}{0,530}$	$\frac{0,473}{0,515}$	$\frac{0,457}{0,499}$	$\frac{0,441}{0,483}$	$\frac{0,426}{0,468}$	$\frac{0,410}{0,452}$	$\frac{0,395}{0,437}$
7,0	$\frac{0,559}{0,601}$	$\frac{0,544}{0,586}$	$\frac{0,530}{0,572}$	$\frac{0,516}{0,558}$	$\frac{0,501}{0,543}$	$\frac{0,487}{0,529}$	$\frac{0,472}{0,514}$	$\frac{0,458}{0,500}$	$\frac{0,444}{0,486}$	$\frac{0,429}{0,471}$	$\frac{0,415}{0,457}$
7,5	$\frac{0,567}{0,609}$	$\frac{0,554}{0,596}$	$\frac{0,541}{0,583}$	$\frac{0,527}{0,569}$	$\frac{0,514}{0,556}$	$\frac{0,501}{0,543}$	$\frac{0,488}{0,530}$	$\frac{0,475}{0,517}$	$\frac{0,461}{0,503}$	$\frac{0,448}{0,490}$	$\frac{0,435}{0,477}$
8,0	$\frac{0,575}{0,617}$	$\frac{0,563}{0,605}$	$\frac{0,551}{0,593}$	$\frac{0,539}{0,581}$	$\frac{0,527}{0,569}$	$\frac{0,515}{0,557}$	$\frac{0,503}{0,545}$	$\frac{0,491}{0,533}$	$\frac{0,479}{0,521}$	$\frac{0,467}{0,509}$	$\frac{0,455}{0,497}$
8,5	$\frac{0,583}{0,625}$	$\frac{0,573}{0,615}$	$\frac{0,562}{0,604}$	$\frac{0,551}{0,593}$	$\frac{0,540}{0,582}$	$\frac{0,529}{0,571}$	$\frac{0,519}{0,561}$	$\frac{0,508}{0,550}$	$\frac{0,497}{0,539}$	$\frac{0,486}{0,528}$	$\frac{0,475}{0,517}$
9,0	$\frac{0,592}{0,634}$	$\frac{0,582}{0,624}$	$\frac{0,572}{0,614}$	$\frac{0,563}{0,605}$	$\frac{0,553}{0,595}$	$\frac{0,544}{0,586}$	$\frac{0,534}{0,576}$	$\frac{0,524}{0,566}$	$\frac{0,515}{0,557}$	$\frac{0,505}{0,547}$	$\frac{0,496}{0,538}$
9,5	$\frac{0,600}{0,642}$	$\frac{0,591}{0,633}$	$\frac{0,583}{0,625}$	$\frac{0,575}{0,617}$	$\frac{0,566}{0,608}$	$\frac{0,558}{0,600}$	$\frac{0,549}{0,591}$	$\frac{0,541}{0,583}$	$\frac{0,533}{0,575}$	$\frac{0,524}{0,566}$	$\frac{0,516}{0,558}$
10,0	$\frac{0,608}{0,650}$	$\frac{0,601}{0,643}$	$\frac{0,594}{0,636}$	$\frac{0,586}{0,628}$	$\frac{0,579}{0,621}$	$\frac{0,572}{0,614}$	$\frac{0,565}{0,607}$	$\frac{0,558}{0,600}$	$\frac{0,550}{0,592}$	$\frac{0,543}{0,585}$	$\frac{0,536}{0,578}$

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Песчаные грунты при применении завинчиваемых свай.

Для песчаных грунтов при применении завинчиваемых свай значения коэффициентов $A=0,000$, $B=0,056$, $C=-0,039$.

Таблица А.4

Значения коэффициента D в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

D											
$\begin{matrix} H_{tr}, \text{ м} \\ \hline \frac{H_{tr}}{L_0} \end{matrix}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,055</u> 0,055	<u>0,067</u> 0,067	<u>0,078</u> 0,078	<u>0,090</u> 0,090	<u>0,101</u> 0,101	<u>0,113</u> 0,113	<u>0,125</u> 0,125	<u>0,136</u> 0,136	<u>0,148</u> 0,148	<u>0,159</u> 0,159	<u>0,171</u> 0,171
5,5	<u>0,053</u> 0,053	<u>0,064</u> 0,064	<u>0,074</u> 0,074	<u>0,085</u> 0,085	<u>0,095</u> 0,095	<u>0,106</u> 0,106	<u>0,117</u> 0,117	<u>0,127</u> 0,127	<u>0,138</u> 0,138	<u>0,148</u> 0,148	<u>0,159</u> 0,159
6,0	<u>0,051</u> 0,051	<u>0,061</u> 0,061	<u>0,070</u> 0,070	<u>0,080</u> 0,080	<u>0,089</u> 0,089	<u>0,099</u> 0,099	<u>0,109</u> 0,109	<u>0,118</u> 0,118	<u>0,128</u> 0,128	<u>0,137</u> 0,137	<u>0,147</u> 0,147
6,5	<u>0,050</u> 0,050	<u>0,058</u> 0,058	<u>0,067</u> 0,067	<u>0,075</u> 0,075	<u>0,084</u> 0,084	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,100</u> 0,100	<u>0,109</u> 0,109	<u>0,117</u> 0,117	<u>0,126</u> 0,126	<u>0,134</u> 0,134
7,0	<u>0,048</u> 0,048	<u>0,055</u> 0,055	<u>0,063</u> 0,063	<u>0,070</u> 0,070	<u>0,078</u> 0,078	<u>0,085</u> 0,085	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,100</u> 0,100	<u>0,107</u> 0,107	<u>0,115</u> 0,115	<u>0,122</u> 0,122
7,5	<u>0,046</u> 0,046	<u>0,052</u> 0,052	<u>0,059</u> 0,059	<u>0,065</u> 0,065	<u>0,072</u> 0,072	<u>0,078</u> 0,078	<u>0,084</u> 0,084	<u>0,091</u> 0,091	<u>0,097</u> 0,097	<u>0,104</u> 0,104	<u>0,110</u> 0,110
8,0	<u>0,044</u> 0,044	<u>0,050</u> 0,050	<u>0,055</u> 0,055	<u>0,060</u> 0,060	<u>0,066</u> 0,066	<u>0,071</u> 0,071	<u>0,076</u> 0,076	<u>0,082</u> 0,082	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,098</u> 0,098
8,5	<u>0,042</u> 0,042	<u>0,047</u> 0,047	<u>0,051</u> 0,051	<u>0,055</u> 0,055	<u>0,060</u> 0,060	<u>0,064</u> 0,064	<u>0,068</u> 0,068	<u>0,073</u> 0,073	<u>0,077</u> 0,077	<u>0,081</u> 0,081	<u>0,086</u> 0,086
9,0	<u>0,041</u> 0,041	<u>0,044</u> 0,044	<u>0,047</u> 0,047	<u>0,050</u> 0,050	<u>0,054</u> 0,054	<u>0,057</u> 0,057	<u>0,060</u> 0,060	<u>0,064</u> 0,064	<u>0,067</u> 0,067	<u>0,070</u> 0,070	<u>0,073</u> 0,073
9,5	<u>0,039</u> 0,039	<u>0,041</u> 0,041	<u>0,043</u> 0,043	<u>0,046</u> 0,046	<u>0,048</u> 0,048	<u>0,050</u> 0,050	<u>0,052</u> 0,052	<u>0,054</u> 0,054	<u>0,057</u> 0,057	<u>0,059</u> 0,059	<u>0,061</u> 0,061
10,0	<u>0,037</u> 0,037	<u>0,038</u> 0,038	<u>0,039</u> 0,039	<u>0,041</u> 0,041	<u>0,042</u> 0,042	<u>0,043</u> 0,043	<u>0,044</u> 0,044	<u>0,045</u> 0,045	<u>0,047</u> 0,047	<u>0,048</u> 0,048	<u>0,049</u> 0,049

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Таблица А.5

Значения коэффициента F в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

F											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,597</u> 0,617	<u>0,583</u> 0,603	<u>0,570</u> 0,590	<u>0,556</u> 0,576	<u>0,542</u> 0,562	<u>0,528</u> 0,548	<u>0,514</u> 0,534	<u>0,501</u> 0,521	<u>0,487</u> 0,507	<u>0,473</u> 0,493
5,5	<u>0,615</u> 0,635	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,589</u> 0,609	<u>0,577</u> 0,597	<u>0,564</u> 0,584	<u>0,551</u> 0,571	<u>0,538</u> 0,558	<u>0,525</u> 0,545	<u>0,512</u> 0,532	<u>0,499</u> 0,519	<u>0,486</u> 0,506
6,0	<u>0,620</u> 0,640	<u>0,608</u> 0,628	<u>0,596</u> 0,616	<u>0,583</u> 0,603	<u>0,571</u> 0,591	<u>0,559</u> 0,579	<u>0,547</u> 0,567	<u>0,535</u> 0,555	<u>0,523</u> 0,543	<u>0,511</u> 0,531	<u>0,499</u> 0,519
6,5	<u>0,624</u> 0,644	<u>0,613</u> 0,633	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,590</u> 0,610	<u>0,579</u> 0,599	<u>0,568</u> 0,588	<u>0,557</u> 0,577	<u>0,545</u> 0,565	<u>0,534</u> 0,554	<u>0,523</u> 0,543	<u>0,511</u> 0,531
7,0	<u>0,629</u> 0,649	<u>0,618</u> 0,638	<u>0,608</u> 0,628	<u>0,597</u> 0,617	<u>0,587</u> 0,607	<u>0,576</u> 0,596	<u>0,566</u> 0,586	<u>0,556</u> 0,576	<u>0,545</u> 0,565	<u>0,535</u> 0,555	<u>0,524</u> 0,544
7,5	<u>0,633</u> 0,653	<u>0,623</u> 0,643	<u>0,614</u> 0,634	<u>0,604</u> 0,624	<u>0,595</u> 0,615	<u>0,585</u> 0,605	<u>0,575</u> 0,595	<u>0,566</u> 0,586	<u>0,556</u> 0,576	<u>0,547</u> 0,567	<u>0,537</u> 0,557
8,0	<u>0,637</u> 0,657	<u>0,629</u> 0,649	<u>0,620</u> 0,640	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,594</u> 0,614	<u>0,585</u> 0,605	<u>0,576</u> 0,596	<u>0,567</u> 0,587	<u>0,559</u> 0,579	<u>0,550</u> 0,570
8,5	<u>0,642</u> 0,662	<u>0,634</u> 0,654	<u>0,626</u> 0,646	<u>0,618</u> 0,638	<u>0,610</u> 0,630	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,594</u> 0,614	<u>0,586</u> 0,606	<u>0,578</u> 0,598	<u>0,571</u> 0,591	<u>0,563</u> 0,583
9,0	<u>0,646</u> 0,666	<u>0,639</u> 0,659	<u>0,632</u> 0,652	<u>0,625</u> 0,645	<u>0,618</u> 0,638	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,604</u> 0,624	<u>0,597</u> 0,617	<u>0,590</u> 0,610	<u>0,582</u> 0,602	<u>0,575</u> 0,595
9,5	<u>0,651</u> 0,671	<u>0,644</u> 0,664	<u>0,638</u> 0,658	<u>0,632</u> 0,652	<u>0,626</u> 0,646	<u>0,619</u> 0,639	<u>0,613</u> 0,633	<u>0,607</u> 0,627	<u>0,601</u> 0,621	<u>0,594</u> 0,614	<u>0,588</u> 0,608
10,0	<u>0,655</u> 0,675	<u>0,650</u> 0,670	<u>0,644</u> 0,664	<u>0,639</u> 0,659	<u>0,633</u> 0,653	<u>0,628</u> 0,648	<u>0,623</u> 0,643	<u>0,617</u> 0,637	<u>0,612</u> 0,632	<u>0,606</u> 0,626	<u>0,601</u> 0,621

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Связные грунты при применении буровых свай.

Для связных грунтов при применении буровых свай значения коэффициентов $A=0,000$, $C=-0,006$.

Таблица А.6

Значения коэффициента B в связных грунтах при применении буровых свай

B											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
5,5	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
6,0	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
6,5	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
7,0	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
7,5	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
8,0	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8,5	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
9,0	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
9,5	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
10,0	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Примечания 1. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} и относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 величины коэффициента определять по интерполяции.											

Таблица А.7

Значения коэффициента D в связных грунтах при применении буровых свай

D											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ / H_{tr}, M	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,106</u> 0,106	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,110</u> 0,110	<u>0,113</u> 0,113	<u>0,115</u> 0,115	<u>0,117</u> 0,117	<u>0,119</u> 0,119	<u>0,121</u> 0,121	<u>0,124</u> 0,124	<u>0,126</u> 0,126	<u>0,128</u> 0,128
5,5	<u>0,101</u> 0,101	<u>0,104</u> 0,104	<u>0,106</u> 0,106	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,111</u> 0,111	<u>0,113</u> 0,113	<u>0,116</u> 0,116	<u>0,118</u> 0,118	<u>0,120</u> 0,120	<u>0,123</u> 0,123	<u>0,125</u> 0,125
6,0	<u>0,096</u> 0,096	<u>0,099</u> 0,099	<u>0,102</u> 0,102	<u>0,104</u> 0,104	<u>0,107</u> 0,107	<u>0,109</u> 0,109	<u>0,112</u> 0,112	<u>0,115</u> 0,115	<u>0,117</u> 0,117	<u>0,120</u> 0,120	<u>0,122</u> 0,122
6,5	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,094</u> 0,094	<u>0,097</u> 0,097	<u>0,100</u> 0,100	<u>0,103</u> 0,103	<u>0,106</u> 0,106	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,111</u> 0,111	<u>0,114</u> 0,114	<u>0,117</u> 0,117	<u>0,120</u> 0,120
7,0	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,090</u> 0,090	<u>0,093</u> 0,093	<u>0,096</u> 0,096	<u>0,099</u> 0,099	<u>0,102</u> 0,102	<u>0,105</u> 0,105	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,111</u> 0,111	<u>0,114</u> 0,114	<u>0,117</u> 0,117
7,5	<u>0,082</u> 0,082	<u>0,085</u> 0,085	<u>0,088</u> 0,088	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,095</u> 0,095	<u>0,098</u> 0,098	<u>0,101</u> 0,101	<u>0,104</u> 0,104	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,111</u> 0,111	<u>0,114</u> 0,114
8,0	<u>0,077</u> 0,077	<u>0,081</u> 0,081	<u>0,084</u> 0,084	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,091</u> 0,091	<u>0,094</u> 0,094	<u>0,098</u> 0,098	<u>0,101</u> 0,101	<u>0,104</u> 0,104	<u>0,108</u> 0,108	<u>0,111</u> 0,111
8,5	<u>0,072</u> 0,072	<u>0,076</u> 0,076	<u>0,080</u> 0,080	<u>0,083</u> 0,083	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,090</u> 0,090	<u>0,094</u> 0,094	<u>0,098</u> 0,098	<u>0,101</u> 0,101	<u>0,105</u> 0,105	<u>0,108</u> 0,108
9,0	<u>0,068</u> 0,068	<u>0,071</u> 0,071	<u>0,075</u> 0,075	<u>0,079</u> 0,079	<u>0,083</u> 0,083	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,090</u> 0,090	<u>0,094</u> 0,094	<u>0,098</u> 0,098	<u>0,102</u> 0,102	<u>0,106</u> 0,106
9,5	<u>0,063</u> 0,063	<u>0,067</u> 0,067	<u>0,071</u> 0,071	<u>0,075</u> 0,075	<u>0,079</u> 0,079	<u>0,083</u> 0,083	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,091</u> 0,091	<u>0,095</u> 0,095	<u>0,099</u> 0,099	<u>0,103</u> 0,103
10,0	<u>0,058</u> 0,058	<u>0,062</u> 0,062	<u>0,066</u> 0,066	<u>0,071</u> 0,071	<u>0,075</u> 0,075	<u>0,079</u> 0,079	<u>0,083</u> 0,083	<u>0,087</u> 0,087	<u>0,092</u> 0,092	<u>0,096</u> 0,096	<u>0,100</u> 0,100

