

*На правах рукописи*



**Осокин Анатолий Иванович**

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ  
И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ  
И СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
В СЛАБЫХ ГРУНТАХ**

Специальность 2.1.2. Основания и фундаменты,  
подземные сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»)


- Научный консультант: член-корреспондент РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
**Мангушев Рашид Абдуллович**
- Официальные оппоненты: **Королев Константин Валерьевич**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
«Сибирский государственный университет путей  
сообщения» г. Новосибирск, заведующий кафедрой  
«Геотехника, тоннели и метрополитены»;  
**Невзоров Александр Леонидович**  
доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М. В. Ломоносова», профессор кафедры инженерной  
геологии, оснований и фундаментов;  
**Полищук Анатолий Иванович**  
доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный строитель РФ, ФБГОУ ВО  
«Кубанский государственный аграрный университет  
им. И.Т. Трубилина» профессор кафедры  
«Основания и фундаменты»;
- Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I».**

Защита состоится «18» июня 2025 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний Диссертационного совета (аудитория № 220 главного корпуса). Тел./Факс: (812) 316-58-73; e-mail: [rector@spbgasu.ru](mailto:rector@spbgasu.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте: <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/osokin-anatolii-ivanovich>

Автореферат разослан «14» апреля 2025 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.380.04  
доктор технических наук, доцент



А. Н. Гайдо

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Наступившее новое тысячелетие контрастно обозначило необходимость освоения подземного пространства мегаполисов. Этому способствуют дефицит городских территорий, градостроительные ограничения при строительстве в исторических частях городов, рост численности населения, проблемы с транспортной городской инфраструктурой и др.

Период 1990–2000 годов в Санкт-Петербурге характеризуется началом коммерческого освоения подземного пространства, появляются проекты комплексного освоения подземного пространства, в этот период впервые проектируются и строятся подземные сооружения в условиях плотной городской застройки, особенностью которой является наличие вокруг площадки строительства исторических зданий. В указанный период были случаи, когда при устройстве ограждающих конструкций котлованов подземных сооружений и последующей экскавации грунта, из-за недоучета особенностей поведения грунтов, произошло несколько серьезных аварий.

Особенностью, которая определяет конструктивные и технологические решения строительства подземных сооружений в историческом центра Санкт-Петербурга, является наличие в основании вблизи расположенных зданий, большой толщи слабых грунтов. Данные практических геодезических наблюдений позволяют заметить, что в слабых грунтах при выполнении превентивного усиления фундаментов зданий, расположенных вблизи площадки строительства или при создании геотехнического барьера, в зданиях окружающей застройки, возникают дополнительные осадки от технологического воздействия, равные или даже превышающие расчетные осадки от нового строительства. Условия возникновения дополнительных деформаций при проведении работ в слабых грунтах при использовании современных инженерных решений и технологий изучены ещё недостаточно и требуют дополнительных исследований в установлении степени технологического влияния на грунты основания и фундаменты зданий окружающей застройки. Это и определяет высокую практическую значимость и актуальность исследования таких факторов.

**Степень разработанности темы исследований.** Геотехническая практика подземного строительства с устройством глубоких котлованов и строительства фундаментов определяет условия безопасного строительства. Такой подход формируется на основе понимания зоны влияния указанных работ на грунты основания и фундаменты зданий и сооружений соседней застройки. Он обусловлен необходимостью достоверной оценки возможных негативных воздействий на здания окружающей застройки и своевременной разработки мероприятий, снижающих или исключающих такое влияние.

Вопросам подземного строительства в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах, исследованию эффективности использования защитных мероприятий при геотехническом строительстве, в том числе, усиления фундаментов и грунтов основания зданий, посвящены работы отечественных ученых