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Таблица А.8

Значения коэффициента F в связных грунтах при применении буровых свай

F											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,334</u> 0,362	<u>0,329</u> 0,357	<u>0,325</u> 0,353	<u>0,320</u> 0,348	<u>0,316</u> 0,344	<u>0,311</u> 0,339	<u>0,306</u> 0,334	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,297</u> 0,325	<u>0,293</u> 0,321	<u>0,288</u> 0,316
5,5	<u>0,354</u> 0,382	<u>0,348</u> 0,376	<u>0,343</u> 0,371	<u>0,338</u> 0,366	<u>0,332</u> 0,360	<u>0,327</u> 0,355	<u>0,322</u> 0,350	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,311</u> 0,339	<u>0,306</u> 0,334	<u>0,301</u> 0,329
6,0	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,367</u> 0,395	<u>0,361</u> 0,389	<u>0,355</u> 0,383	<u>0,349</u> 0,377	<u>0,343</u> 0,371	<u>0,337</u> 0,365	<u>0,331</u> 0,359	<u>0,326</u> 0,354	<u>0,320</u> 0,348	<u>0,314</u> 0,342
6,5	<u>0,393</u> 0,421	<u>0,386</u> 0,414	<u>0,380</u> 0,408	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,366</u> 0,394	<u>0,360</u> 0,388	<u>0,353</u> 0,381	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,340</u> 0,368	<u>0,333</u> 0,361	<u>0,326</u> 0,354
7,0	<u>0,412</u> 0,440	<u>0,405</u> 0,433	<u>0,398</u> 0,426	<u>0,390</u> 0,418	<u>0,383</u> 0,411	<u>0,376</u> 0,404	<u>0,368</u> 0,396	<u>0,361</u> 0,389	<u>0,354</u> 0,382	<u>0,347</u> 0,375	<u>0,339</u> 0,367
7,5	<u>0,432</u> 0,460	<u>0,424</u> 0,452	<u>0,416</u> 0,444	<u>0,408</u> 0,436	<u>0,400</u> 0,428	<u>0,392</u> 0,420	<u>0,384</u> 0,412	<u>0,376</u> 0,404	<u>0,368</u> 0,396	<u>0,360</u> 0,388	<u>0,352</u> 0,380
8,0	<u>0,452</u> 0,480	<u>0,443</u> 0,471	<u>0,434</u> 0,462	<u>0,426</u> 0,454	<u>0,417</u> 0,445	<u>0,408</u> 0,436	<u>0,400</u> 0,428	<u>0,391</u> 0,419	<u>0,382</u> 0,410	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,365</u> 0,393
8,5	<u>0,471</u> 0,499	<u>0,462</u> 0,490	<u>0,452</u> 0,480	<u>0,443</u> 0,471	<u>0,434</u> 0,462	<u>0,424</u> 0,452	<u>0,415</u> 0,443	<u>0,406</u> 0,434	<u>0,396</u> 0,424	<u>0,387</u> 0,415	<u>0,378</u> 0,406
9,0	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,481</u> 0,509	<u>0,471</u> 0,499	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,451</u> 0,479	<u>0,441</u> 0,469	<u>0,431</u> 0,459	<u>0,421</u> 0,449	<u>0,410</u> 0,438	<u>0,400</u> 0,428	<u>0,390</u> 0,418
9,5	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,500</u> 0,528	<u>0,489</u> 0,517	<u>0,478</u> 0,506	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,457</u> 0,485	<u>0,446</u> 0,474	<u>0,435</u> 0,463	<u>0,425</u> 0,453	<u>0,414</u> 0,442	<u>0,403</u> 0,431
10,0	<u>0,530</u> 0,558	<u>0,519</u> 0,547	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,496</u> 0,524	<u>0,484</u> 0,512	<u>0,473</u> 0,501	<u>0,462</u> 0,490	<u>0,450</u> 0,478	<u>0,439</u> 0,467	<u>0,427</u> 0,455	<u>0,416</u> 0,444

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

Связные грунты при применении завинчиваемых свай.

Для связных грунтов при применении завинчиваемых свай значения коэффициентов $A=0,016$, $B=0,058$, $C=-0,022$.

Таблица А.9

Значения коэффициента D в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

D											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ / $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	0,134	0,136	0,138	0,141	0,143	0,145	0,147	0,149	0,152	0,154	0,156
5,5	0,130	0,132	0,134	0,136	0,139	0,141	0,143	0,145	0,147	0,150	0,152
6,0	0,126	0,128	0,130	0,132	0,134	0,137	0,139	0,141	0,143	0,145	0,148
6,5	0,121	0,124	0,126	0,128	0,130	0,132	0,135	0,137	0,139	0,141	0,143
7,0	0,117	0,119	0,122	0,124	0,126	0,128	0,130	0,133	0,135	0,137	0,139
7,5	0,113	0,115	0,117	0,120	0,122	0,124	0,126	0,128	0,131	0,133	0,135
8,0	0,109	0,111	0,113	0,115	0,118	0,120	0,122	0,124	0,126	0,129	0,131
8,5	0,105	0,107	0,109	0,111	0,113	0,116	0,118	0,120	0,122	0,124	0,127
9,0	0,100	0,103	0,105	0,107	0,109	0,111	0,114	0,116	0,118	0,120	0,122
9,5	0,096	0,098	0,101	0,103	0,105	0,107	0,109	0,112	0,114	0,116	0,118
10,0	0,092	0,094	0,096	0,099	0,101	0,103	0,105	0,107	0,110	0,112	0,114
Примечания 1. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} и относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 величины коэффициента определять по интерполяции.											

Таблица А.10

Значения коэффициента F в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

F											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,438</u> 0,466	<u>0,429</u> 0,457	<u>0,420</u> 0,448	<u>0,412</u> 0,440	<u>0,403</u> 0,431	<u>0,394</u> 0,422	<u>0,385</u> 0,413	<u>0,376</u> 0,404	<u>0,368</u> 0,396	<u>0,359</u> 0,387	<u>0,350</u> 0,378
5,5	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,447</u> 0,475	<u>0,437</u> 0,465	<u>0,428</u> 0,456	<u>0,419</u> 0,447	<u>0,409</u> 0,437	<u>0,400</u> 0,428	<u>0,391</u> 0,419	<u>0,381</u> 0,409	<u>0,372</u> 0,400	<u>0,363</u> 0,391
6,0	<u>0,474</u> 0,502	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,454</u> 0,482	<u>0,444</u> 0,472	<u>0,435</u> 0,463	<u>0,425</u> 0,453	<u>0,415</u> 0,443	<u>0,405</u> 0,433	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,385</u> 0,413	<u>0,376</u> 0,404
6,5	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,471</u> 0,499	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,451</u> 0,479	<u>0,440</u> 0,468	<u>0,430</u> 0,458	<u>0,419</u> 0,447	<u>0,409</u> 0,437	<u>0,399</u> 0,427	<u>0,388</u> 0,416
7,0	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,499</u> 0,527	<u>0,488</u> 0,516	<u>0,477</u> 0,505	<u>0,466</u> 0,494	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,445</u> 0,473	<u>0,434</u> 0,462	<u>0,423</u> 0,451	<u>0,412</u> 0,440	<u>0,401</u> 0,429
7,5	<u>0,528</u> 0,556	<u>0,517</u> 0,545	<u>0,505</u> 0,533	<u>0,494</u> 0,522	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,471</u> 0,499	<u>0,460</u> 0,488	<u>0,448</u> 0,476	<u>0,437</u> 0,465	<u>0,425</u> 0,453	<u>0,414</u> 0,442
8,0	<u>0,546</u> 0,574	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,522</u> 0,550	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,498</u> 0,526	<u>0,486</u> 0,514	<u>0,474</u> 0,502	<u>0,463</u> 0,491	<u>0,451</u> 0,479	<u>0,439</u> 0,467	<u>0,427</u> 0,455
8,5	<u>0,564</u> 0,592	<u>0,552</u> 0,580	<u>0,539</u> 0,567	<u>0,527</u> 0,555	<u>0,514</u> 0,542	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,489</u> 0,517	<u>0,477</u> 0,505	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,452</u> 0,480	<u>0,440</u> 0,468
9,0	<u>0,582</u> 0,610	<u>0,569</u> 0,597	<u>0,556</u> 0,584	<u>0,543</u> 0,571	<u>0,530</u> 0,558	<u>0,517</u> 0,545	<u>0,504</u> 0,532	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,478</u> 0,506	<u>0,465</u> 0,493	<u>0,452</u> 0,480
9,5	<u>0,600</u> 0,628	<u>0,587</u> 0,615	<u>0,573</u> 0,601	<u>0,560</u> 0,588	<u>0,546</u> 0,574	<u>0,533</u> 0,561	<u>0,519</u> 0,547	<u>0,506</u> 0,534	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,479</u> 0,507	<u>0,465</u> 0,493
10,0	<u>0,618</u> 0,646	<u>0,604</u> 0,632	<u>0,590</u> 0,618	<u>0,576</u> 0,604	<u>0,562</u> 0,590	<u>0,548</u> 0,576	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,520</u> 0,548	<u>0,506</u> 0,534	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,478</u> 0,506

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента определять по интерполяции.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Значения предельных коэффициентов эффективности

Таблица Б.1

Максимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{max} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{ef}^{max}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,605</u> 0,671	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,574</u> 0,640	<u>0,564</u> 0,630	<u>0,554</u> 0,620	<u>0,544</u> 0,610	<u>0,534</u> 0,600	<u>0,523</u> 0,589	<u>0,513</u> 0,579	<u>0,503</u> 0,569
5,5	<u>0,615</u> 0,681	<u>0,605</u> 0,671	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,575</u> 0,641	<u>0,565</u> 0,631	<u>0,555</u> 0,621	<u>0,545</u> 0,611	<u>0,534</u> 0,600	<u>0,524</u> 0,590	<u>0,514</u> 0,580
6,0	<u>0,625</u> 0,691	<u>0,615</u> 0,681	<u>0,605</u> 0,671	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,575</u> 0,641	<u>0,565</u> 0,631	<u>0,555</u> 0,621	<u>0,546</u> 0,612	<u>0,536</u> 0,602	<u>0,526</u> 0,592
6,5	<u>0,634</u> 0,700	<u>0,625</u> 0,691	<u>0,615</u> 0,681	<u>0,605</u> 0,671	<u>0,596</u> 0,662	<u>0,586</u> 0,652	<u>0,576</u> 0,642	<u>0,566</u> 0,632	<u>0,557</u> 0,623	<u>0,547</u> 0,613	<u>0,537</u> 0,603
7,0	<u>0,644</u> 0,710	<u>0,635</u> 0,701	<u>0,625</u> 0,691	<u>0,616</u> 0,682	<u>0,606</u> 0,672	<u>0,596</u> 0,662	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,577</u> 0,643	<u>0,568</u> 0,634	<u>0,558</u> 0,624	<u>0,549</u> 0,615
7,5	<u>0,654</u> 0,720	<u>0,645</u> 0,711	<u>0,635</u> 0,701	<u>0,626</u> 0,692	<u>0,616</u> 0,682	<u>0,607</u> 0,673	<u>0,598</u> 0,664	<u>0,588</u> 0,654	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,569</u> 0,635	<u>0,560</u> 0,626
8,0	<u>0,664</u> 0,730	<u>0,655</u> 0,721	<u>0,645</u> 0,711	<u>0,636</u> 0,702	<u>0,627</u> 0,693	<u>0,618</u> 0,684	<u>0,608</u> 0,674	<u>0,599</u> 0,665	<u>0,590</u> 0,656	<u>0,581</u> 0,647	<u>0,571</u> 0,637
8,5	<u>0,674</u> 0,740	<u>0,665</u> 0,731	<u>0,655</u> 0,721	<u>0,646</u> 0,712	<u>0,637</u> 0,703	<u>0,628</u> 0,694	<u>0,619</u> 0,685	<u>0,610</u> 0,676	<u>0,601</u> 0,667	<u>0,592</u> 0,658	<u>0,583</u> 0,649
9,0	<u>0,683</u> 0,749	<u>0,674</u> 0,740	<u>0,666</u> 0,732	<u>0,657</u> 0,723	<u>0,648</u> 0,714	<u>0,639</u> 0,705	<u>0,630</u> 0,696	<u>0,621</u> 0,687	<u>0,612</u> 0,678	<u>0,603</u> 0,669	<u>0,594</u> 0,660
9,5	<u>0,693</u> 0,759	<u>0,684</u> 0,750	<u>0,676</u> 0,742	<u>0,667</u> 0,733	<u>0,658</u> 0,724	<u>0,649</u> 0,715	<u>0,641</u> 0,707	<u>0,632</u> 0,698	<u>0,623</u> 0,689	<u>0,614</u> 0,680	<u>0,606</u> 0,672
10,0	<u>0,703</u> 0,769	<u>0,694</u> 0,760	<u>0,686</u> 0,752	<u>0,677</u> 0,743	<u>0,669</u> 0,735	<u>0,660</u> 0,726	<u>0,651</u> 0,717	<u>0,643</u> 0,709	<u>0,634</u> 0,700	<u>0,626</u> 0,692	<u>0,617</u> 0,683
Примечания 2. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 3. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции.											

Таблица Б.2

Минимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{min} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{ef}^{min}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,447</u> 0,465	<u>0,419</u> 0,437	<u>0,391</u> 0,409	<u>0,362</u> 0,380	<u>0,334</u> 0,352	<u>0,306</u> 0,324	<u>0,278</u> 0,296	<u>0,250</u> 0,268	<u>0,221</u> 0,239	<u>0,193</u> 0,211	<u>0,165</u> 0,183
5,5	<u>0,454</u> 0,472	<u>0,428</u> 0,446	<u>0,402</u> 0,420	<u>0,376</u> 0,394	<u>0,350</u> 0,368	<u>0,324</u> 0,342	<u>0,298</u> 0,316	<u>0,272</u> 0,290	<u>0,246</u> 0,264	<u>0,220</u> 0,238	<u>0,194</u> 0,212
6,0	<u>0,460</u> 0,478	<u>0,436</u> 0,454	<u>0,413</u> 0,431	<u>0,389</u> 0,407	<u>0,365</u> 0,383	<u>0,342</u> 0,360	<u>0,318</u> 0,336	<u>0,294</u> 0,312	<u>0,270</u> 0,288	<u>0,247</u> 0,265	<u>0,223</u> 0,241
6,5	<u>0,467</u> 0,485	<u>0,445</u> 0,463	<u>0,424</u> 0,442	<u>0,402</u> 0,420	<u>0,381</u> 0,399	<u>0,359</u> 0,377	<u>0,338</u> 0,356	<u>0,316</u> 0,334	<u>0,295</u> 0,313	<u>0,273</u> 0,291	<u>0,252</u> 0,270
7,0	<u>0,473</u> 0,491	<u>0,454</u> 0,472	<u>0,435</u> 0,453	<u>0,416</u> 0,434	<u>0,396</u> 0,414	<u>0,377</u> 0,395	<u>0,358</u> 0,376	<u>0,339</u> 0,357	<u>0,319</u> 0,337	<u>0,300</u> 0,318	<u>0,281</u> 0,299
7,5	<u>0,480</u> 0,498	<u>0,463</u> 0,481	<u>0,446</u> 0,464	<u>0,429</u> 0,447	<u>0,412</u> 0,430	<u>0,395</u> 0,413	<u>0,378</u> 0,396	<u>0,361</u> 0,379	<u>0,344</u> 0,362	<u>0,327</u> 0,345	<u>0,310</u> 0,328
8,0	<u>0,487</u> 0,505	<u>0,472</u> 0,490	<u>0,457</u> 0,475	<u>0,442</u> 0,460	<u>0,428</u> 0,446	<u>0,413</u> 0,431	<u>0,398</u> 0,416	<u>0,383</u> 0,401	<u>0,369</u> 0,387	<u>0,354</u> 0,372	<u>0,339</u> 0,357
8,5	<u>0,493</u> 0,511	<u>0,481</u> 0,499	<u>0,468</u> 0,486	<u>0,456</u> 0,474	<u>0,443</u> 0,461	<u>0,431</u> 0,449	<u>0,418</u> 0,436	<u>0,406</u> 0,424	<u>0,393</u> 0,411	<u>0,381</u> 0,399	<u>0,368</u> 0,386
9,0	<u>0,500</u> 0,518	<u>0,490</u> 0,508	<u>0,479</u> 0,497	<u>0,469</u> 0,487	<u>0,459</u> 0,477	<u>0,448</u> 0,466	<u>0,438</u> 0,456	<u>0,428</u> 0,446	<u>0,418</u> 0,436	<u>0,407</u> 0,425	<u>0,397</u> 0,415
9,5	<u>0,506</u> 0,524	<u>0,498</u> 0,516	<u>0,490</u> 0,508	<u>0,482</u> 0,500	<u>0,474</u> 0,492	<u>0,466</u> 0,484	<u>0,458</u> 0,476	<u>0,450</u> 0,468	<u>0,442</u> 0,460	<u>0,434</u> 0,452	<u>0,426</u> 0,444
10,0	<u>0,513</u> 0,531	<u>0,507</u> 0,525	<u>0,501</u> 0,519	<u>0,496</u> 0,514	<u>0,490</u> 0,508	<u>0,484</u> 0,502	<u>0,478</u> 0,496	<u>0,472</u> 0,490	<u>0,467</u> 0,485	<u>0,461</u> 0,479	<u>0,455</u> 0,473
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции. 											

Таблица Б.3

Максимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{max} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{ef}^{max}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,761</u> 0,781	<u>0,759</u> 0,779	<u>0,757</u> 0,777	<u>0,754</u> 0,774	<u>0,752</u> 0,772	<u>0,750</u> 0,770	<u>0,748</u> 0,768	<u>0,746</u> 0,766	<u>0,743</u> 0,763	<u>0,741</u> 0,761	<u>0,739</u> 0,759
5,5	<u>0,764</u> 0,784	<u>0,761</u> 0,781	<u>0,759</u> 0,779	<u>0,756</u> 0,776	<u>0,754</u> 0,774	<u>0,752</u> 0,772	<u>0,749</u> 0,769	<u>0,747</u> 0,767	<u>0,744</u> 0,764	<u>0,742</u> 0,762	<u>0,740</u> 0,760
6,0	<u>0,766</u> 0,786	<u>0,764</u> 0,784	<u>0,761</u> 0,781	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,756</u> 0,776	<u>0,753</u> 0,773	<u>0,751</u> 0,771	<u>0,748</u> 0,768	<u>0,745</u> 0,765	<u>0,743</u> 0,763	<u>0,740</u> 0,760
6,5	<u>0,769</u> 0,789	<u>0,766</u> 0,786	<u>0,763</u> 0,783	<u>0,760</u> 0,780	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,755</u> 0,775	<u>0,752</u> 0,772	<u>0,749</u> 0,769	<u>0,746</u> 0,766	<u>0,744</u> 0,764	<u>0,741</u> 0,761
7,0	<u>0,771</u> 0,791	<u>0,768</u> 0,788	<u>0,765</u> 0,785	<u>0,762</u> 0,782	<u>0,759</u> 0,779	<u>0,756</u> 0,776	<u>0,753</u> 0,773	<u>0,750</u> 0,770	<u>0,747</u> 0,767	<u>0,744</u> 0,764	<u>0,741</u> 0,761
7,5	<u>0,774</u> 0,794	<u>0,771</u> 0,791	<u>0,768</u> 0,788	<u>0,764</u> 0,784	<u>0,761</u> 0,781	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,755</u> 0,775	<u>0,752</u> 0,772	<u>0,748</u> 0,768	<u>0,745</u> 0,765	<u>0,742</u> 0,762
8,0	<u>0,777</u> 0,797	<u>0,773</u> 0,793	<u>0,770</u> 0,790	<u>0,766</u> 0,786	<u>0,763</u> 0,783	<u>0,760</u> 0,780	<u>0,756</u> 0,776	<u>0,753</u> 0,773	<u>0,749</u> 0,769	<u>0,746</u> 0,766	<u>0,743</u> 0,763
8,5	<u>0,779</u> 0,799	<u>0,776</u> 0,796	<u>0,772</u> 0,792	<u>0,768</u> 0,788	<u>0,765</u> 0,785	<u>0,761</u> 0,781	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,754</u> 0,774	<u>0,750</u> 0,770	<u>0,747</u> 0,767	<u>0,743</u> 0,763
9,0	<u>0,782</u> 0,802	<u>0,778</u> 0,798	<u>0,774</u> 0,794	<u>0,770</u> 0,790	<u>0,767</u> 0,787	<u>0,763</u> 0,783	<u>0,759</u> 0,779	<u>0,755</u> 0,775	<u>0,751</u> 0,771	<u>0,748</u> 0,768	<u>0,744</u> 0,764
9,5	<u>0,784</u> 0,804	<u>0,780</u> 0,800	<u>0,776</u> 0,796	<u>0,772</u> 0,792	<u>0,768</u> 0,788	<u>0,764</u> 0,784	<u>0,760</u> 0,780	<u>0,756</u> 0,776	<u>0,752</u> 0,772	<u>0,748</u> 0,768	<u>0,744</u> 0,764
10,0	<u>0,787</u> 0,807	<u>0,783</u> 0,803	<u>0,779</u> 0,799	<u>0,774</u> 0,794	<u>0,770</u> 0,790	<u>0,766</u> 0,786	<u>0,762</u> 0,782	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,753</u> 0,773	<u>0,749</u> 0,769	<u>0,745</u> 0,765
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции. 											

Таблица Б.4

Минимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{min} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{ef}^{min}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,461</u> 0,481	<u>0,436</u> 0,456	<u>0,410</u> 0,430	<u>0,385</u> 0,405	<u>0,359</u> 0,379	<u>0,334</u> 0,354	<u>0,309</u> 0,329	<u>0,283</u> 0,303	<u>0,258</u> 0,278	<u>0,232</u> 0,252	<u>0,207</u> 0,227
5,5	<u>0,467</u> 0,487	<u>0,444</u> 0,464	<u>0,420</u> 0,440	<u>0,397</u> 0,417	<u>0,373</u> 0,393	<u>0,350</u> 0,370	<u>0,326</u> 0,346	<u>0,303</u> 0,323	<u>0,279</u> 0,299	<u>0,256</u> 0,276	<u>0,232</u> 0,252
6,0	<u>0,473</u> 0,493	<u>0,452</u> 0,472	<u>0,430</u> 0,450	<u>0,408</u> 0,428	<u>0,387</u> 0,407	<u>0,365</u> 0,385	<u>0,344</u> 0,364	<u>0,322</u> 0,342	<u>0,300</u> 0,320	<u>0,279</u> 0,299	<u>0,257</u> 0,277
6,5	<u>0,480</u> 0,500	<u>0,460</u> 0,480	<u>0,440</u> 0,460	<u>0,420</u> 0,440	<u>0,401</u> 0,421	<u>0,381</u> 0,401	<u>0,361</u> 0,381	<u>0,341</u> 0,361	<u>0,322</u> 0,342	<u>0,302</u> 0,322	<u>0,282</u> 0,302
7,0	<u>0,486</u> 0,506	<u>0,468</u> 0,488	<u>0,450</u> 0,470	<u>0,432</u> 0,452	<u>0,414</u> 0,434	<u>0,396</u> 0,416	<u>0,379</u> 0,399	<u>0,361</u> 0,381	<u>0,343</u> 0,363	<u>0,325</u> 0,345	<u>0,307</u> 0,327
7,5	<u>0,492</u> 0,512	<u>0,476</u> 0,496	<u>0,460</u> 0,480	<u>0,444</u> 0,464	<u>0,428</u> 0,448	<u>0,412</u> 0,432	<u>0,396</u> 0,416	<u>0,380</u> 0,400	<u>0,364</u> 0,384	<u>0,348</u> 0,368	<u>0,332</u> 0,352
8,0	<u>0,498</u> 0,518	<u>0,484</u> 0,504	<u>0,470</u> 0,490	<u>0,456</u> 0,476	<u>0,442</u> 0,462	<u>0,428</u> 0,448	<u>0,413</u> 0,433	<u>0,399</u> 0,419	<u>0,385</u> 0,405	<u>0,371</u> 0,391	<u>0,357</u> 0,377
8,5	<u>0,504</u> 0,524	<u>0,492</u> 0,512	<u>0,480</u> 0,500	<u>0,468</u> 0,488	<u>0,455</u> 0,475	<u>0,443</u> 0,463	<u>0,431</u> 0,451	<u>0,419</u> 0,439	<u>0,406</u> 0,426	<u>0,394</u> 0,414	<u>0,382</u> 0,402
9,0	<u>0,511</u> 0,531	<u>0,500</u> 0,520	<u>0,490</u> 0,510	<u>0,480</u> 0,500	<u>0,469</u> 0,489	<u>0,459</u> 0,479	<u>0,448</u> 0,468	<u>0,438</u> 0,458	<u>0,428</u> 0,448	<u>0,417</u> 0,437	<u>0,407</u> 0,427
9,5	<u>0,517</u> 0,537	<u>0,508</u> 0,528	<u>0,500</u> 0,520	<u>0,491</u> 0,511	<u>0,483</u> 0,503	<u>0,474</u> 0,494	<u>0,466</u> 0,486	<u>0,457</u> 0,477	<u>0,449</u> 0,469	<u>0,440</u> 0,460	<u>0,432</u> 0,452
10,0	<u>0,523</u> 0,543	<u>0,516</u> 0,536	<u>0,510</u> 0,530	<u>0,503</u> 0,523	<u>0,497</u> 0,517	<u>0,490</u> 0,510	<u>0,483</u> 0,503	<u>0,477</u> 0,497	<u>0,470</u> 0,490	<u>0,464</u> 0,484	<u>0,457</u> 0,477

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции.

Таблица Б.5

Максимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{max} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{ef}^{max}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,460</u> 0,488	<u>0,458</u> 0,486	<u>0,455</u> 0,483	<u>0,453</u> 0,481	<u>0,450</u> 0,478	<u>0,448</u> 0,476	<u>0,446</u> 0,474	<u>0,443</u> 0,471	<u>0,441</u> 0,469	<u>0,438</u> 0,466	<u>0,436</u> 0,464
5,5	<u>0,476</u> 0,504	<u>0,473</u> 0,501	<u>0,470</u> 0,498	<u>0,467</u> 0,495	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,459</u> 0,487	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,453</u> 0,481	<u>0,450</u> 0,478	<u>0,447</u> 0,475
6,0	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,488</u> 0,516	<u>0,485</u> 0,513	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,478</u> 0,506	<u>0,475</u> 0,503	<u>0,471</u> 0,499	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,465</u> 0,493	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,458</u> 0,486
6,5	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,504</u> 0,532	<u>0,500</u> 0,528	<u>0,496</u> 0,524	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,488</u> 0,516	<u>0,484</u> 0,512	<u>0,481</u> 0,509	<u>0,477</u> 0,505	<u>0,473</u> 0,501	<u>0,469</u> 0,497
7,0	<u>0,523</u> 0,551	<u>0,519</u> 0,547	<u>0,515</u> 0,543	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,506</u> 0,534	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,497</u> 0,525	<u>0,493</u> 0,521	<u>0,489</u> 0,517	<u>0,484</u> 0,512	<u>0,480</u> 0,508
7,5	<u>0,539</u> 0,567	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,529</u> 0,557	<u>0,525</u> 0,553	<u>0,520</u> 0,548	<u>0,515</u> 0,543	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,505</u> 0,533	<u>0,501</u> 0,529	<u>0,496</u> 0,524	<u>0,491</u> 0,519
8,0	<u>0,555</u> 0,583	<u>0,550</u> 0,578	<u>0,544</u> 0,572	<u>0,539</u> 0,567	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,528</u> 0,556	<u>0,523</u> 0,551	<u>0,518</u> 0,546	<u>0,513</u> 0,541	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,502</u> 0,530
8,5	<u>0,571</u> 0,599	<u>0,565</u> 0,593	<u>0,559</u> 0,587	<u>0,553</u> 0,581	<u>0,548</u> 0,576	<u>0,542</u> 0,570	<u>0,536</u> 0,564	<u>0,530</u> 0,558	<u>0,525</u> 0,553	<u>0,519</u> 0,547	<u>0,513</u> 0,541
9,0	<u>0,586</u> 0,614	<u>0,580</u> 0,608	<u>0,574</u> 0,602	<u>0,568</u> 0,596	<u>0,561</u> 0,589	<u>0,555</u> 0,583	<u>0,549</u> 0,577	<u>0,543</u> 0,571	<u>0,536</u> 0,564	<u>0,530</u> 0,558	<u>0,524</u> 0,552
9,5	<u>0,602</u> 0,630	<u>0,595</u> 0,623	<u>0,589</u> 0,617	<u>0,582</u> 0,610	<u>0,575</u> 0,603	<u>0,569</u> 0,597	<u>0,562</u> 0,590	<u>0,555</u> 0,583	<u>0,548</u> 0,576	<u>0,542</u> 0,570	<u>0,535</u> 0,563
10,0	<u>0,618</u> 0,646	<u>0,611</u> 0,639	<u>0,604</u> 0,632	<u>0,596</u> 0,624	<u>0,589</u> 0,617	<u>0,582</u> 0,610	<u>0,575</u> 0,603	<u>0,568</u> 0,596	<u>0,560</u> 0,588	<u>0,553</u> 0,581	<u>0,546</u> 0,574
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции. 											

Таблица Б.6

Минимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{min} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{ef}^{min}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,208</u> 0,236	<u>0,201</u> 0,229	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,188</u> 0,216	<u>0,181</u> 0,209	<u>0,174</u> 0,202	<u>0,167</u> 0,195	<u>0,160</u> 0,188	<u>0,154</u> 0,182	<u>0,147</u> 0,175	<u>0,140</u> 0,168
5,5	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,224</u> 0,252	<u>0,216</u> 0,244	<u>0,208</u> 0,236	<u>0,201</u> 0,229	<u>0,193</u> 0,221	<u>0,185</u> 0,213	<u>0,178</u> 0,206	<u>0,170</u> 0,198	<u>0,162</u> 0,190	<u>0,155</u> 0,183
6,0	<u>0,255</u> 0,283	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,238</u> 0,266	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,221</u> 0,249	<u>0,212</u> 0,240	<u>0,203</u> 0,231	<u>0,195</u> 0,223	<u>0,186</u> 0,214	<u>0,178</u> 0,206	<u>0,169</u> 0,197
6,5	<u>0,278</u> 0,306	<u>0,269</u> 0,297	<u>0,259</u> 0,287	<u>0,250</u> 0,278	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,222</u> 0,250	<u>0,212</u> 0,240	<u>0,203</u> 0,231	<u>0,193</u> 0,221	<u>0,184</u> 0,212
7,0	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,291</u> 0,319	<u>0,281</u> 0,309	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,260</u> 0,288	<u>0,250</u> 0,278	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,219</u> 0,247	<u>0,209</u> 0,237	<u>0,198</u> 0,226
7,5	<u>0,325</u> 0,353	<u>0,314</u> 0,342	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,291</u> 0,319	<u>0,280</u> 0,308	<u>0,269</u> 0,297	<u>0,258</u> 0,286	<u>0,247</u> 0,275	<u>0,235</u> 0,263	<u>0,224</u> 0,252	<u>0,213</u> 0,241
8,0	<u>0,348</u> 0,376	<u>0,336</u> 0,364	<u>0,324</u> 0,352	<u>0,312</u> 0,340	<u>0,300</u> 0,328	<u>0,288</u> 0,316	<u>0,276</u> 0,304	<u>0,264</u> 0,292	<u>0,252</u> 0,280	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,228</u> 0,256
8,5	<u>0,372</u> 0,400	<u>0,359</u> 0,387	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,333</u> 0,361	<u>0,320</u> 0,348	<u>0,307</u> 0,335	<u>0,294</u> 0,322	<u>0,281</u> 0,309	<u>0,268</u> 0,296	<u>0,255</u> 0,283	<u>0,242</u> 0,270
9,0	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,381</u> 0,409	<u>0,368</u> 0,396	<u>0,354</u> 0,382	<u>0,340</u> 0,368	<u>0,326</u> 0,354	<u>0,312</u> 0,340	<u>0,298</u> 0,326	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,257</u> 0,285
9,5	<u>0,419</u> 0,447	<u>0,404</u> 0,432	<u>0,389</u> 0,417	<u>0,374</u> 0,402	<u>0,360</u> 0,388	<u>0,345</u> 0,373	<u>0,330</u> 0,358	<u>0,316</u> 0,344	<u>0,301</u> 0,329	<u>0,286</u> 0,314	<u>0,271</u> 0,299
10,0	<u>0,442</u> 0,470	<u>0,426</u> 0,454	<u>0,411</u> 0,439	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,380</u> 0,408	<u>0,364</u> 0,392	<u>0,348</u> 0,376	<u>0,333</u> 0,361	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,286</u> 0,314
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции. 											