Абелева М.Ю., Алексеева С.И., Бакенова Х.З., Безродного К.П., Богова С.Г., Бронина В.Н., Бугрова А.К., Ватина Н.И., Верстова В.В., Вознесенской Е.С., Гайдо А.Н., Готмана А.Л., Гурского А.В., Далматова Б.И., Дашко Р.Э., Джантимирова Х.А., Дьяконова И.П., Ермолаева В.А., Зерцалова М.Г., Зехниева Ф.Ф., Знаменского В.В., Ильичева В.А., Калача Ф.Н., Карлова В.Д., Конюхова Д.С., Колыбина И.В., Коновалова П.А., Конюшкова В.В., Королева К.В., Кудрявцева С.А., Кулагина Н.И., Куликовой Е.Ю., Лашковой Е.Б., Левинтова Г.В., Ледяева А.П., Лушникова В.В., Маковецкого О.А., Малинина А.Г., Мангушева Р.А., Мацегоры А.Г., Меркина В.Е., Мирсаяпова И.Т., Мишакова В.А., Мозгачевой О.А., Невзорова А.Л., Никитиной Н.С., Никифоровой Н.С., Николаенко Ю.И., Нуждина Л.В., Парамонова В.Н., Петрухина В.П., Полищука А.И., Полунина В.М., Пономарева А.Б., Пронозина А.Я., Протосени А.Г., Разводовского Д.Е., Рукавцова А.М., Сапина Д.А., Сахарова И.И., Серебряковой А.Б., Сливца К.В., Смоленкова В.Ю., Сотникова С.Н., Татарина С.В., Тер-Мартиросяна З.Г., Тер-Мартиросяна А.З., Улицкого В.М., Фадеева А.Б., Чунюка Д.Ю., Шашкина А.Г., Шашкина К.Г., Шейнина В.И., Шулятьева О.А. Среди зарубежных авторов, уделяющих внимание этим проблемам в публикациях и анализе ситуации, следует отметить таких авторов как Antikoski U.V., Bjerrum L., Brandl H., Burland J.B., Chen Pan, Clayton C.R.I., England G.L., Frischmann W.W., Gibson R.E., Gollub P., Ishihara K., Iwasaki E., Katzenbach R., Koutsoftas D.C., Kuntsche K., Lehmann G., Ladd C.C., Lizzi F., Mao-Cia Zhao, Miyazaki Y., Jardine F.M., Moormann Ch., Nikitenko M.I., Nußbaumer M., Peck R.B., Pinto A., Powderham A.J., Standing J.R., Terzaghi K., Ulrichs K.R., Van Impe W.F., Van der Berg J.P., Wang Y., Weißenbach A. Wolffersdorf A., Zhussupbekov A. Zh. и др.

В результате проведенных исследований появились нормативные положения по оценке зоны влияния, оценочные методы расчета дополнительных технологических осадок и критерии применения различных конструктивных и технологических мероприятий, обеспечивающих защиту зданий и сооружений вблизи расположенной существующей застройки при подземном строительстве и выполнении работ по устройству фундаментов.

**Научно-техническая гипотеза** выполненных исследований: комплексное рассмотрение процесса воздействия совокупности различных факторов, влияющих на безопасность строительства подземных сооружений и устройства фундаментов в плотной городской застройке. В качестве таких факторов рассмотрены: технологические процессы геотехнических работ, конструктивные решения, воздействия природных процессов, проектных и расчетных допущений, которые оказывают влияние на формирование напряженно-деформированного состояния (НДС) оснований и фундаментов вблизи расположенных зданий и сооружений, неопределенностей, возникающих в связи с неполной информацией по инженерно-геологическому и гидрогеологическому строению площадки на момент проектирования, позволяет снизить геотехнические риски возникновения сверхнормативных деформаций зданий окружающей застройки.

**Цель исследования** – разработка принципов безопасного проектирования, выполнения геотехнических работ нулевого цикла и строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах.

**Задачи исследования:**

1. Выполнить обзор и анализ существующих методов геотехнического обоснования и подземного строительства в условиях плотной городской застройки в случае слабых грунтов и выявить основные факторы технологического строительного воздействия при подземном строительстве, оказывающие влияние на безопасность зданий и сооружений окружающей застройки

2. Разработать критерии применимости конструктивных и технологических решений подземного и геотехнического строительства в слабых грунтах в застроенной части города из условий безопасности и минимизации строительных рисков.

3. Разработать принципы научно-технического обоснования подземного строительства на основе оценки степени влияния различных технологических факторов строительного воздействия на (НДС) окружающего грунтового массива, на развитие осадок возводимого сооружения и деформаций фундаментов зданий соседней застройки.

4. Проанализировать факторы влияния на возникновение деформаций в основании соседних зданий и разработать методику устройства защитных мероприятий в виде конструкций ограждения котлована на основе численного моделирования геотехнической ситуации при устройстве фундаментов строящегося здания в слабых грунтах с учетом вариативности возникающих рисков негативного технологического воздействия на окружающую застройку.

5. Разработать методику расчета механизма технологического подъема поверхности околовсвайного грунта и зданий окружающей застройки при выполнении набивных свай вытеснения и определить степень снижения такого влияния при их изготовлении в замкнутом контуре защитного геотехнического экрана в условиях слабых грунтов.

6. Разработать и обосновать комплекс превентивных мероприятий по повышению уровня безопасности для зданий окружающей застройки при совместном рассмотрении системы «грунт основания – фундамент – надземные конструкции» из условия минимизации геотехнических рисков.

7. Обосновать принципы обеспечения безопасности подземного строительства на основе мониторинга НДС грунтового массива и деформаций конструкций зданий.

8. Разработать методологию повышения безопасности выполнения геотехнических работ на основе разработанной методики оценки степени влияния конструктивных и технологических решений подземного строительства на дополнительные деформации фундаментов зданий окружающей застройки, а также сформулировать требования по обеспечению безопасного проведения работ по освоению подземного пространства при реконструкции исторических зданий и сооружений при их приспособлении к современному использованию.

**Объект исследования** – подземные сооружения, современные типы фундаментов и методы их устройства на слабых грунтах.

**Предмет исследования** – основные факторы обеспечения безопасности при устройстве подземных сооружений и новых типов фундаментов в условиях плотной застройки и слабых грунтов.