Таблица Б.7

Максимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{max} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{ef}^{max}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,806</u> 0,696	<u>0,794</u> 0,689	<u>0,782</u> 0,683	<u>0,771</u> 0,676	<u>0,759</u> 0,670	<u>0,747</u> 0,663	<u>0,735</u> 0,656	<u>0,723</u> 0,650	<u>0,712</u> 0,643	<u>0,700</u> 0,637	<u>0,688</u> 0,630
5,5	<u>0,792</u> 0,710	<u>0,781</u> 0,703	<u>0,770</u> 0,696	<u>0,758</u> 0,688	<u>0,747</u> 0,681	<u>0,736</u> 0,674	<u>0,725</u> 0,667	<u>0,713</u> 0,660	<u>0,702</u> 0,653	<u>0,691</u> 0,646	<u>0,679</u> 0,639
6,0	<u>0,778</u> 0,724	<u>0,768</u> 0,716	<u>0,757</u> 0,708	<u>0,746</u> 0,701	<u>0,735</u> 0,693	<u>0,725</u> 0,685	<u>0,714</u> 0,678	<u>0,703</u> 0,670	<u>0,692</u> 0,662	<u>0,682</u> 0,655	<u>0,671</u> 0,647
6,5	<u>0,765</u> 0,737	<u>0,754</u> 0,729	<u>0,744</u> 0,721	<u>0,734</u> 0,713	<u>0,724</u> 0,705	<u>0,713</u> 0,697	<u>0,703</u> 0,688	<u>0,693</u> 0,680	<u>0,683</u> 0,672	<u>0,672</u> 0,664	<u>0,662</u> 0,656
7,0	<u>0,751</u> 0,751	<u>0,741</u> 0,743	<u>0,731</u> 0,734	<u>0,722</u> 0,725	<u>0,712</u> 0,716	<u>0,702</u> 0,708	<u>0,692</u> 0,699	<u>0,683</u> 0,690	<u>0,673</u> 0,682	<u>0,663</u> 0,673	<u>0,654</u> 0,664
7,5	<u>0,737</u> 0,765	<u>0,728</u> 0,756	<u>0,719</u> 0,747	<u>0,709</u> 0,737	<u>0,700</u> 0,728	<u>0,691</u> 0,719	<u>0,682</u> 0,710	<u>0,673</u> 0,701	<u>0,663</u> 0,691	<u>0,654</u> 0,682	<u>0,645</u> 0,673
8,0	<u>0,723</u> 0,779	<u>0,715</u> 0,769	<u>0,706</u> 0,759	<u>0,697</u> 0,750	<u>0,688</u> 0,740	<u>0,680</u> 0,730	<u>0,671</u> 0,720	<u>0,662</u> 0,711	<u>0,654</u> 0,701	<u>0,645</u> 0,691	<u>0,636</u> 0,682
8,5	<u>0,709</u> 0,793	<u>0,701</u> 0,782	<u>0,693</u> 0,772	<u>0,685</u> 0,762	<u>0,677</u> 0,752	<u>0,669</u> 0,741	<u>0,660</u> 0,731	<u>0,652</u> 0,721	<u>0,644</u> 0,711	<u>0,636</u> 0,700	<u>0,628</u> 0,690
9,0	<u>0,696</u> 0,806	<u>0,688</u> 0,796	<u>0,680</u> 0,785	<u>0,673</u> 0,774	<u>0,665</u> 0,763	<u>0,657</u> 0,753	<u>0,650</u> 0,742	<u>0,642</u> 0,731	<u>0,634</u> 0,720	<u>0,627</u> 0,710	<u>0,619</u> 0,699
9,5	<u>0,682</u> 0,820	<u>0,675</u> 0,809	<u>0,668</u> 0,798	<u>0,660</u> 0,786	<u>0,653</u> 0,775	<u>0,646</u> 0,764	<u>0,639</u> 0,753	<u>0,632</u> 0,741	<u>0,625</u> 0,730	<u>0,618</u> 0,719	<u>0,611</u> 0,707
10,0	<u>0,668</u> 0,834	<u>0,661</u> 0,822	<u>0,655</u> 0,810	<u>0,648</u> 0,799	<u>0,642</u> 0,787	<u>0,635</u> 0,775	<u>0,628</u> 0,763	<u>0,622</u> 0,751	<u>0,615</u> 0,740	<u>0,609</u> 0,728	<u>0,602</u> 0,716
Примечания 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции.											

Таблица Б.8

Минимальные значения коэффициента эффективности k_{ef}^{min} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{ef}^{min}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,218</u> 0,246	<u>0,207</u> 0,235	<u>0,196</u> 0,224	<u>0,185</u> 0,213	<u>0,174</u> 0,202	<u>0,163</u> 0,191	<u>0,152</u> 0,180	<u>0,141</u> 0,169	<u>0,130</u> 0,158
5,5	<u>0,262</u> 0,290	<u>0,251</u> 0,279	<u>0,239</u> 0,267	<u>0,228</u> 0,256	<u>0,216</u> 0,244	<u>0,205</u> 0,233	<u>0,193</u> 0,221	<u>0,182</u> 0,210	<u>0,170</u> 0,198	<u>0,159</u> 0,187	<u>0,147</u> 0,175
6,0	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,272</u> 0,300	<u>0,260</u> 0,288	<u>0,248</u> 0,276	<u>0,236</u> 0,264	<u>0,224</u> 0,252	<u>0,212</u> 0,240	<u>0,200</u> 0,228	<u>0,188</u> 0,216	<u>0,176</u> 0,204	<u>0,164</u> 0,192
6,5	<u>0,307</u> 0,335	<u>0,294</u> 0,322	<u>0,281</u> 0,309	<u>0,269</u> 0,297	<u>0,256</u> 0,284	<u>0,244</u> 0,272	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,219</u> 0,247	<u>0,206</u> 0,234	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,181</u> 0,209
7,0	<u>0,329</u> 0,357	<u>0,316</u> 0,344	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,290</u> 0,318	<u>0,276</u> 0,304	<u>0,263</u> 0,291	<u>0,250</u> 0,278	<u>0,237</u> 0,265	<u>0,224</u> 0,252	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,198</u> 0,226
7,5	<u>0,351</u> 0,379	<u>0,337</u> 0,365	<u>0,324</u> 0,352	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,297</u> 0,325	<u>0,283</u> 0,311	<u>0,269</u> 0,297	<u>0,256</u> 0,284	<u>0,242</u> 0,270	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,215</u> 0,243
8,0	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,359</u> 0,387	<u>0,345</u> 0,373	<u>0,331</u> 0,359	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,288</u> 0,316	<u>0,274</u> 0,302	<u>0,260</u> 0,288	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,232</u> 0,260
8,5	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,381</u> 0,409	<u>0,366</u> 0,394	<u>0,351</u> 0,379	<u>0,337</u> 0,365	<u>0,322</u> 0,350	<u>0,308</u> 0,336	<u>0,293</u> 0,321	<u>0,278</u> 0,306	<u>0,264</u> 0,292	<u>0,249</u> 0,277
9,0	<u>0,418</u> 0,446	<u>0,402</u> 0,430	<u>0,387</u> 0,415	<u>0,372</u> 0,400	<u>0,357</u> 0,385	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,327</u> 0,355	<u>0,311</u> 0,339	<u>0,296</u> 0,324	<u>0,281</u> 0,309	<u>0,266</u> 0,294
9,5	<u>0,440</u> 0,468	<u>0,424</u> 0,452	<u>0,408</u> 0,436	<u>0,393</u> 0,421	<u>0,377</u> 0,405	<u>0,361</u> 0,389	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,330</u> 0,358	<u>0,314</u> 0,342	<u>0,299</u> 0,327	<u>0,283</u> 0,311
10,0	<u>0,462</u> 0,490	<u>0,446</u> 0,474	<u>0,430</u> 0,458	<u>0,413</u> 0,441	<u>0,397</u> 0,425	<u>0,381</u> 0,409	<u>0,365</u> 0,393	<u>0,349</u> 0,377	<u>0,332</u> 0,360	<u>0,316</u> 0,344	<u>0,300</u> 0,328
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента эффективности определять по интерполяции. 											

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Значения коэффициентов оптимизации

Таблица В.1

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-II} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{I-II}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,577</u> 0,643	<u>0,573</u> 0,639	<u>0,570</u> 0,636	<u>0,566</u> 0,632	<u>0,563</u> 0,629	<u>0,559</u> 0,625	<u>0,555</u> 0,621	<u>0,552</u> 0,618	<u>0,548</u> 0,614	<u>0,545</u> 0,611	<u>0,541</u> 0,607
5,5	<u>0,580</u> 0,646	<u>0,576</u> 0,642	<u>0,573</u> 0,639	<u>0,569</u> 0,635	<u>0,566</u> 0,632	<u>0,562</u> 0,628	<u>0,559</u> 0,625	<u>0,556</u> 0,622	<u>0,552</u> 0,618	<u>0,549</u> 0,615	<u>0,545</u> 0,611
6,0	<u>0,582</u> 0,648	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,576</u> 0,642	<u>0,572</u> 0,638	<u>0,569</u> 0,635	<u>0,566</u> 0,632	<u>0,563</u> 0,629	<u>0,559</u> 0,625	<u>0,556</u> 0,622	<u>0,553</u> 0,619	<u>0,549</u> 0,615
6,5	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,582</u> 0,648	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,575</u> 0,641	<u>0,572</u> 0,638	<u>0,569</u> 0,635	<u>0,566</u> 0,632	<u>0,563</u> 0,629	<u>0,560</u> 0,626	<u>0,557</u> 0,623	<u>0,554</u> 0,620
7,0	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,584</u> 0,650	<u>0,581</u> 0,647	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,576</u> 0,642	<u>0,573</u> 0,639	<u>0,570</u> 0,636	<u>0,567</u> 0,633	<u>0,564</u> 0,630	<u>0,561</u> 0,627	<u>0,558</u> 0,624
7,5	<u>0,590</u> 0,656	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,584</u> 0,650	<u>0,582</u> 0,648	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,576</u> 0,642	<u>0,573</u> 0,639	<u>0,570</u> 0,636	<u>0,568</u> 0,634	<u>0,565</u> 0,631	<u>0,562</u> 0,628
8,0	<u>0,593</u> 0,659	<u>0,590</u> 0,656	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,582</u> 0,648	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,577</u> 0,643	<u>0,574</u> 0,640	<u>0,571</u> 0,637	<u>0,569</u> 0,635	<u>0,566</u> 0,632
8,5	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,593</u> 0,659	<u>0,590</u> 0,656	<u>0,588</u> 0,654	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,583</u> 0,649	<u>0,580</u> 0,646	<u>0,578</u> 0,644	<u>0,575</u> 0,641	<u>0,573</u> 0,639	<u>0,570</u> 0,636
9,0	<u>0,598</u> 0,664	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,593</u> 0,659	<u>0,591</u> 0,657	<u>0,589</u> 0,655	<u>0,586</u> 0,652	<u>0,584</u> 0,650	<u>0,582</u> 0,648	<u>0,579</u> 0,645	<u>0,577</u> 0,643	<u>0,575</u> 0,641
9,5	<u>0,600</u> 0,666	<u>0,598</u> 0,664	<u>0,596</u> 0,662	<u>0,594</u> 0,660	<u>0,592</u> 0,658	<u>0,590</u> 0,656	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,583</u> 0,649	<u>0,581</u> 0,647	<u>0,579</u> 0,645
10,0	<u>0,603</u> 0,669	<u>0,601</u> 0,667	<u>0,599</u> 0,665	<u>0,597</u> 0,663	<u>0,595</u> 0,661	<u>0,593</u> 0,659	<u>0,591</u> 0,657	<u>0,589</u> 0,655	<u>0,587</u> 0,653	<u>0,585</u> 0,651	<u>0,583</u> 0,649

Примечания

- Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
- При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.2

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-IV} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{I-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$ \ $H_{tr}, \text{ м}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,554</u> 0,534	<u>0,504</u> 0,483	<u>0,453</u> 0,433	<u>0,403</u> 0,382	<u>0,352</u> 0,332	<u>0,302</u> 0,281	<u>0,251</u> 0,231	<u>0,201</u> 0,180	<u>0,150</u> 0,130	<u>0,100</u> 0,079	<u>0,049</u> 0,029
5,5	<u>0,567</u> 0,546	<u>0,520</u> 0,500	<u>0,474</u> 0,453	<u>0,427</u> 0,407	<u>0,380</u> 0,360	<u>0,334</u> 0,313	<u>0,287</u> 0,267	<u>0,241</u> 0,220	<u>0,194</u> 0,174	<u>0,147</u> 0,127	<u>0,101</u> 0,080
6,0	<u>0,580</u> 0,559	<u>0,537</u> 0,516	<u>0,494</u> 0,474	<u>0,451</u> 0,431	<u>0,409</u> 0,388	<u>0,366</u> 0,346	<u>0,323</u> 0,303	<u>0,281</u> 0,260	<u>0,238</u> 0,217	<u>0,195</u> 0,175	<u>0,152</u> 0,132
6,5	<u>0,592</u> 0,572	<u>0,553</u> 0,533	<u>0,515</u> 0,494	<u>0,476</u> 0,455	<u>0,437</u> 0,417	<u>0,398</u> 0,378	<u>0,359</u> 0,339	<u>0,321</u> 0,300	<u>0,282</u> 0,261	<u>0,243</u> 0,223	<u>0,204</u> 0,184
7,0	<u>0,605</u> 0,585	<u>0,570</u> 0,550	<u>0,535</u> 0,515	<u>0,500</u> 0,480	<u>0,465</u> 0,445	<u>0,430</u> 0,410	<u>0,395</u> 0,375	<u>0,361</u> 0,340	<u>0,326</u> 0,305	<u>0,291</u> 0,270	<u>0,256</u> 0,235
7,5	<u>0,618</u> 0,597	<u>0,587</u> 0,566	<u>0,556</u> 0,535	<u>0,525</u> 0,504	<u>0,494</u> 0,473	<u>0,463</u> 0,442	<u>0,432</u> 0,411	<u>0,401</u> 0,380	<u>0,370</u> 0,349	<u>0,339</u> 0,318	<u>0,308</u> 0,287
8,0	<u>0,630</u> 0,610	<u>0,603</u> 0,583	<u>0,576</u> 0,556	<u>0,549</u> 0,529	<u>0,522</u> 0,501	<u>0,495</u> 0,474	<u>0,468</u> 0,447	<u>0,441</u> 0,420	<u>0,414</u> 0,393	<u>0,386</u> 0,366	<u>0,359</u> 0,339
8,5	<u>0,643</u> 0,623	<u>0,620</u> 0,599	<u>0,597</u> 0,576	<u>0,573</u> 0,553	<u>0,550</u> 0,530	<u>0,527</u> 0,507	<u>0,504</u> 0,483	<u>0,481</u> 0,460	<u>0,457</u> 0,437	<u>0,434</u> 0,414	<u>0,411</u> 0,391
9,0	<u>0,656</u> 0,635	<u>0,636</u> 0,616	<u>0,617</u> 0,597	<u>0,598</u> 0,577	<u>0,578</u> 0,558	<u>0,559</u> 0,539	<u>0,540</u> 0,520	<u>0,521</u> 0,500	<u>0,501</u> 0,481	<u>0,482</u> 0,462	<u>0,463</u> 0,442
9,5	<u>0,668</u> 0,648	<u>0,653</u> 0,633	<u>0,638</u> 0,617	<u>0,622</u> 0,602	<u>0,607</u> 0,586	<u>0,591</u> 0,571	<u>0,576</u> 0,556	<u>0,561</u> 0,540	<u>0,545</u> 0,525	<u>0,530</u> 0,509	<u>0,514</u> 0,494
10,0	<u>0,681</u> 0,661	<u>0,670</u> 0,649	<u>0,658</u> 0,638	<u>0,647</u> 0,626	<u>0,635</u> 0,615	<u>0,624</u> 0,603	<u>0,612</u> 0,592	<u>0,601</u> 0,580	<u>0,589</u> 0,569	<u>0,578</u> 0,557	<u>0,566</u> 0,546

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.3

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-III} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{II-III}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,502</u> 0,482	<u>0,456</u> 0,436	<u>0,410</u> 0,390	<u>0,364</u> 0,343	<u>0,318</u> 0,297	<u>0,272</u> 0,251	<u>0,225</u> 0,205	<u>0,179</u> 0,159	<u>0,133</u> 0,113	<u>0,087</u> 0,067	<u>0,041</u> 0,021
5,5	<u>0,510</u> 0,490	<u>0,468</u> 0,447	<u>0,426</u> 0,405	<u>0,383</u> 0,363	<u>0,341</u> 0,321	<u>0,299</u> 0,279	<u>0,257</u> 0,236	<u>0,215</u> 0,194	<u>0,172</u> 0,152	<u>0,130</u> 0,110	<u>0,088</u> 0,068
6,0	<u>0,518</u> 0,498	<u>0,480</u> 0,459	<u>0,441</u> 0,421	<u>0,403</u> 0,383	<u>0,365</u> 0,344	<u>0,326</u> 0,306	<u>0,288</u> 0,268	<u>0,250</u> 0,229	<u>0,211</u> 0,191	<u>0,173</u> 0,153	<u>0,135</u> 0,114
6,5	<u>0,526</u> 0,505	<u>0,491</u> 0,471	<u>0,457</u> 0,437	<u>0,423</u> 0,402	<u>0,388</u> 0,368	<u>0,354</u> 0,333	<u>0,319</u> 0,299	<u>0,285</u> 0,265	<u>0,251</u> 0,230	<u>0,216</u> 0,196	<u>0,182</u> 0,161
7,0	<u>0,534</u> 0,513	<u>0,503</u> 0,483	<u>0,473</u> 0,452	<u>0,442</u> 0,422	<u>0,412</u> 0,391	<u>0,381</u> 0,361	<u>0,351</u> 0,330	<u>0,320</u> 0,300	<u>0,290</u> 0,269	<u>0,259</u> 0,239	<u>0,229</u> 0,208
7,5	<u>0,542</u> 0,521	<u>0,515</u> 0,495	<u>0,488</u> 0,468	<u>0,462</u> 0,441	<u>0,435</u> 0,415	<u>0,409</u> 0,388	<u>0,382</u> 0,362	<u>0,355</u> 0,335	<u>0,329</u> 0,308	<u>0,302</u> 0,282	<u>0,276</u> 0,255
8,0	<u>0,549</u> 0,529	<u>0,527</u> 0,506	<u>0,504</u> 0,484	<u>0,481</u> 0,461	<u>0,459</u> 0,438	<u>0,436</u> 0,416	<u>0,413</u> 0,393	<u>0,391</u> 0,370	<u>0,368</u> 0,348	<u>0,345</u> 0,325	<u>0,323</u> 0,302
8,5	<u>0,557</u> 0,537	<u>0,539</u> 0,518	<u>0,520</u> 0,499	<u>0,501</u> 0,481	<u>0,482</u> 0,462	<u>0,463</u> 0,443	<u>0,445</u> 0,424	<u>0,426</u> 0,405	<u>0,407</u> 0,387	<u>0,388</u> 0,368	<u>0,369</u> 0,349
9,0	<u>0,565</u> 0,545	<u>0,550</u> 0,530	<u>0,535</u> 0,515	<u>0,521</u> 0,500	<u>0,506</u> 0,485	<u>0,491</u> 0,470	<u>0,476</u> 0,456	<u>0,461</u> 0,441	<u>0,446</u> 0,426	<u>0,431</u> 0,411	<u>0,416</u> 0,396
9,5	<u>0,573</u> 0,553	<u>0,562</u> 0,542	<u>0,551</u> 0,531	<u>0,540</u> 0,520	<u>0,529</u> 0,509	<u>0,518</u> 0,498	<u>0,507</u> 0,487	<u>0,496</u> 0,476	<u>0,485</u> 0,465	<u>0,474</u> 0,454	<u>0,463</u> 0,443
10,0	<u>0,581</u> 0,561	<u>0,574</u> 0,554	<u>0,567</u> 0,546	<u>0,560</u> 0,539	<u>0,553</u> 0,532	<u>0,546</u> 0,525	<u>0,539</u> 0,518	<u>0,531</u> 0,511	<u>0,524</u> 0,504	<u>0,517</u> 0,497	<u>0,510</u> 0,490
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.4

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-IV} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{II-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,615</u> 0,825	<u>0,690</u> 0,900	<u>0,764</u> 0,974	<u>0,839</u> 1,000	<u>0,913</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
5,5	<u>0,601</u> 0,811	<u>0,669</u> 0,879	<u>0,738</u> 0,948	<u>0,806</u> 1,000	<u>0,875</u> 1,000	<u>0,943</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,0	<u>0,587</u> 0,797	<u>0,649</u> 0,859	<u>0,711</u> 0,921	<u>0,774</u> 0,984	<u>0,836</u> 1,046	<u>0,899</u> 1,000	<u>0,961</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,5	<u>0,572</u> 0,782	<u>0,629</u> 0,839	<u>0,685</u> 0,895	<u>0,741</u> 0,951	<u>0,798</u> 1,008	<u>0,854</u> 1,000	<u>0,911</u> 1,000	<u>0,967</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,0	<u>0,558</u> 0,768	<u>0,608</u> 0,818	<u>0,659</u> 0,869	<u>0,709</u> 0,919	<u>0,759</u> 0,969	<u>0,810</u> 1,000	<u>0,860</u> 1,000	<u>0,910</u> 1,000	<u>0,960</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,5	<u>0,544</u> 0,754	<u>0,588</u> 0,798	<u>0,632</u> 0,842	<u>0,677</u> 0,887	<u>0,721</u> 0,931	<u>0,765</u> 0,975	<u>0,809</u> 1,000	<u>0,853</u> 1,000	<u>0,898</u> 1,000	<u>0,942</u> 1,000	<u>0,986</u> 1,000
8,0	<u>0,530</u> 0,740	<u>0,568</u> 0,778	<u>0,606</u> 0,816	<u>0,644</u> 0,854	<u>0,682</u> 0,892	<u>0,720</u> 0,930	<u>0,759</u> 0,969	<u>0,797</u> 1,000	<u>0,835</u> 1,000	<u>0,873</u> 1,000	<u>0,911</u> 1,000
8,5	<u>0,516</u> 0,726	<u>0,548</u> 0,758	<u>0,580</u> 0,790	<u>0,612</u> 0,822	<u>0,644</u> 0,854	<u>0,676</u> 0,886	<u>0,708</u> 0,918	<u>0,740</u> 0,950	<u>0,772</u> 0,982	<u>0,804</u> 1,000	<u>0,836</u> 1,000
9,0	<u>0,501</u> 0,711	<u>0,527</u> 0,737	<u>0,553</u> 0,763	<u>0,579</u> 0,789	<u>0,605</u> 0,815	<u>0,631</u> 0,841	<u>0,657</u> 0,867	<u>0,683</u> 0,893	<u>0,709</u> 0,919	<u>0,735</u> 0,945	<u>0,761</u> 0,971
9,5	<u>0,487</u> 0,697	<u>0,507</u> 0,717	<u>0,527</u> 0,737	<u>0,547</u> 0,757	<u>0,567</u> 0,777	<u>0,587</u> 0,797	<u>0,606</u> 0,816	<u>0,626</u> 0,836	<u>0,646</u> 0,856	<u>0,666</u> 0,876	<u>0,686</u> 0,896
10,0	<u>0,473</u> 0,683	<u>0,487</u> 0,697	<u>0,501</u> 0,711	<u>0,514</u> 0,724	<u>0,528</u> 0,738	<u>0,542</u> 0,752	<u>0,556</u> 0,766	<u>0,570</u> 0,780	<u>0,583</u> 0,793	<u>0,597</u> 0,807	<u>0,611</u> 0,821
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.5

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{III-IV} в песчаных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{III-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,521</u> 0,539	<u>0,495</u> 0,513	<u>0,469</u> 0,487	<u>0,443</u> 0,461	<u>0,417</u> 0,435	<u>0,391</u> 0,409	<u>0,365</u> 0,383	<u>0,339</u> 0,357	<u>0,313</u> 0,331	<u>0,287</u> 0,305	<u>0,261</u> 0,279
5,5	<u>0,525</u> 0,543	<u>0,501</u> 0,519	<u>0,478</u> 0,496	<u>0,454</u> 0,472	<u>0,430</u> 0,448	<u>0,406</u> 0,424	<u>0,383</u> 0,401	<u>0,359</u> 0,377	<u>0,335</u> 0,353	<u>0,311</u> 0,329	<u>0,288</u> 0,306
6,0	<u>0,529</u> 0,547	<u>0,508</u> 0,526	<u>0,486</u> 0,504	<u>0,465</u> 0,483	<u>0,443</u> 0,461	<u>0,422</u> 0,440	<u>0,400</u> 0,418	<u>0,379</u> 0,397	<u>0,357</u> 0,375	<u>0,336</u> 0,354	<u>0,314</u> 0,332
6,5	<u>0,534</u> 0,552	<u>0,514</u> 0,532	<u>0,495</u> 0,513	<u>0,476</u> 0,494	<u>0,456</u> 0,474	<u>0,437</u> 0,455	<u>0,418</u> 0,436	<u>0,399</u> 0,417	<u>0,379</u> 0,397	<u>0,360</u> 0,378	<u>0,341</u> 0,359
7,0	<u>0,538</u> 0,556	<u>0,521</u> 0,539	<u>0,504</u> 0,522	<u>0,487</u> 0,505	<u>0,470</u> 0,488	<u>0,453</u> 0,471	<u>0,436</u> 0,454	<u>0,419</u> 0,437	<u>0,401</u> 0,419	<u>0,384</u> 0,402	<u>0,367</u> 0,385
7,5	<u>0,542</u> 0,560	<u>0,527</u> 0,545	<u>0,512</u> 0,530	<u>0,498</u> 0,516	<u>0,483</u> 0,501	<u>0,468</u> 0,486	<u>0,453</u> 0,471	<u>0,438</u> 0,456	<u>0,424</u> 0,442	<u>0,409</u> 0,427	<u>0,394</u> 0,412
8,0	<u>0,546</u> 0,564	<u>0,534</u> 0,552	<u>0,521</u> 0,539	<u>0,509</u> 0,527	<u>0,496</u> 0,514	<u>0,483</u> 0,501	<u>0,471</u> 0,489	<u>0,458</u> 0,476	<u>0,446</u> 0,464	<u>0,433</u> 0,451	<u>0,421</u> 0,439
8,5	<u>0,550</u> 0,568	<u>0,540</u> 0,558	<u>0,530</u> 0,548	<u>0,519</u> 0,537	<u>0,509</u> 0,527	<u>0,499</u> 0,517	<u>0,488</u> 0,506	<u>0,478</u> 0,496	<u>0,468</u> 0,486	<u>0,458</u> 0,476	<u>0,447</u> 0,465
9,0	<u>0,555</u> 0,573	<u>0,547</u> 0,565	<u>0,538</u> 0,556	<u>0,530</u> 0,548	<u>0,522</u> 0,540	<u>0,514</u> 0,532	<u>0,506</u> 0,524	<u>0,498</u> 0,516	<u>0,490</u> 0,508	<u>0,482</u> 0,500	<u>0,474</u> 0,492
9,5	<u>0,559</u> 0,577	<u>0,553</u> 0,571	<u>0,547</u> 0,565	<u>0,541</u> 0,559	<u>0,535</u> 0,553	<u>0,530</u> 0,548	<u>0,524</u> 0,542	<u>0,518</u> 0,536	<u>0,512</u> 0,530	<u>0,506</u> 0,524	<u>0,500</u> 0,518
10,0	<u>0,563</u> 0,581	<u>0,559</u> 0,577	<u>0,556</u> 0,574	<u>0,552</u> 0,570	<u>0,549</u> 0,567	<u>0,545</u> 0,563	<u>0,541</u> 0,559	<u>0,538</u> 0,556	<u>0,534</u> 0,552	<u>0,531</u> 0,549	<u>0,527</u> 0,545
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.6

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-II} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{I-II}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,669</u> 0,689	<u>0,667</u> 0,687	<u>0,664</u> 0,684	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,660</u> 0,680	<u>0,658</u> 0,678	<u>0,656</u> 0,676	<u>0,653</u> 0,673	<u>0,651</u> 0,671	<u>0,649</u> 0,669
5,5	<u>0,674</u> 0,694	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,669</u> 0,689	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,664</u> 0,684	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,659</u> 0,679	<u>0,657</u> 0,677	<u>0,654</u> 0,674	<u>0,652</u> 0,672	<u>0,650</u> 0,670
6,0	<u>0,676</u> 0,696	<u>0,674</u> 0,694	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,663</u> 0,683	<u>0,661</u> 0,681	<u>0,658</u> 0,678	<u>0,655</u> 0,675	<u>0,653</u> 0,673	<u>0,650</u> 0,670
6,5	<u>0,679</u> 0,699	<u>0,676</u> 0,696	<u>0,673</u> 0,693	<u>0,670</u> 0,690	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,665</u> 0,685	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,659</u> 0,679	<u>0,656</u> 0,676	<u>0,654</u> 0,674	<u>0,651</u> 0,671
7,0	<u>0,681</u> 0,701	<u>0,678</u> 0,698	<u>0,675</u> 0,695	<u>0,672</u> 0,692	<u>0,669</u> 0,689	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,663</u> 0,683	<u>0,660</u> 0,680	<u>0,657</u> 0,677	<u>0,654</u> 0,674	<u>0,651</u> 0,671
7,5	<u>0,684</u> 0,704	<u>0,681</u> 0,701	<u>0,678</u> 0,698	<u>0,674</u> 0,694	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,665</u> 0,685	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,658</u> 0,678	<u>0,655</u> 0,675	<u>0,652</u> 0,672
8,0	<u>0,687</u> 0,707	<u>0,683</u> 0,703	<u>0,680</u> 0,700	<u>0,676</u> 0,696	<u>0,673</u> 0,693	<u>0,670</u> 0,690	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,663</u> 0,683	<u>0,659</u> 0,679	<u>0,656</u> 0,676	<u>0,653</u> 0,673
8,5	<u>0,689</u> 0,709	<u>0,686</u> 0,706	<u>0,682</u> 0,702	<u>0,678</u> 0,698	<u>0,675</u> 0,695	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,664</u> 0,684	<u>0,660</u> 0,680	<u>0,657</u> 0,677	<u>0,653</u> 0,673
9,0	<u>0,692</u> 0,712	<u>0,688</u> 0,708	<u>0,684</u> 0,704	<u>0,680</u> 0,700	<u>0,677</u> 0,697	<u>0,673</u> 0,693	<u>0,669</u> 0,689	<u>0,665</u> 0,685	<u>0,661</u> 0,681	<u>0,658</u> 0,678	<u>0,654</u> 0,674
9,5	<u>0,694</u> 0,714	<u>0,690</u> 0,710	<u>0,686</u> 0,706	<u>0,682</u> 0,702	<u>0,678</u> 0,698	<u>0,674</u> 0,694	<u>0,670</u> 0,690	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,658</u> 0,678	<u>0,654</u> 0,674
10,0	<u>0,697</u> 0,717	<u>0,693</u> 0,713	<u>0,689</u> 0,709	<u>0,684</u> 0,704	<u>0,680</u> 0,700	<u>0,676</u> 0,696	<u>0,672</u> 0,692	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,663</u> 0,683	<u>0,659</u> 0,679	<u>0,655</u> 0,675
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.7

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-IV} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{I-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,641</u> 0,661	<u>0,597</u> 0,617	<u>0,553</u> 0,573	<u>0,509</u> 0,529	<u>0,465</u> 0,485	<u>0,421</u> 0,441	<u>0,377</u> 0,397	<u>0,333</u> 0,353	<u>0,289</u> 0,309	<u>0,245</u> 0,265	<u>0,201</u> 0,221
5,5	<u>0,650</u> 0,670	<u>0,610</u> 0,630	<u>0,569</u> 0,589	<u>0,529</u> 0,549	<u>0,488</u> 0,508	<u>0,448</u> 0,468	<u>0,408</u> 0,428	<u>0,367</u> 0,387	<u>0,327</u> 0,347	<u>0,286</u> 0,306	<u>0,246</u> 0,266
6,0	<u>0,659</u> 0,679	<u>0,622</u> 0,642	<u>0,585</u> 0,605	<u>0,549</u> 0,569	<u>0,512</u> 0,532	<u>0,475</u> 0,495	<u>0,438</u> 0,458	<u>0,401</u> 0,421	<u>0,364</u> 0,384	<u>0,327</u> 0,347	<u>0,290</u> 0,310
6,5	<u>0,668</u> 0,688	<u>0,635</u> 0,655	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,568</u> 0,588	<u>0,535</u> 0,555	<u>0,502</u> 0,522	<u>0,468</u> 0,488	<u>0,435</u> 0,455	<u>0,402</u> 0,422	<u>0,368</u> 0,388	<u>0,335</u> 0,355
7,0	<u>0,677</u> 0,697	<u>0,648</u> 0,668	<u>0,618</u> 0,638	<u>0,588</u> 0,608	<u>0,558</u> 0,578	<u>0,528</u> 0,548	<u>0,499</u> 0,519	<u>0,469</u> 0,489	<u>0,439</u> 0,459	<u>0,409</u> 0,429	<u>0,379</u> 0,399
7,5	<u>0,686</u> 0,706	<u>0,660</u> 0,680	<u>0,634</u> 0,654	<u>0,608</u> 0,628	<u>0,581</u> 0,601	<u>0,555</u> 0,575	<u>0,529</u> 0,549	<u>0,503</u> 0,523	<u>0,476</u> 0,496	<u>0,450</u> 0,470	<u>0,424</u> 0,444
8,0	<u>0,695</u> 0,715	<u>0,673</u> 0,693	<u>0,650</u> 0,670	<u>0,627</u> 0,647	<u>0,605</u> 0,625	<u>0,582</u> 0,602	<u>0,559</u> 0,579	<u>0,537</u> 0,557	<u>0,514</u> 0,534	<u>0,491</u> 0,511	<u>0,469</u> 0,489
8,5	<u>0,705</u> 0,725	<u>0,685</u> 0,705	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,647</u> 0,667	<u>0,628</u> 0,648	<u>0,609</u> 0,629	<u>0,590</u> 0,610	<u>0,570</u> 0,590	<u>0,551</u> 0,571	<u>0,532</u> 0,552	<u>0,513</u> 0,533
9,0	<u>0,714</u> 0,734	<u>0,698</u> 0,718	<u>0,682</u> 0,702	<u>0,667</u> 0,687	<u>0,651</u> 0,671	<u>0,636</u> 0,656	<u>0,620</u> 0,640	<u>0,604</u> 0,624	<u>0,589</u> 0,609	<u>0,573</u> 0,593	<u>0,558</u> 0,578
9,5	<u>0,723</u> 0,743	<u>0,711</u> 0,731	<u>0,699</u> 0,719	<u>0,687</u> 0,707	<u>0,674</u> 0,694	<u>0,662</u> 0,682	<u>0,650</u> 0,670	<u>0,638</u> 0,658	<u>0,626</u> 0,646	<u>0,614</u> 0,634	<u>0,602</u> 0,622
10,0	<u>0,732</u> 0,752	<u>0,723</u> 0,743	<u>0,715</u> 0,735	<u>0,706</u> 0,726	<u>0,698</u> 0,718	<u>0,689</u> 0,709	<u>0,681</u> 0,701	<u>0,672</u> 0,692	<u>0,664</u> 0,684	<u>0,655</u> 0,675	<u>0,647</u> 0,667