**Рабочая гипотеза** – использование механизма качественной оценки влияния технологических факторов на обеспечение безопасности при выполнении геотехнических работ, устройстве фундаментов и при подземном строительстве на всех его стадиях в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах позволяет свести влияние технологического воздействия на фундаменты зданий окружающей застройки к минимуму.

**Научная новизна исследований** заключается в следующем:

1. На основе проведенного анализа практического опыта автора и литературных источников обобщены особенности геотехнического и подземного строительства на слабых грунтах в условиях плотной городской застройки, выявлены и обоснованы основные факторы конструктивного и технологического воздействия на грунты основания и фундаменты зданий, находящихся в непосредственной близости от зоны выполнения геотехнических работ на основе практического опыта строительства подземных сооружений открытого типа.

2. Разработан метод выбора конструкций и технологий устройства ограждений котлованов, практического использования современных свайных фундаментов в условиях плотной городской застройки с учетом результатов геотехнического обоснования.

3. С учетом особенностей строительства на слабых грунтах разработаны и дополнены основные требования к составу геотехнического обоснования по обеспечению сохранности зданий окружающей исторической застройки на основе критерия безопасности и минимизации технологического влияния устройства различных типов фундаментов и конструкций ограждения котлована.

4. Разработаны и обоснованы принципы безопасного подземного строительства с проведением защитных мероприятий, обеспечивающие минимизацию технологического влияния на здания окружающей застройки: превентивное усиление фундаментов существующих зданий буроинъекционными сваями, компенсационное нагнетание закрепляющих растворов по манжетной и по струйной (jet grouting) технологиям и др.

5. Разработана методика расчетной оценки технологического подъема окосвайного грунта и зданий окружающей застройки при выполнении набивных свай вытеснения на площадке в плотной городской застройке на слабых грунтах, предложена и обоснована методика аналитического решения задачи по определению влияния от устройства набивных свай вытеснения в случае их изготовления в границах замкнутого контура защитного геотехнического экрана на образование дополнительных деформаций поверхности грунта и зданий окружающей застройки.

6. На основе анализа технических и технологических факторов обеспечения безопасности подземного строительства и реконструкции с освоением подземного пространства разработаны и обоснованы основные критерии их оценки в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах.

7. Разработаны конструктивные решения усиления фундаментов и закрепления грунтов основания в качестве защитных мероприятий при устройстве котлованов, подземном и геотехническом строительстве, при реконструкции исторических зданий с устройством подвальных и подземных помещений, в том числе для зданий на свайных фундаментах с оценкой возможности передачи дополнительной нагрузки на существующие сваи.

8. Обоснованы принципы геотехнического сопровождения сложных геотехнических строительных объектов и разработана комплексная методика мониторинга ограждения котлованов, конструкций строящегося подземного сооружения, фундаментов зданий и сооружений, попадающих в расчетную зону влияния в условиях стесненной городской застройки на слабых грунтах.

**Теоретическая значимость** состоит в следующих результатах, полученных при выполнении исследований:

- на основе комплексного анализа факторов геотехнического риска определены качественные критерии безопасного строительства новых типов фундаментов, подземных частей зданий и подземных сооружений в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах;

- расширено понятие технологического влияния на формирование геотехнических факторов, обеспечивающих безопасность подземного строительства в зависимости от принимаемых конструкторско-технологических решений, инженерно-геологических условий площадки и технического состояния грунтов, фундаментов и основных строительных конструкций зданий окружающей застройки, попадающих в зону влияния;

- уточнена закономерность формирования факторов геотехнических рисков на основе выполненного анализа влияния граничных условий при проектировании подземных сооружений в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах;

- расчетно определена возможность образования технологического подъема околовсвайного грунта и зданий окружающей застройки при выполнении набивных свай вытеснения, а также уточнено влияние превентивно устроенного замкнутого защитного геотехнического экрана на образование дополнительных деформаций поверхности грунта и зданий окружающей застройки в условиях слабых грунтов;

- на основе результатов выполненных лабораторных исследований для пылевато-глинистых водонасыщенных грунтов исследован механизм тиксотропного разупрочнения и последующего восстановления прочностных свойств и разработан метод изменения расчетного сопротивления погружению сваи по боковой поверхности в слабых грунтах во времени;

– предложена расчетная методика оценки несущей способности свай, находящейся длительное время в эксплуатации в составе свайного для целей реконструкции по результатам проведенных натурных исследований;

– обоснованы критерии безопасного строительства на основе теоретических и экспериментальных исследований и анализа геотехнических факторов при проектировании и строительстве фундаментов и подземных сооружений в условиях плотной застройки на слабых грунтах.