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.8

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-III} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{II-III}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,529</u> 0,549	<u>0,485</u> 0,505	<u>0,441</u> 0,461	<u>0,397</u> 0,417	<u>0,353</u> 0,373	<u>0,309</u> 0,329	<u>0,265</u> 0,285	<u>0,221</u> 0,241	<u>0,177</u> 0,197	<u>0,133</u> 0,153	<u>0,089</u> 0,109
5,5	<u>0,538</u> 0,558	<u>0,498</u> 0,518	<u>0,457</u> 0,477	<u>0,417</u> 0,437	<u>0,376</u> 0,396	<u>0,336</u> 0,356	<u>0,296</u> 0,316	<u>0,255</u> 0,275	<u>0,215</u> 0,235	<u>0,174</u> 0,194	<u>0,134</u> 0,154
6,0	<u>0,547</u> 0,567	<u>0,510</u> 0,530	<u>0,473</u> 0,493	<u>0,437</u> 0,457	<u>0,400</u> 0,420	<u>0,363</u> 0,383	<u>0,326</u> 0,346	<u>0,289</u> 0,309	<u>0,252</u> 0,272	<u>0,215</u> 0,235	<u>0,178</u> 0,198
6,5	<u>0,556</u> 0,576	<u>0,523</u> 0,543	<u>0,490</u> 0,510	<u>0,456</u> 0,476	<u>0,423</u> 0,443	<u>0,390</u> 0,410	<u>0,356</u> 0,376	<u>0,323</u> 0,343	<u>0,290</u> 0,310	<u>0,256</u> 0,276	<u>0,223</u> 0,243
7,0	<u>0,565</u> 0,585	<u>0,536</u> 0,556	<u>0,506</u> 0,526	<u>0,476</u> 0,496	<u>0,446</u> 0,466	<u>0,416</u> 0,436	<u>0,387</u> 0,407	<u>0,357</u> 0,377	<u>0,327</u> 0,347	<u>0,297</u> 0,317	<u>0,267</u> 0,287
7,5	<u>0,574</u> 0,594	<u>0,548</u> 0,568	<u>0,522</u> 0,542	<u>0,496</u> 0,516	<u>0,469</u> 0,489	<u>0,443</u> 0,463	<u>0,417</u> 0,437	<u>0,391</u> 0,411	<u>0,364</u> 0,384	<u>0,338</u> 0,358	<u>0,312</u> 0,332
8,0	<u>0,583</u> 0,603	<u>0,561</u> 0,581	<u>0,538</u> 0,558	<u>0,515</u> 0,535	<u>0,493</u> 0,513	<u>0,470</u> 0,490	<u>0,447</u> 0,467	<u>0,425</u> 0,445	<u>0,402</u> 0,422	<u>0,379</u> 0,399	<u>0,357</u> 0,377
8,5	<u>0,593</u> 0,613	<u>0,573</u> 0,593	<u>0,554</u> 0,574	<u>0,535</u> 0,555	<u>0,516</u> 0,536	<u>0,497</u> 0,517	<u>0,478</u> 0,498	<u>0,458</u> 0,478	<u>0,439</u> 0,459	<u>0,420</u> 0,440	<u>0,401</u> 0,421
9,0	<u>0,602</u> 0,622	<u>0,586</u> 0,606	<u>0,570</u> 0,590	<u>0,555</u> 0,575	<u>0,539</u> 0,559	<u>0,524</u> 0,544	<u>0,508</u> 0,528	<u>0,492</u> 0,512	<u>0,477</u> 0,497	<u>0,461</u> 0,481	<u>0,446</u> 0,466
9,5	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,599</u> 0,619	<u>0,587</u> 0,607	<u>0,575</u> 0,595	<u>0,562</u> 0,582	<u>0,550</u> 0,570	<u>0,538</u> 0,558	<u>0,526</u> 0,546	<u>0,514</u> 0,534	<u>0,502</u> 0,522	<u>0,490</u> 0,510
10,0	<u>0,620</u> 0,640	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,603</u> 0,623	<u>0,594</u> 0,614	<u>0,586</u> 0,606	<u>0,577</u> 0,597	<u>0,569</u> 0,589	<u>0,560</u> 0,580	<u>0,552</u> 0,572	<u>0,543</u> 0,563	<u>0,535</u> 0,555
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.9

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-IV} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{II-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,721</u> 0,741	<u>0,788</u> 0,808	<u>0,856</u> 0,876	<u>0,923</u> 0,943	<u>0,991</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
5,5	<u>0,713</u> 0,733	<u>0,774</u> 0,794	<u>0,835</u> 0,855	<u>0,896</u> 0,916	<u>0,957</u> 0,977	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,0	<u>0,705</u> 0,725	<u>0,759</u> 0,779	<u>0,814</u> 0,834	<u>0,868</u> 0,888	<u>0,923</u> 0,943	<u>0,977</u> 0,997	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,5	<u>0,696</u> 0,716	<u>0,744</u> 0,764	<u>0,793</u> 0,813	<u>0,841</u> 0,861	<u>0,889</u> 0,909	<u>0,937</u> 0,957	<u>0,985</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,0	<u>0,688</u> 0,708	<u>0,730</u> 0,750	<u>0,771</u> 0,791	<u>0,813</u> 0,833	<u>0,855</u> 0,875	<u>0,896</u> 0,916	<u>0,938</u> 0,958	<u>0,980</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,5	<u>0,680</u> 0,700	<u>0,715</u> 0,735	<u>0,750</u> 0,770	<u>0,786</u> 0,806	<u>0,821</u> 0,841	<u>0,856</u> 0,876	<u>0,891</u> 0,911	<u>0,926</u> 0,946	<u>0,962</u> 0,982	<u>0,997</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
8,0	<u>0,672</u> 0,692	<u>0,701</u> 0,721	<u>0,729</u> 0,749	<u>0,758</u> 0,778	<u>0,787</u> 0,807	<u>0,816</u> 0,836	<u>0,844</u> 0,864	<u>0,873</u> 0,893	<u>0,902</u> 0,922	<u>0,931</u> 0,951	<u>0,959</u> 0,979
8,5	<u>0,664</u> 0,684	<u>0,686</u> 0,706	<u>0,708</u> 0,728	<u>0,731</u> 0,751	<u>0,753</u> 0,773	<u>0,775</u> 0,795	<u>0,798</u> 0,818	<u>0,820</u> 0,840	<u>0,842</u> 0,862	<u>0,864</u> 0,884	<u>0,887</u> 0,907
9,0	<u>0,655</u> 0,675	<u>0,671</u> 0,691	<u>0,687</u> 0,707	<u>0,703</u> 0,723	<u>0,719</u> 0,739	<u>0,735</u> 0,755	<u>0,751</u> 0,771	<u>0,767</u> 0,787	<u>0,782</u> 0,802	<u>0,798</u> 0,818	<u>0,814</u> 0,834
9,5	<u>0,647</u> 0,667	<u>0,657</u> 0,677	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,676</u> 0,696	<u>0,685</u> 0,705	<u>0,694</u> 0,714	<u>0,704</u> 0,724	<u>0,713</u> 0,733	<u>0,723</u> 0,743	<u>0,732</u> 0,752	<u>0,742</u> 0,762
10,0	<u>0,639</u> 0,659	<u>0,642</u> 0,662	<u>0,645</u> 0,665	<u>0,648</u> 0,668	<u>0,651</u> 0,671	<u>0,654</u> 0,674	<u>0,657</u> 0,677	<u>0,660</u> 0,680	<u>0,663</u> 0,683	<u>0,666</u> 0,686	<u>0,669</u> 0,689

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.10

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{III-IV} в песчаных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{III-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,561</u> 0,581	<u>0,536</u> 0,556	<u>0,510</u> 0,530	<u>0,485</u> 0,505	<u>0,459</u> 0,479	<u>0,434</u> 0,454	<u>0,409</u> 0,429	<u>0,383</u> 0,403	<u>0,358</u> 0,378	<u>0,332</u> 0,352	<u>0,307</u> 0,327
5,5	<u>0,567</u> 0,587	<u>0,544</u> 0,564	<u>0,520</u> 0,540	<u>0,497</u> 0,517	<u>0,473</u> 0,493	<u>0,450</u> 0,470	<u>0,426</u> 0,446	<u>0,403</u> 0,423	<u>0,379</u> 0,399	<u>0,356</u> 0,376	<u>0,332</u> 0,352
6,0	<u>0,573</u> 0,593	<u>0,552</u> 0,572	<u>0,530</u> 0,550	<u>0,508</u> 0,528	<u>0,487</u> 0,507	<u>0,465</u> 0,485	<u>0,444</u> 0,464	<u>0,422</u> 0,442	<u>0,400</u> 0,420	<u>0,379</u> 0,399	<u>0,357</u> 0,377
6,5	<u>0,580</u> 0,600	<u>0,560</u> 0,580	<u>0,540</u> 0,560	<u>0,520</u> 0,540	<u>0,501</u> 0,521	<u>0,481</u> 0,501	<u>0,461</u> 0,481	<u>0,441</u> 0,461	<u>0,422</u> 0,442	<u>0,402</u> 0,422	<u>0,382</u> 0,402
7,0	<u>0,586</u> 0,606	<u>0,568</u> 0,588	<u>0,550</u> 0,570	<u>0,532</u> 0,552	<u>0,514</u> 0,534	<u>0,496</u> 0,516	<u>0,479</u> 0,499	<u>0,461</u> 0,481	<u>0,443</u> 0,463	<u>0,425</u> 0,445	<u>0,407</u> 0,427
7,5	<u>0,592</u> 0,612	<u>0,576</u> 0,596	<u>0,560</u> 0,580	<u>0,544</u> 0,564	<u>0,528</u> 0,548	<u>0,512</u> 0,532	<u>0,496</u> 0,516	<u>0,480</u> 0,500	<u>0,464</u> 0,484	<u>0,448</u> 0,468	<u>0,432</u> 0,452
8,0	<u>0,598</u> 0,618	<u>0,584</u> 0,604	<u>0,570</u> 0,590	<u>0,556</u> 0,576	<u>0,542</u> 0,562	<u>0,528</u> 0,548	<u>0,513</u> 0,533	<u>0,499</u> 0,519	<u>0,485</u> 0,505	<u>0,471</u> 0,491	<u>0,457</u> 0,477
8,5	<u>0,604</u> 0,624	<u>0,592</u> 0,612	<u>0,580</u> 0,600	<u>0,568</u> 0,588	<u>0,555</u> 0,575	<u>0,543</u> 0,563	<u>0,531</u> 0,551	<u>0,519</u> 0,539	<u>0,506</u> 0,526	<u>0,494</u> 0,514	<u>0,482</u> 0,502
9,0	<u>0,611</u> 0,631	<u>0,600</u> 0,620	<u>0,590</u> 0,610	<u>0,580</u> 0,600	<u>0,569</u> 0,589	<u>0,559</u> 0,579	<u>0,548</u> 0,568	<u>0,538</u> 0,558	<u>0,528</u> 0,548	<u>0,517</u> 0,537	<u>0,507</u> 0,527
9,5	<u>0,617</u> 0,637	<u>0,608</u> 0,628	<u>0,600</u> 0,620	<u>0,591</u> 0,611	<u>0,583</u> 0,603	<u>0,574</u> 0,594	<u>0,566</u> 0,586	<u>0,557</u> 0,577	<u>0,549</u> 0,569	<u>0,540</u> 0,560	<u>0,532</u> 0,552
10,0	<u>0,623</u> 0,643	<u>0,616</u> 0,636	<u>0,610</u> 0,630	<u>0,603</u> 0,623	<u>0,597</u> 0,617	<u>0,590</u> 0,610	<u>0,583</u> 0,603	<u>0,577</u> 0,597	<u>0,570</u> 0,590	<u>0,564</u> 0,584	<u>0,557</u> 0,577
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.11

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-II} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{I-II}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,430</u> 0,458	<u>0,428</u> 0,456	<u>0,425</u> 0,453	<u>0,423</u> 0,451	<u>0,420</u> 0,448	<u>0,418</u> 0,446	<u>0,416</u> 0,444	<u>0,413</u> 0,441	<u>0,411</u> 0,439	<u>0,408</u> 0,436	<u>0,406</u> 0,434
5,5	<u>0,443</u> 0,471	<u>0,440</u> 0,468	<u>0,437</u> 0,465	<u>0,434</u> 0,462	<u>0,431</u> 0,459	<u>0,428</u> 0,456	<u>0,426</u> 0,454	<u>0,423</u> 0,451	<u>0,420</u> 0,448	<u>0,417</u> 0,445	<u>0,414</u> 0,442
6,0	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,452</u> 0,480	<u>0,449</u> 0,477	<u>0,446</u> 0,474	<u>0,442</u> 0,470	<u>0,439</u> 0,467	<u>0,435</u> 0,463	<u>0,432</u> 0,460	<u>0,429</u> 0,457	<u>0,425</u> 0,453	<u>0,422</u> 0,450
6,5	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,465</u> 0,493	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,457</u> 0,485	<u>0,453</u> 0,481	<u>0,449</u> 0,477	<u>0,445</u> 0,473	<u>0,442</u> 0,470	<u>0,438</u> 0,466	<u>0,434</u> 0,462	<u>0,430</u> 0,458
7,0	<u>0,481</u> 0,509	<u>0,477</u> 0,505	<u>0,473</u> 0,501	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,460</u> 0,488	<u>0,455</u> 0,483	<u>0,451</u> 0,479	<u>0,447</u> 0,475	<u>0,442</u> 0,470	<u>0,438</u> 0,466
7,5	<u>0,494</u> 0,522	<u>0,489</u> 0,517	<u>0,484</u> 0,512	<u>0,480</u> 0,508	<u>0,475</u> 0,503	<u>0,470</u> 0,498	<u>0,465</u> 0,493	<u>0,460</u> 0,488	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,451</u> 0,479	<u>0,446</u> 0,474
8,0	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,496</u> 0,524	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,486</u> 0,514	<u>0,480</u> 0,508	<u>0,475</u> 0,503	<u>0,470</u> 0,498	<u>0,465</u> 0,493	<u>0,459</u> 0,487	<u>0,454</u> 0,482
8,5	<u>0,520</u> 0,548	<u>0,514</u> 0,542	<u>0,508</u> 0,536	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,497</u> 0,525	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,485</u> 0,513	<u>0,479</u> 0,507	<u>0,474</u> 0,502	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,462</u> 0,490
9,0	<u>0,532</u> 0,560	<u>0,526</u> 0,554	<u>0,520</u> 0,548	<u>0,514</u> 0,542	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,501</u> 0,529	<u>0,495</u> 0,523	<u>0,489</u> 0,517	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,476</u> 0,504	<u>0,470</u> 0,498
9,5	<u>0,545</u> 0,573	<u>0,538</u> 0,566	<u>0,532</u> 0,560	<u>0,525</u> 0,553	<u>0,518</u> 0,546	<u>0,512</u> 0,540	<u>0,505</u> 0,533	<u>0,498</u> 0,526	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,485</u> 0,513	<u>0,478</u> 0,506
10,0	<u>0,558</u> 0,586	<u>0,551</u> 0,579	<u>0,544</u> 0,572	<u>0,536</u> 0,564	<u>0,529</u> 0,557	<u>0,522</u> 0,550	<u>0,515</u> 0,543	<u>0,508</u> 0,536	<u>0,500</u> 0,528	<u>0,493</u> 0,521	<u>0,486</u> 0,514
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.12