**Методология и методы исследований.** Для решения поставленных задач использованы методы классической механики грунтов, теории прочности Кулона – Мора, наследственной теории ползучести, а также общенаучные методы исследования, такие как статистический анализ, математическая статистика и теория вероятности, экспертное прогнозирование, численное моделирование, экспериментальные исследования. При проведении расчетов применялись стандартные отечественные и зарубежные программные комплексы.

**Личный вклад автора** в выполнение диссертационного исследования заключается в формулировании цели и задач исследований, в рассмотрении и анализе факторов геотехнического воздействия на окружающую застройку с оценкой их влияния на безопасность выполнения работ по устройству нулевого цикла и фундаментов в плотной городской застройке на слабых грунтах; в составлении программы и в последующем осуществлении теоретических и экспериментальных исследований, обработке результатов опытно-исследовательских работ в установлении особенностей взаимодействия грунтового массива с конструкциями усиления фундаментов, устраиваемых геотехнических экранов или барьеров при выполнении защитных мероприятий для исключения деформаций зданий окружающей застройки; в разработке основных критериев и осуществлении оценки влияния технологических факторов на безопасное выполнение геотехнических работ в стесненных городских условиях площадки строительства на слабых грунтах; в разработке методики расчетного обоснования технологического подъема околосвайного массива грунта при устройстве набивных свай вытеснения и расчетной оценки влияния замкнутого контура защитного геотехнического экрана на образование дополнительных деформаций поверхности грунта и зданий окружающей застройки; в установлении влияния конструктивных и технологических параметров на фундаменты зданий, окружающей застройки; в разработке основных принципов расчётного, конструкторского, проектного и технологического обеспечения безопасности геотехнического строительства на слабых грунтах в условиях плотной городской застройки; в разработке методики и проведении натурных исследований свайных фундаментов в условиях реконструируемого здания; в практической реализации геотехнических объектов на основе предложенных теоретических подходов; в подготовке и написании публикаций по результатам диссертационных исследований.

### **На защиту выносятся:**

- методология обеспечения безопасного выполнения работ по устройству фундаментов и подземному строительству на основе анализа комплексного воздействия геотехнических факторов в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах;

- методика оценки применимости конструктивных и технологических решений устройства фундаментов и подземного строительства по критерию соответствия геотехнических факторов минимальному значению риска;

- разработанные способы устройства ограждения котлована с минимальным технологическим влиянием на фундаменты зданий окружающей застройки;

- научно обоснованные рекомендации по устройству набивных свайных фундаментов по технологии вытеснения грунта (Drilling Displacement System, DDS) и инъекционному усилению фундаментов и грунтов основания;

- методика расчетной оценки технологического подъема поверхности околосвайного массива грунта и вблизи расположенных зданий при выполнении набивных свай вытеснения в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах и аналитическое решение задачи по определению влияния превентивно устроенного замкнутого защитного геотехнического экрана на образование дополнительных деформаций поверхности грунта и зданий окружающей застройки;

- разработанные конструкции и технологические решения устройства фундаментов и ограждения котлованов при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки, позволяющие снизить воздействие строящегося сооружения на фундаменты зданий окружающей застройки и регулировать НДС основания существующих зданий посредством превентивных и защитных мероприятий.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов** базируется на использовании в работе методов расчета на основе классической механики грунтов и нормативных документов и обеспечивается применением апробированных методов численного моделирования при решении геотехнических задач, сопоставлении результатов расчетов с данными численного моделирования и с результатами геотехнического мониторинга, осуществляемого в процессе выполнения строительно-монтажных работ.

Полевые и лабораторные экспериментальные исследования выполнялись с применением сертифицированных и апробированных приборов и оборудования. Геодезические наблюдения за деформациями зданий и сооружений выполнялись на приборах, прошедших необходимые поверки и метрологическое обеспечение, позволяющие контролировать достоверность получаемых результатов экспериментов. Основные теоретические и прикладные результаты работы в составе выполненных многочисленных проектов по реальным реализованным объектам прошли государственную экспертизу и получили практическую апробацию при устройстве фундаментов и строительстве подземных частей более, чем двухсот зданий и подземных сооружений, усиления фундаментов более, чем тридцати

исторических зданий при реконструкции и инженерной реставрации, выполнении защитных мероприятий при осуществлении подземного строительства.

**Практическая значимость** заключается в использовании результатов исследований в проектировании, при устройстве фундаментов зданий и строительстве подземных сооружений и реконструкции зданий старой застройки в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах:

- разработанных и апробированных критериях качественной оценки конструктивных и технологических решений устройства фундаментов и строительства подземных сооружений на слабых грунтах из условия обеспечения безопасности выполнения геотехнических работ на этапе предварительного расчётно-проектного анализа выбора типа и технологии устройства фундаментов зданий и подземных сооружений в плотной городской застройке, в том числе архитектурных и исторических зданий и памятников, на слабых грунтах;

- разработанной и внедренной в практику методики оценки степени влияния геотехнических факторов при изготовлении набивных свай вытеснения на массив грунта, нормативно закреплённой в соответствующем стандарте организации (СТО 31041820-003-2006);

- в разработанной расчётной методике оценки технологического подъёма поверхности околосвайного массива грунта и вблизи расположенных зданий при выполнении набивных свай вытеснения в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах и в аналитическом решении задачи по определению влияния превентивно устроенного замкнутого защитного геотехнического экрана на образование дополнительных деформаций поверхности грунта и зданий окружающей застройки;

- предложенного и апробированного способа ограждения котлованов в плотной городской застройке на слабых грунтах в виде возведения в грунте несущего ограждающей конструкции (патент РФ RU № 2378 453), использование которого позволяет минимизировать воздействия технологического характера на зданий окружающей застройки;

- разработанной методики усиления фундаментов и упрочнения грунтов основания с применением инъекционных технологий, включая манжетную технологию компенсационного нагнетания (СТО 31041820-002-2006);

- усовершенствованного и внедрённого оборудования для проведения геотехнического мониторинга (измерение послонных деформаций основания – а.с.№1596015), уточнения физико-механических характеристик слабых грунтов (при послонном измерении: а.с.№ 1675485; а.с.№1715955);

- разработанной и реализованной методики оценки несущей способности сваи при реконструкции зданий на свайных фундаментах в составе существующего ростверка без выключения ее из работы;

- уточнения принципов геотехнического мониторинга и научно-технического сопровождения работ по устройству фундаментов и подземных частей зданий и сооружений на слабых грунтах в условиях сложившейся исторической

городской среды с высокой плотностью застройки на основе комплексного интерактивного расчетного подхода по оценке и анализу регулярно замеряемых контрольных параметров на принципах обеспечения безопасности и минимизации влияния геотехнического строительства на здания окружающей застройки.

**Результаты исследований** использованы при разработке нормативно-технических документов – стандартов организации, прошедших регистрацию в ТК 465 «Строительство» и используемых специализированными строительными организациями при проектировании и в строительной практике: для набивных свай вытеснения DDS, по усилению оснований и фундаментов с использованием инъекционных технологий. Применение результатов исследований в экспертной, в научно-консалтинговой, в проектной и строительной деятельности при реализации объектов строительства, реконструкции и реставрации в сложных инженерно-геологических условиях центральной части Санкт-Петербурга при наличии в основании зданий большой толщи слабых грунтов позволило получить экономический эффект свыше 720 млн руб.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований диссертационной работы были представлены, докладывались, обсуждались и были опубликованы в трудах более 56 научно-технических конференций, научно-практических семинаров и международных геотехнических симпозиумов, в том числе: на ежегодных научно-технических конференциях СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 1988-2024); на международных научно-технических конференциях в Кракове (Польша, 1990), в Будапеште (Венгрия, 1990), в Лейпциге (Германия, 1991), в Осло (Норвегия, 1991), в Копенгагене (Дания, 1995), в Хельсинки (Финляндия, 2000, 2020); в Москве (1998, 2007, 2010, 2023), в Санкт-Петербурге (2002, 2003, 2005, 2017, 2019, 2021, 2024), в Южно-Сахалинске (2007); в Алматы (Казахстан, 2004), в Йошкар-Оле (2004), в Астане (Казахстан, 2005); в Риме (Италия, 2011); в г. Ченнай (Индия, 2015); в Батуми (Грузия, 2017), в Сеуле (Корея, 2017); в Екатеринбурге (2018), в Самаре (2019); в Рейкьявике (Исландия, 2019); в Лиссабоне (Португалия, 2024); на международном геотехническом симпозиуме IGSS на XIV Азиатской региональной конференции ISSMGE по геоинжинирингу при сохранении культурных и исторических мест в Гонконге (Китай, 2011); на 4-м Центрально-Азиатском геотехническом симпозиуме CAGS «Геоинжиниринг и сохранение памятников культуры и исторических мест» в Самарканде (Узбекистан, 2012); на «Сергеевских чтениях» (Москва, 2015); на «Первых Бетанкуровских чтениях» (Санкт-Петербург, 2019); на 17-й Азиатской региональной конференции по механике грунтов и геотехнике (Астана, Казахстан, 2023); на «Герсевановских чтениях» (Москва, 2024); на 17-ой Латиноамериканской международной конференции по механике грунтов, геотехнике и инженерно-геологическим изысканиям (Ла Серена, Чили, 2024).