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-IV} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{I-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,090</u> 0,118	<u>0,080</u> 0,108	<u>0,070</u> 0,098	<u>0,059</u> 0,087	<u>0,049</u> 0,077	<u>0,039</u> 0,067	<u>0,028</u> 0,056	<u>0,018</u> 0,046	<u>0,008</u> 0,036	<u>0,000</u> 0,026	<u>0,000</u> 0,015
5,5	<u>0,123</u> 0,151	<u>0,112</u> 0,140	<u>0,100</u> 0,128	<u>0,089</u> 0,117	<u>0,077</u> 0,105	<u>0,066</u> 0,094	<u>0,054</u> 0,082	<u>0,043</u> 0,071	<u>0,031</u> 0,059	<u>0,020</u> 0,048	<u>0,008</u> 0,036
6,0	<u>0,157</u> 0,185	<u>0,144</u> 0,172	<u>0,131</u> 0,159	<u>0,118</u> 0,146	<u>0,106</u> 0,134	<u>0,093</u> 0,121	<u>0,080</u> 0,108	<u>0,068</u> 0,096	<u>0,055</u> 0,083	<u>0,042</u> 0,070	<u>0,029</u> 0,057
6,5	<u>0,190</u> 0,218	<u>0,176</u> 0,204	<u>0,162</u> 0,190	<u>0,148</u> 0,176	<u>0,134</u> 0,162	<u>0,120</u> 0,148	<u>0,106</u> 0,134	<u>0,092</u> 0,120	<u>0,078</u> 0,106	<u>0,064</u> 0,092	<u>0,050</u> 0,078
7,0	<u>0,223</u> 0,251	<u>0,208</u> 0,236	<u>0,192</u> 0,220	<u>0,177</u> 0,205	<u>0,162</u> 0,190	<u>0,147</u> 0,175	<u>0,132</u> 0,160	<u>0,117</u> 0,145	<u>0,102</u> 0,130	<u>0,087</u> 0,115	<u>0,072</u> 0,100
7,5	<u>0,256</u> 0,284	<u>0,239</u> 0,267	<u>0,223</u> 0,251	<u>0,207</u> 0,235	<u>0,191</u> 0,219	<u>0,174</u> 0,202	<u>0,158</u> 0,186	<u>0,142</u> 0,170	<u>0,125</u> 0,153	<u>0,109</u> 0,137	<u>0,093</u> 0,121
8,0	<u>0,289</u> 0,317	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,254</u> 0,282	<u>0,236</u> 0,264	<u>0,219</u> 0,247	<u>0,201</u> 0,229	<u>0,184</u> 0,212	<u>0,166</u> 0,194	<u>0,149</u> 0,177	<u>0,131</u> 0,159	<u>0,114</u> 0,142
8,5	<u>0,322</u> 0,350	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,285</u> 0,313	<u>0,266</u> 0,294	<u>0,247</u> 0,275	<u>0,228</u> 0,256	<u>0,210</u> 0,238	<u>0,191</u> 0,219	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,153</u> 0,181	<u>0,135</u> 0,163
9,0	<u>0,355</u> 0,383	<u>0,335</u> 0,363	<u>0,315</u> 0,343	<u>0,295</u> 0,323	<u>0,275</u> 0,303	<u>0,255</u> 0,283	<u>0,236</u> 0,264	<u>0,216</u> 0,244	<u>0,196</u> 0,224	<u>0,176</u> 0,204	<u>0,156</u> 0,184
9,5	<u>0,388</u> 0,416	<u>0,367</u> 0,395	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,325</u> 0,353	<u>0,304</u> 0,332	<u>0,283</u> 0,311	<u>0,261</u> 0,289	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,219</u> 0,247	<u>0,198</u> 0,226	<u>0,177</u> 0,205
10,0	<u>0,421</u> 0,449	<u>0,399</u> 0,427	<u>0,377</u> 0,405	<u>0,354</u> 0,382	<u>0,332</u> 0,360	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,287</u> 0,315	<u>0,265</u> 0,293	<u>0,243</u> 0,271	<u>0,220</u> 0,248	<u>0,198</u> 0,226
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.13

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-III} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{II-III}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,062</u> 0,090	<u>0,052</u> 0,080	<u>0,042</u> 0,070	<u>0,031</u> 0,059	<u>0,021</u> 0,049	<u>0,011</u> 0,039	<u>0,000</u> 0,028	<u>0,000</u> 0,018	<u>0,000</u> 0,008	<u>0,000</u> 0,000	<u>0,000</u> 0,000
5,5	<u>0,093</u> 0,121	<u>0,082</u> 0,110	<u>0,070</u> 0,098	<u>0,059</u> 0,087	<u>0,047</u> 0,075	<u>0,036</u> 0,064	<u>0,024</u> 0,052	<u>0,013</u> 0,041	<u>0,001</u> 0,029	<u>0,000</u> 0,018	<u>0,000</u> 0,006
6,0	<u>0,125</u> 0,153	<u>0,112</u> 0,140	<u>0,099</u> 0,127	<u>0,086</u> 0,114	<u>0,074</u> 0,102	<u>0,061</u> 0,089	<u>0,048</u> 0,076	<u>0,036</u> 0,064	<u>0,023</u> 0,051	<u>0,010</u> 0,038	<u>0,000</u> 0,025
6,5	<u>0,156</u> 0,184	<u>0,142</u> 0,170	<u>0,128</u> 0,156	<u>0,114</u> 0,142	<u>0,100</u> 0,128	<u>0,086</u> 0,114	<u>0,072</u> 0,100	<u>0,058</u> 0,086	<u>0,044</u> 0,072	<u>0,030</u> 0,058	<u>0,016</u> 0,044
7,0	<u>0,187</u> 0,215	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,156</u> 0,184	<u>0,141</u> 0,169	<u>0,126</u> 0,154	<u>0,111</u> 0,139	<u>0,096</u> 0,124	<u>0,081</u> 0,109	<u>0,066</u> 0,094	<u>0,051</u> 0,079	<u>0,036</u> 0,064
7,5	<u>0,218</u> 0,246	<u>0,201</u> 0,229	<u>0,185</u> 0,213	<u>0,169</u> 0,197	<u>0,153</u> 0,181	<u>0,136</u> 0,164	<u>0,120</u> 0,148	<u>0,104</u> 0,132	<u>0,087</u> 0,115	<u>0,071</u> 0,099	<u>0,055</u> 0,083
8,0	<u>0,249</u> 0,277	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,214</u> 0,242	<u>0,196</u> 0,224	<u>0,179</u> 0,207	<u>0,161</u> 0,189	<u>0,144</u> 0,172	<u>0,126</u> 0,154	<u>0,109</u> 0,137	<u>0,091</u> 0,119	<u>0,074</u> 0,102
8,5	<u>0,280</u> 0,308	<u>0,261</u> 0,289	<u>0,243</u> 0,271	<u>0,224</u> 0,252	<u>0,205</u> 0,233	<u>0,186</u> 0,214	<u>0,168</u> 0,196	<u>0,149</u> 0,177	<u>0,130</u> 0,158	<u>0,111</u> 0,139	<u>0,093</u> 0,121
9,0	<u>0,311</u> 0,339	<u>0,291</u> 0,319	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,251</u> 0,279	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,192</u> 0,220	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,152</u> 0,180	<u>0,132</u> 0,160	<u>0,112</u> 0,140
9,5	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,321</u> 0,349	<u>0,300</u> 0,328	<u>0,279</u> 0,307	<u>0,258</u> 0,286	<u>0,237</u> 0,265	<u>0,215</u> 0,243	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,173</u> 0,201	<u>0,152</u> 0,180	<u>0,131</u> 0,159
10,0	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,351</u> 0,379	<u>0,329</u> 0,357	<u>0,306</u> 0,334	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,262</u> 0,290	<u>0,239</u> 0,267	<u>0,217</u> 0,245	<u>0,195</u> 0,223	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,150</u> 0,178

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.14

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-IV} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{II-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,996</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
5,5	<u>0,975</u> 1,000	<u>0,987</u> 1,000	<u>0,998</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,0	<u>0,954</u> 0,982	<u>0,966</u> 0,994	<u>0,978</u> 1,000	<u>0,991</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,5	<u>0,933</u> 0,961	<u>0,946</u> 0,974	<u>0,959</u> 0,987	<u>0,972</u> 1,000	<u>0,985</u> 1,000	<u>0,998</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,0	<u>0,912</u> 0,940	<u>0,926</u> 0,954	<u>0,939</u> 0,967	<u>0,953</u> 0,981	<u>0,967</u> 0,995	<u>0,980</u> 1,000	<u>0,994</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,5	<u>0,891</u> 0,919	<u>0,905</u> 0,933	<u>0,920</u> 0,948	<u>0,934</u> 0,962	<u>0,949</u> 0,977	<u>0,963</u> 0,991	<u>0,977</u> 1,000	<u>0,992</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
8,0	<u>0,870</u> 0,898	<u>0,885</u> 0,913	<u>0,900</u> 0,928	<u>0,915</u> 0,943	<u>0,930</u> 0,958	<u>0,946</u> 0,974	<u>0,961</u> 0,989	<u>0,976</u> 1,000	<u>0,991</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
8,5	<u>0,849</u> 0,877	<u>0,865</u> 0,893	<u>0,881</u> 0,909	<u>0,897</u> 0,925	<u>0,912</u> 0,940	<u>0,928</u> 0,956	<u>0,944</u> 0,972	<u>0,960</u> 0,988	<u>0,976</u> 1,000	<u>0,992</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
9,0	<u>0,828</u> 0,856	<u>0,845</u> 0,873	<u>0,861</u> 0,889	<u>0,878</u> 0,906	<u>0,894</u> 0,922	<u>0,911</u> 0,939	<u>0,927</u> 0,955	<u>0,944</u> 0,972	<u>0,960</u> 0,988	<u>0,977</u> 1,000	<u>0,994</u> 1,000
9,5	<u>0,807</u> 0,835	<u>0,824</u> 0,852	<u>0,842</u> 0,870	<u>0,859</u> 0,887	<u>0,876</u> 0,904	<u>0,893</u> 0,921	<u>0,911</u> 0,939	<u>0,928</u> 0,956	<u>0,945</u> 0,973	<u>0,963</u> 0,991	<u>0,980</u> 1,000
10,0	<u>0,786</u> 0,814	<u>0,804</u> 0,832	<u>0,822</u> 0,850	<u>0,840</u> 0,868	<u>0,858</u> 0,886	<u>0,876</u> 0,904	<u>0,894</u> 0,922	<u>0,912</u> 0,940	<u>0,930</u> 0,958	<u>0,948</u> 0,976	<u>0,966</u> 0,994

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.15

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{III-IV} в связных грунтах при применении буровых свай

k_{opt}^{III-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,218</u> 0,246	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,204</u> 0,232	<u>0,198</u> 0,226	<u>0,191</u> 0,219	<u>0,184</u> 0,212	<u>0,177</u> 0,205	<u>0,170</u> 0,198	<u>0,164</u> 0,192	<u>0,157</u> 0,185	<u>0,150</u> 0,178
5,5	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,233</u> 0,261	<u>0,225</u> 0,253	<u>0,217</u> 0,245	<u>0,210</u> 0,238	<u>0,202</u> 0,230	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,187</u> 0,215	<u>0,179</u> 0,207	<u>0,171</u> 0,199	<u>0,164</u> 0,192
6,0	<u>0,263</u> 0,291	<u>0,254</u> 0,282	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,237</u> 0,265	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,220</u> 0,248	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,203</u> 0,231	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,186</u> 0,214	<u>0,177</u> 0,205
6,5	<u>0,285</u> 0,313	<u>0,276</u> 0,304	<u>0,266</u> 0,294	<u>0,257</u> 0,285	<u>0,247</u> 0,275	<u>0,238</u> 0,266	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,219</u> 0,247	<u>0,210</u> 0,238	<u>0,200</u> 0,228	<u>0,191</u> 0,219
7,0	<u>0,308</u> 0,336	<u>0,297</u> 0,325	<u>0,287</u> 0,315	<u>0,277</u> 0,305	<u>0,266</u> 0,294	<u>0,256</u> 0,284	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,235</u> 0,263	<u>0,225</u> 0,253	<u>0,215</u> 0,243	<u>0,204</u> 0,232
7,5	<u>0,330</u> 0,358	<u>0,319</u> 0,347	<u>0,308</u> 0,336	<u>0,296</u> 0,324	<u>0,285</u> 0,313	<u>0,274</u> 0,302	<u>0,263</u> 0,291	<u>0,252</u> 0,280	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,218</u> 0,246
8,0	<u>0,352</u> 0,380	<u>0,340</u> 0,368	<u>0,328</u> 0,356	<u>0,316</u> 0,344	<u>0,304</u> 0,332	<u>0,292</u> 0,320	<u>0,280</u> 0,308	<u>0,268</u> 0,296	<u>0,256</u> 0,284	<u>0,244</u> 0,272	<u>0,232</u> 0,260
8,5	<u>0,375</u> 0,403	<u>0,362</u> 0,390	<u>0,349</u> 0,377	<u>0,336</u> 0,364	<u>0,323</u> 0,351	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,297</u> 0,325	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,258</u> 0,286	<u>0,245</u> 0,273
9,0	<u>0,397</u> 0,425	<u>0,383</u> 0,411	<u>0,370</u> 0,398	<u>0,356</u> 0,384	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,328</u> 0,356	<u>0,314</u> 0,342	<u>0,300</u> 0,328	<u>0,286</u> 0,314	<u>0,273</u> 0,301	<u>0,259</u> 0,287
9,5	<u>0,420</u> 0,448	<u>0,405</u> 0,433	<u>0,390</u> 0,418	<u>0,375</u> 0,403	<u>0,361</u> 0,389	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,331</u> 0,359	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,287</u> 0,315	<u>0,272</u> 0,300
10,0	<u>0,442</u> 0,470	<u>0,426</u> 0,454	<u>0,411</u> 0,439	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,380</u> 0,408	<u>0,364</u> 0,392	<u>0,348</u> 0,376	<u>0,333</u> 0,361	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,286</u> 0,314
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.16

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-II} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{I-II}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,490</u> 0,518	<u>0,483</u> 0,511	<u>0,477</u> 0,505	<u>0,470</u> 0,498	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,457</u> 0,485	<u>0,450</u> 0,478	<u>0,444</u> 0,472	<u>0,437</u> 0,465	<u>0,431</u> 0,459	<u>0,424</u> 0,452
5,5	<u>0,504</u> 0,532	<u>0,497</u> 0,525	<u>0,490</u> 0,518	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,475</u> 0,503	<u>0,468</u> 0,496	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,454</u> 0,482	<u>0,447</u> 0,475	<u>0,440</u> 0,468	<u>0,433</u> 0,461
6,0	<u>0,518</u> 0,546	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,495</u> 0,523	<u>0,487</u> 0,515	<u>0,479</u> 0,507	<u>0,472</u> 0,500	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,456</u> 0,484	<u>0,449</u> 0,477	<u>0,441</u> 0,469
6,5	<u>0,531</u> 0,559	<u>0,523</u> 0,551	<u>0,515</u> 0,543	<u>0,507</u> 0,535	<u>0,499</u> 0,527	<u>0,491</u> 0,519	<u>0,482</u> 0,510	<u>0,474</u> 0,502	<u>0,466</u> 0,494	<u>0,458</u> 0,486	<u>0,450</u> 0,478
7,0	<u>0,545</u> 0,573	<u>0,537</u> 0,565	<u>0,528</u> 0,556	<u>0,519</u> 0,547	<u>0,510</u> 0,538	<u>0,502</u> 0,530	<u>0,493</u> 0,521	<u>0,484</u> 0,512	<u>0,476</u> 0,504	<u>0,467</u> 0,495	<u>0,458</u> 0,486
7,5	<u>0,559</u> 0,587	<u>0,550</u> 0,578	<u>0,541</u> 0,569	<u>0,531</u> 0,559	<u>0,522</u> 0,550	<u>0,513</u> 0,541	<u>0,504</u> 0,532	<u>0,495</u> 0,523	<u>0,485</u> 0,513	<u>0,476</u> 0,504	<u>0,467</u> 0,495
8,0	<u>0,573</u> 0,601	<u>0,563</u> 0,591	<u>0,553</u> 0,581	<u>0,544</u> 0,572	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,524</u> 0,552	<u>0,514</u> 0,542	<u>0,505</u> 0,533	<u>0,495</u> 0,523	<u>0,485</u> 0,513	<u>0,476</u> 0,504
8,5	<u>0,587</u> 0,615	<u>0,576</u> 0,604	<u>0,566</u> 0,594	<u>0,556</u> 0,584	<u>0,546</u> 0,574	<u>0,535</u> 0,563	<u>0,525</u> 0,553	<u>0,515</u> 0,543	<u>0,505</u> 0,533	<u>0,494</u> 0,522	<u>0,484</u> 0,512
9,0	<u>0,600</u> 0,628	<u>0,590</u> 0,618	<u>0,579</u> 0,607	<u>0,568</u> 0,596	<u>0,557</u> 0,585	<u>0,547</u> 0,575	<u>0,536</u> 0,564	<u>0,525</u> 0,553	<u>0,514</u> 0,542	<u>0,504</u> 0,532	<u>0,493</u> 0,521
9,5	<u>0,614</u> 0,642	<u>0,603</u> 0,631	<u>0,592</u> 0,620	<u>0,580</u> 0,608	<u>0,569</u> 0,597	<u>0,558</u> 0,586	<u>0,547</u> 0,575	<u>0,535</u> 0,563	<u>0,524</u> 0,552	<u>0,513</u> 0,541	<u>0,501</u> 0,529
10,0	<u>0,628</u> 0,656	<u>0,616</u> 0,644	<u>0,604</u> 0,632	<u>0,593</u> 0,621	<u>0,581</u> 0,609	<u>0,569</u> 0,597	<u>0,557</u> 0,585	<u>0,545</u> 0,573	<u>0,534</u> 0,562	<u>0,522</u> 0,550	<u>0,510</u> 0,538