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 190 печатных работ, в том числе: 4 монографии (в соавторстве), получено 16 патентов и авторских свидетельств на изобретения, опубликовано в изданиях,

включенных в перечень рецензируемых научных изданий по списку ВАК РФ – 25 научных статей (18,37 печатных листов, из них 6,21 п.л. единолично автором), в изданиях, индексируемых международными реферативными базами Scopus – 37 статей (28,348 п.л., из них 9,549 п.л. единолично автором). Общий объем публикации составляет 352,82 печатных листа, из них лично написанных автором 116,10 печатных листов.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа по структуре состоит из введения, 8 глав, Заключения, Списка используемой литературы из 389 наименований (в том числе 62 зарубежных) и Приложения. Текст диссертации включает 430 страниц, в том числе 216 рисунков и 33 таблицы.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедры геотехники СПбГАСУ – своим наставникам в науке лауреату Государственной Премии РФ, д. т. н., профессору В.М. Улицкому, Заслуженному деятелю науки и техники РФ, д. т. н., профессору С.Н. Сотникову, д. т. н., лауреату премии Правительства РФ, д. т. н., профессору И.И. Сахарову, д. т. н., профессору Л.Н. Кондратьевой, академику Казахской инженерной академии, д. т. н., профессору А.Ж. Жусупбекову, заведующему кафедрой «Основания и фундаменты» СПбГУПС, д. т. н., профессору В.Н. Парамонову, генеральному директору ООО «ПИ Геореконструкция», д. г.-м. н., профессору А.Г. Шашкину, к. т. н., с. н. с. лаборатории № 35 НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Х.А. Джантимирову, президенту ЗАО «Инжстрой Санкт-Петербург» Ш.И. Акбулатову, председателю Совета директоров ООО «Поли-Эко», к.г.-м.н. В.И. Ноздре, к. т. н., доценту СамГТУ А.В. Мальцеву, коллегам – геотехникам строительных компаний ООО «Геострой», ООО «ГеоСфера», ООО «Геоинжпроект», ООО «БЭиСПР», ООО «Геоизол», АО «Трест №68», ООО «ПКТИ Фундамент-тест», ЗАО «ЛенТИСИЗ» за поддержку и заинтересованное отношение к обсуждению результатов исследований.

Особую благодарность автор выражает своему научному консультанту – члену-корреспонденту РААСН, Заслуженному работнику высшей школы РФ, лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреату премии Правительства РФ в области образования, доктору технических наук, профессору Мангушеву Рашиду Абдулловичу.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **Введении** обоснована актуальность темы исследований, приводятся сведения о методах исследований, примененных в работе, сведения о достоверности полученных результатов, раскрывается научная новизна, показана теоретическая и практическая значимость работы, а также приводятся сведения об апробации результатов исследований.

В **главе 1** описаны основные этапы освоения подземного пространства мегаполисов в России и за рубежом, приведены принципы современного развития подземного строительства на слабых грунтах, отражены и проанализированы существующие конструктивные решения и методы устройства котлованов, рас-

смотрены особенности современных геотехнологий и проведена оценка риска их использования при подземном строительстве на слабых грунтах в условиях плотной городской застройки.

Во **второй главе** рассматриваются особенности инженерно-геологических условий центральной части Санкт-Петербурга, которые характеризуются наличием слабых водонасыщенных структурно-неустойчивых и тиксотропных грунтов, залегающих на большую глубину, что создает серьезные проблемы при подземном строительстве и является фактором риска возникновения значительных дополнительных осадок зданий, попадающих в зону влияния при строительстве фундаментов и подземных сооружений в плотной городской застройке.

В сложных инженерно-геологических условиях, определяемых наличием большой толщи слабых грунтов, на физико-механические свойства грунтов оказывают влияние многочисленные факторы, которые не поддаются непосредственному учёту. Это объясняет случайный характер оценки вероятностных показателей свойств грунтовой среды и результатов моделирования напряженно-деформированного состояния оснований зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

При моделировании производится условное разделение грунтового массива на слои (грунтовые элементы) и принято считать, что в пределах выделенного слоя грунт является однородный. Исследованиями установлено, что показатели свойств грунта, получаемые по результатам лабораторных и полевых исследований, в случае их достаточной репрезентативности хорошо согласуются с нормальным или логнормальным законами распределения (Р.Э. Дашко, М.С. Захаров, Р.А. Мангушев, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, А.А. Каган, И.С. Комаров, В.В. Дмитриев). В диссертации при анализе инженерно-геологических условий объектов исследования мы исходим из указанных выше предположений.

С целью снижения рисков и сбора дополнительных данных о свойствах слабых грунтов, получаемых в полевых условиях для реконструируемых и реставрируемых зданий, были разработаны специальные устройства для определения механических (а. с. SU 1715955) (рис. 1а), прочностных и деформационных свойств слабых грунтов (а. с. SU 1675485) (рис. 1б).

В Санкт-Петербурге при строительстве встроек, пристроек и новых зданий в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах исследователи В.Н. Бронин, В.П. Вершинин, Б.И. Далматов, Р.А. Мангушев, В.Н. Парамонов, В.Г. Симагин, С.Н. Сотников, В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин отметили, что вид деформации от дополнительной осадки существенно отличается от деформации, вызванной собственной осадкой. Уменьшение влияния строящегося здания на фундаменты соседних зданий обеспечивается сочетанием планировочных, архитектурных, конструктивных и технологических мероприятий. В диссертации проанализированы и дополнены мероприятия, разработанные для предотвращения повреждений конструкций зданий, вблизи от которых осуществляется новое строительство с устройством котлованов.