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.17

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{I-IV} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{I-IV}											
$\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,157</u> 0,185	<u>0,143</u> 0,171	<u>0,128</u> 0,156	<u>0,114</u> 0,142	<u>0,099</u> 0,127	<u>0,085</u> 0,113	<u>0,070</u> 0,098	<u>0,056</u> 0,084	<u>0,041</u> 0,069	<u>0,027</u> 0,055
5,5	<u>0,201</u> 0,229	<u>0,186</u> 0,214	<u>0,171</u> 0,199	<u>0,156</u> 0,184	<u>0,141</u> 0,169	<u>0,126</u> 0,154	<u>0,111</u> 0,139	<u>0,096</u> 0,124	<u>0,081</u> 0,109	<u>0,066</u> 0,094	<u>0,051</u> 0,079
6,0	<u>0,230</u> 0,258	<u>0,214</u> 0,242	<u>0,199</u> 0,227	<u>0,183</u> 0,211	<u>0,168</u> 0,196	<u>0,152</u> 0,180	<u>0,136</u> 0,164	<u>0,121</u> 0,149	<u>0,105</u> 0,133	<u>0,090</u> 0,118	<u>0,074</u> 0,102
6,5	<u>0,259</u> 0,287	<u>0,243</u> 0,271	<u>0,227</u> 0,255	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,178</u> 0,206	<u>0,162</u> 0,190	<u>0,146</u> 0,174	<u>0,130</u> 0,158	<u>0,114</u> 0,142	<u>0,098</u> 0,126
7,0	<u>0,288</u> 0,316	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,254</u> 0,282	<u>0,238</u> 0,266	<u>0,221</u> 0,249	<u>0,205</u> 0,233	<u>0,188</u> 0,216	<u>0,171</u> 0,199	<u>0,155</u> 0,183	<u>0,138</u> 0,166	<u>0,122</u> 0,150
7,5	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,299</u> 0,327	<u>0,282</u> 0,310	<u>0,265</u> 0,293	<u>0,248</u> 0,276	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,214</u> 0,242	<u>0,197</u> 0,225	<u>0,180</u> 0,208	<u>0,163</u> 0,191	<u>0,145</u> 0,173
8,0	<u>0,346</u> 0,374	<u>0,328</u> 0,356	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,293</u> 0,321	<u>0,275</u> 0,303	<u>0,257</u> 0,285	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,222</u> 0,250	<u>0,204</u> 0,232	<u>0,187</u> 0,215	<u>0,169</u> 0,197
8,5	<u>0,374</u> 0,402	<u>0,356</u> 0,384	<u>0,338</u> 0,366	<u>0,320</u> 0,348	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,265</u> 0,293	<u>0,247</u> 0,275	<u>0,229</u> 0,257	<u>0,211</u> 0,239	<u>0,193</u> 0,221
9,0	<u>0,403</u> 0,431	<u>0,385</u> 0,413	<u>0,366</u> 0,394	<u>0,347</u> 0,375	<u>0,329</u> 0,357	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,291</u> 0,319	<u>0,273</u> 0,301	<u>0,254</u> 0,282	<u>0,235</u> 0,263	<u>0,217</u> 0,245
9,5	<u>0,432</u> 0,460	<u>0,413</u> 0,441	<u>0,394</u> 0,422	<u>0,375</u> 0,403	<u>0,355</u> 0,383	<u>0,336</u> 0,364	<u>0,317</u> 0,345	<u>0,298</u> 0,326	<u>0,279</u> 0,307	<u>0,259</u> 0,287	<u>0,240</u> 0,268
10,0	<u>0,461</u> 0,489	<u>0,441</u> 0,469	<u>0,422</u> 0,450	<u>0,402</u> 0,430	<u>0,382</u> 0,410	<u>0,363</u> 0,391	<u>0,343</u> 0,371	<u>0,323</u> 0,351	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,264</u> 0,292

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

Таблица В.18

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-III} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{II-III}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,139</u> 0,167	<u>0,125</u> 0,153	<u>0,110</u> 0,138	<u>0,096</u> 0,124	<u>0,081</u> 0,109	<u>0,067</u> 0,095	<u>0,052</u> 0,080	<u>0,038</u> 0,066	<u>0,023</u> 0,051	<u>0,009</u> 0,037	<u>0,000</u> 0,022
5,5	<u>0,168</u> 0,196	<u>0,153</u> 0,181	<u>0,138</u> 0,166	<u>0,123</u> 0,151	<u>0,108</u> 0,136	<u>0,093</u> 0,121	<u>0,078</u> 0,106	<u>0,063</u> 0,091	<u>0,048</u> 0,076	<u>0,033</u> 0,061	<u>0,018</u> 0,046
6,0	<u>0,197</u> 0,225	<u>0,181</u> 0,209	<u>0,166</u> 0,194	<u>0,150</u> 0,178	<u>0,135</u> 0,163	<u>0,119</u> 0,147	<u>0,104</u> 0,132	<u>0,088</u> 0,116	<u>0,073</u> 0,101	<u>0,057</u> 0,085	<u>0,041</u> 0,069
6,5	<u>0,226</u> 0,254	<u>0,210</u> 0,238	<u>0,194</u> 0,222	<u>0,178</u> 0,206	<u>0,162</u> 0,190	<u>0,146</u> 0,174	<u>0,129</u> 0,157	<u>0,113</u> 0,141	<u>0,097</u> 0,125	<u>0,081</u> 0,109	<u>0,065</u> 0,093
7,0	<u>0,255</u> 0,283	<u>0,238</u> 0,266	<u>0,222</u> 0,250	<u>0,205</u> 0,233	<u>0,188</u> 0,216	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,155</u> 0,183	<u>0,139</u> 0,167	<u>0,122</u> 0,150	<u>0,105</u> 0,133	<u>0,089</u> 0,117
7,5	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,267</u> 0,295	<u>0,250</u> 0,278	<u>0,232</u> 0,260	<u>0,215</u> 0,243	<u>0,198</u> 0,226	<u>0,181</u> 0,209	<u>0,164</u> 0,192	<u>0,147</u> 0,175	<u>0,130</u> 0,158	<u>0,113</u> 0,141
8,0	<u>0,313</u> 0,341	<u>0,295</u> 0,323	<u>0,277</u> 0,305	<u>0,260</u> 0,288	<u>0,242</u> 0,270	<u>0,225</u> 0,253	<u>0,207</u> 0,235	<u>0,189</u> 0,217	<u>0,172</u> 0,200	<u>0,154</u> 0,182	<u>0,136</u> 0,164
8,5	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,323</u> 0,351	<u>0,305</u> 0,333	<u>0,287</u> 0,315	<u>0,269</u> 0,297	<u>0,251</u> 0,279	<u>0,233</u> 0,261	<u>0,215</u> 0,243	<u>0,196</u> 0,224	<u>0,178</u> 0,206	<u>0,160</u> 0,188
9,0	<u>0,371</u> 0,399	<u>0,352</u> 0,380	<u>0,333</u> 0,361	<u>0,315</u> 0,343	<u>0,296</u> 0,324	<u>0,277</u> 0,305	<u>0,258</u> 0,286	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,221</u> 0,249	<u>0,202</u> 0,230	<u>0,184</u> 0,212
9,5	<u>0,399</u> 0,427	<u>0,380</u> 0,408	<u>0,361</u> 0,389	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,323</u> 0,351	<u>0,303</u> 0,331	<u>0,284</u> 0,312	<u>0,265</u> 0,293	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,227</u> 0,255	<u>0,207</u> 0,235
10,0	<u>0,428</u> 0,456	<u>0,409</u> 0,437	<u>0,389</u> 0,417	<u>0,369</u> 0,397	<u>0,350</u> 0,378	<u>0,330</u> 0,358	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,290</u> 0,318	<u>0,271</u> 0,299	<u>0,251</u> 0,279	<u>0,231</u> 0,259
<p>Примечания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr}, относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции. 											

Таблица В.19

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{II-IV} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{II-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
5,5	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,0	<u>0,997</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
6,5	<u>0,986</u> 1,000	<u>0,991</u> 1,000	<u>0,996</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,0	<u>0,974</u> 1,000	<u>0,979</u> 1,000	<u>0,983</u> 1,000	<u>0,988</u> 1,000	<u>0,992</u> 1,000	<u>0,997</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
7,5	<u>0,963</u> 0,991	<u>0,967</u> 0,995	<u>0,971</u> 0,999	<u>0,975</u> 1,003	<u>0,979</u> 1,000	<u>0,983</u> 1,000	<u>0,987</u> 1,000	<u>0,991</u> 1,000	<u>0,995</u> 1,000	<u>0,999</u> 1,000	<u>1,000</u> 1,000
8,0	<u>0,952</u> 0,980	<u>0,955</u> 0,983	<u>0,959</u> 0,987	<u>0,962</u> 0,990	<u>0,966</u> 0,994	<u>0,969</u> 0,997	<u>0,972</u> 1,000	<u>0,976</u> 1,000	<u>0,979</u> 1,000	<u>0,983</u> 1,000	<u>0,986</u> 1,000
8,5	<u>0,940</u> 0,968	<u>0,943</u> 0,971	<u>0,946</u> 0,974	<u>0,949</u> 0,977	<u>0,952</u> 0,980	<u>0,955</u> 0,983	<u>0,958</u> 0,986	<u>0,961</u> 0,989	<u>0,964</u> 0,992	<u>0,967</u> 0,995	<u>0,970</u> 0,998
9,0	<u>0,929</u> 0,957	<u>0,931</u> 0,959	<u>0,934</u> 0,962	<u>0,936</u> 0,964	<u>0,939</u> 0,967	<u>0,941</u> 0,969	<u>0,943</u> 0,971	<u>0,946</u> 0,974	<u>0,948</u> 0,976	<u>0,951</u> 0,979	<u>0,953</u> 0,981
9,5	<u>0,917</u> 0,945	<u>0,919</u> 0,947	<u>0,921</u> 0,949	<u>0,923</u> 0,951	<u>0,925</u> 0,953	<u>0,927</u> 0,955	<u>0,929</u> 0,957	<u>0,931</u> 0,959	<u>0,933</u> 0,961	<u>0,935</u> 0,963	<u>0,937</u> 0,965
10,0	<u>0,906</u> 0,934	<u>0,907</u> 0,935	<u>0,909</u> 0,937	<u>0,910</u> 0,938	<u>0,912</u> 0,940	<u>0,913</u> 0,941	<u>0,914</u> 0,942	<u>0,916</u> 0,944	<u>0,917</u> 0,945	<u>0,919</u> 0,947	<u>0,920</u> 0,948
Примечания 1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа. 2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.											

Таблица В.20

Значения коэффициента оптимизации k_{opt}^{III-IV} в связных грунтах при применении завинчиваемых свай

k_{opt}^{III-IV}											
$H_{tr}, \text{м}$ $\frac{H_{tr}}{L_0}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
5,0	<u>0,286</u> 0,314	<u>0,275</u> 0,303	<u>0,264</u> 0,292	<u>0,253</u> 0,281	<u>0,242</u> 0,270	<u>0,231</u> 0,259	<u>0,220</u> 0,248	<u>0,209</u> 0,237	<u>0,198</u> 0,226	<u>0,187</u> 0,215	<u>0,176</u> 0,204
5,5	<u>0,308</u> 0,336	<u>0,297</u> 0,325	<u>0,285</u> 0,313	<u>0,274</u> 0,302	<u>0,262</u> 0,290	<u>0,251</u> 0,279	<u>0,239</u> 0,267	<u>0,228</u> 0,256	<u>0,216</u> 0,244	<u>0,205</u> 0,233	<u>0,193</u> 0,221
6,0	<u>0,330</u> 0,358	<u>0,318</u> 0,346	<u>0,306</u> 0,334	<u>0,294</u> 0,322	<u>0,282</u> 0,310	<u>0,270</u> 0,298	<u>0,258</u> 0,286	<u>0,246</u> 0,274	<u>0,234</u> 0,262	<u>0,222</u> 0,250	<u>0,210</u> 0,238
6,5	<u>0,353</u> 0,381	<u>0,340</u> 0,368	<u>0,327</u> 0,355	<u>0,315</u> 0,343	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,290</u> 0,318	<u>0,277</u> 0,305	<u>0,265</u> 0,293	<u>0,252</u> 0,280	<u>0,240</u> 0,268	<u>0,227</u> 0,255
7,0	<u>0,375</u> 0,403	<u>0,362</u> 0,390	<u>0,349</u> 0,377	<u>0,336</u> 0,364	<u>0,322</u> 0,350	<u>0,309</u> 0,337	<u>0,296</u> 0,324	<u>0,283</u> 0,311	<u>0,270</u> 0,298	<u>0,257</u> 0,285	<u>0,244</u> 0,272
7,5	<u>0,397</u> 0,425	<u>0,383</u> 0,411	<u>0,370</u> 0,398	<u>0,356</u> 0,384	<u>0,343</u> 0,371	<u>0,329</u> 0,357	<u>0,315</u> 0,343	<u>0,302</u> 0,330	<u>0,288</u> 0,316	<u>0,275</u> 0,303	<u>0,261</u> 0,289
8,0	<u>0,419</u> 0,447	<u>0,405</u> 0,433	<u>0,391</u> 0,419	<u>0,377</u> 0,405	<u>0,363</u> 0,391	<u>0,349</u> 0,377	<u>0,334</u> 0,362	<u>0,320</u> 0,348	<u>0,306</u> 0,334	<u>0,292</u> 0,320	<u>0,278</u> 0,306
8,5	<u>0,441</u> 0,469	<u>0,427</u> 0,455	<u>0,412</u> 0,440	<u>0,397</u> 0,425	<u>0,383</u> 0,411	<u>0,368</u> 0,396	<u>0,354</u> 0,382	<u>0,339</u> 0,367	<u>0,324</u> 0,352	<u>0,310</u> 0,338	<u>0,295</u> 0,323
9,0	<u>0,464</u> 0,492	<u>0,448</u> 0,476	<u>0,433</u> 0,461	<u>0,418</u> 0,446	<u>0,403</u> 0,431	<u>0,388</u> 0,416	<u>0,373</u> 0,401	<u>0,357</u> 0,385	<u>0,342</u> 0,370	<u>0,327</u> 0,355	<u>0,312</u> 0,340
9,5	<u>0,486</u> 0,514	<u>0,470</u> 0,498	<u>0,454</u> 0,482	<u>0,439</u> 0,467	<u>0,423</u> 0,451	<u>0,407</u> 0,435	<u>0,392</u> 0,420	<u>0,376</u> 0,404	<u>0,360</u> 0,388	<u>0,345</u> 0,373	<u>0,329</u> 0,357
10,0	<u>0,508</u> 0,536	<u>0,492</u> 0,520	<u>0,476</u> 0,504	<u>0,459</u> 0,487	<u>0,443</u> 0,471	<u>0,427</u> 0,455	<u>0,411</u> 0,439	<u>0,395</u> 0,423	<u>0,378</u> 0,406	<u>0,362</u> 0,390	<u>0,346</u> 0,374

Примечания

1. Над чертой указаны значения при модуле деформации массива $E=30$ МПа, под чертой значения, соответствующие модулю деформации $E=15$ МПа.
2. При промежуточных значениях глубины траншеи H_{tr} , относительного расстояния траншеи H_{tr}/L_0 и модуля деформации массива E величины коэффициента оптимизации определять по интерполяции.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Список публикаций автора по теме диссертации

В изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК:

1. Знаменский В.В., Морозов Е.Б. Влияние устройства траншейной «стены в грунте» на деформации рядом расположенного здания // Вестник МГСУ» Спецвыпуск 1/2009. С.505-508.
2. Знаменский В.В., Морозов Е.Б., Чунюк Д.Ю. Устройство ограждающих систем котлованов в стесненных городских условиях // Жилищное строительство. 2012. №9. С. 60-62.
3. Морозов Е.Б., Чунюк Д.Ю. Учет технологических деформаций при усилении грунтов основания аварийных и реконструируемых зданий// Естественные и технические науки. 2015. №3(81). С. 210-212.
4. Знаменский В.В., Морозов Е.Б., Чунюк Д.Ю. Оценка влияния устройства защитного геотехнического экрана на деформации здания, расположенного в зоне влияния нового строительства, по результатам численного моделирования. // Научное обозрение. 2018. №18. С. 43-48.
5. Морозов Е.Б. Оценка эффективности применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай при устройстве «стены в грунте» траншейного типа // Перспективы науки. 2018. №2(101). С. 55-61.
6. Морозов Е.Б. К вопросу о снижении дополнительных осадок здания, расположенного в непосредственной близости от разрабатываемого котлована // Перспективы науки. 2018. №4(103). С. 42-45.
7. Знаменский В.В., Морозов Е.Б. Результаты численного исследования влияния защитного экрана из разреженного ряда свай на осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством монолитной «стены в грунте» траншейного типа// Перспективы науки. 2019. №3(114). С. 202-207.
8. Знаменский В.В., Морозов Е.Б. Численные исследования влияния устройства геотехнического экрана на осадки рядом расположенных зданий// Перспективы науки. 2019. №3(114). С. 28-31.
9. Знаменский В.В., Морозов Е.Б. Определение напряжений в грунте на контакте с геотехническим экраном со стороны разрабатываемой траншеи под «стену в грунте»// Перспективы науки. 2020. №7(130). С. 76-81.

В журналах, индексируемых в базах Scopus, Web of Science:

1. Vladimir Znamenskiy, Evgenii Morozov Effectiveness of geotechnical curtain of loose pile rows design for cast-in-place trench walls Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New materials, Structures, Technologies and Calculations (GFAC 2019)», Saint Petersburg, Russia, 6-8 February 2019. – pp. 457-461.
2. V.V. Znamenskiy, E.B. Morozov The results of numerical simulation of the work of the geotechnical screen of a sparse row of piles E3S Web of Conferences Volume 97, 29 May 2019, Номер статьи 0402022nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM2019; Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers Tashkent; Uzbekistan; 18 April 2019 - 21 April 2019.