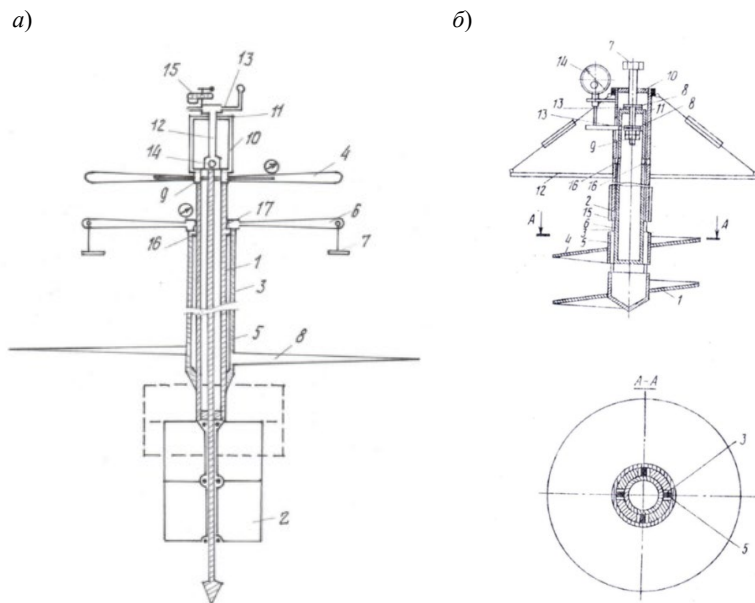


Рис. 1. а) Устройство для определения показателей механических свойств грунта (а. с. SU 1715955 A1 E02 D 1/00) б) Устройство для определения прочностных и деформационных характеристик грунтов (а. с. SU 1675485 A1 E02 D 1/00) <sup>1</sup>

Нами было рассмотрено 190 реализованных объекта в центральной исторической части города Санкт-Петербурга, данные по которым сведенные в табл. 1 с указанием принятых защитных мероприятий. На 45 зданиях соседней застройки деформации отсутствовали, наблюдались деформации на 86 объектах, а 20 объектов получили аварийное развитие деформаций в ходе производства работ.

Особенность устройства котлованов в слабых глинистых грунтах заключается в том, что основное давление от массива грунта, вмещающего котлован и подземное сооружение, воспринимает ограждающая конструкция, что приводит к возникновению в ней больших деформаций и усилий, чем в случае с прочными грунтами.

Геотехническое обоснование строительства нами рассматривается как инструмент для моделирования ситуации в различных построечных условиях и это проиллюстрировано в последующих главах диссертации.

<sup>1</sup> Эскизы к рис. 1 приведены в тексте диссертации.

**Использование защитных мероприятий при строительстве подземных сооружений в плотной городской застройке**

№ п/п	Вид защитного мероприятия	Количество	Процентное отношение к общему числу рассматриваемых объектов
1	2	3	4
1	Отсутствие мероприятий	43	22,6
2	Инъекционное усиление фундаментов и закрепление грунтов основания	34	17,9
3	Компенсационное инъекционное закрепление грунтов (с использованием манжетной технологии)	14	7,4
4	Буроинъекционные сваи	18	9,5
5	Устройство геотехнических экранов	24	12,6
6	Устройство геобарьеров	8	4,2
7	Усиление надземных конструкций	21	11,1
8	Восстановительный ремонт конструкций и помещений здания	28	14,7
	Всего:	190	100,0

Учет влияния геологических и конструктивных параметров, технологических факторов при моделировании процесса геотехнического строительства на слабых грунтах предложено определять при помощи функциональной зависимости с использованием обобщенного показателя  $O_g$ , по выражению

$$O_g = f(G, E, D, T, R, S), \quad (1)$$

где  $G$  – компонента геологического влияния;  $E$  – компонента внешнего нагружения системы;  $D$  – геометрические характеристики системы фундамента;  $T$  – технологические параметры устройства фундамента;  $S$  – деформационные параметры системы фундамента, включающие в т. ч. предельно допустимые значения деформаций.

На основе проведенного анализа геотехнических ситуаций по 190 строительным площадкам на слабых грунтах в стесненных условиях городской застройки, нами в качестве причин возникновения деформаций зданий, находящихся в зоне влияния при устройстве котлованов, как основные, выделены следующие (рис. 2).

Анализ практического опыта геотехнического и подземного строительства на слабых грунтах в центральной части Санкт-Петербурга показал, что важную роль в предупреждении возникновения аварийных сценариев играет

своевременно проведенный на стадии разработки геотехнического обоснования многофакторный анализ основных факторов, влияющих на безопасность строительства.



Рис. 2. Диаграмма основных причин возникновения аварийных ситуаций при подземном строительстве и устройстве фундаментов в стесненной городской застройке на слабых грунтах

В **третьей главе** на основе анализа современных способов ограждения котлованов выполнена качественная оценка влияния технологических факторов устройства подземных сооружений на дополнительные деформации зданий окружающей застройки, находящихся в непосредственной близости от котлована.

Качественный анализ факторов, обладающих высокой степенью значимости при выборе конструкции и технологии устройства котлована, показал, что к ним можно отнести такие параметры, как глубина и размеры котлована, жесткость конструкции ограждения, её характеристики прочности и деформативности. Высокую значимость имеют достоверные данные по инженерно-геологической ситуации и информация о техническом состоянии зданий находящихся в зоне влияния геотехнического строительства.

В рамках диссертационной работы проведенные исследования позволили установить, что определяющим фактором безопасного выполнения геотехнических работ в плотной городской застройке является *технологический*. По данным мониторинга, значения дополнительных деформаций фундаментов вблизи расположенных зданий существующей застройки от технологического воздействия уже на начальных стадиях выполнения геотехнических работ без защитных мероприятий или регулирования технологических параметров по снижению такого воздействия на грунты основания могут превышать предельные нормативные значения дополнительных осадков.

Сегодня кроме традиционных методов ограждения котлована из шпунтовых профилей, раскрепляемых распорными конструкциями, в геотехническом строительстве активно применяются сравнительно новые методы: конструкция «стена

в грунте», в том числе в сочетании с методом раскрепления перекрытиями (Top-Down); ограждения из касательных буровых свай с инъекционной шпонкой (Jet-шпонкой); ограждение, устраиваемое методом перемешивания грунта высоконапорной инъекцией (Jet Grouting) с формированием грунто-цементного массива (ГЦМ) в сочетании с армирующими элементами и использованием в качестве раскрепляющей конструкции грунтоцементной плиты, устраиваемой ниже дна котлована.

На рис. 3 приведена диаграмма наиболее широко используемых в геотехнической практике технических решений по раскреплению ограждающих конструкций на основе анализа практически реализованных проектов на 104 строительных площадках, расположенных в центральных районах Санкт-Петербурга в условиях плотной городской застройки в сложных инженерно-геологических условиях с наличием большой толщи слабых грунтов.



Рис. 3. Анализ применяемых систем раскрепления котлованов в плотной городской застройке (на основе реального опыта)

На рис.4 показана взаимосвязь проектных факторов по размерам котлована и типу фундамента с геотехническими факторами, обеспечивающими безопасное выполнение работ.

На основе проводимого анализа результатов геотехнического мониторинга, проводимого на объектах, расположенных в плотной городской застройке, на основе сравнения расчетных и фактических данных деформаций зданий окружающей застройки получена качественная оценка степени влияния различных конструктивных и технологических решений на уровень безопасности для зданий и сооружений окружающей застройки. С учетом мнения экспертов по результатам выполненного комплексного качественного анализа была сформирована рейтинговая таблица 2.



Рис. 4. Основные факторы, определяющие особенности устройства фундаментов и котлованов вблизи существующей застройки


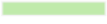

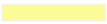

Применение метода простого аддитивного взвешивания (SAW) при выполнении качественного анализа конструкторско-технологических решений ограждения котлована с удерживающей системой в условиях плотной городской застройки в слабых грунтах показало, что более высокие рейтинговые оценки по совокупности оценочных показателей получили комплексные геотехнические решения, сочетающие конструкцию ограждения котлована «стена в грунте» с распорной металлической конструкцией (или металлическими подкосами), а также системы, в которых сочетаются ограждающие конструкции «стена в грунте» и их раскрепление посредством устройства перекрытий (технология «Top-Down»).

**Анализ конструктивных и технологических решений удерживающей системы ограждения котлована (нормированные оценки критериев)**

№ п/п	Удерживающая система котлована: конструкция ограждения + распорная конструкция	Характеристики технологической системы									
		Пространственная жесткость – П1	Водонепроницаемость – П2	Степень влияния на окружающую застройку – П3	Ограничение по глубине откопки захватки – П4	Технологичность (время возведения) – П5	Возможность использовать в качестве несущей конструкции – П6	Условия для разработки грунта – П7	Оборачиваемость – П8	Наличие производственного опыта – П9	Стоимость – П10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	<b>К1:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум + металлические распорки/подкосы	8	8	5	3	7	3	5	6	8	8
2	<b>К2:</b> Шпунтовое металлическое ограждение AZ + металлические распорки/подкосы	8	8	6	6	7	4	5	6	8	6
3	<b>К3:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум или AZ + грунтовые анкера	6	5	3	3	6	3	7	6	4	5

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	<b>К4:</b> Шпунтовое металлическое ограждение Ларсен Вум или AZ + железобетонные перекрытия (Top-Down)	8	8	7	5	3	5	5	1	3	3
5	<b>К5:</b> Трубчатый шпунт или шпунт HZ + распорные конструкции/ подкосы	8	8	6	6	6	6	6	3	4	3
6	<b>К6:</b> Трубчатый шпунт или шпунт HZ + грунтовые анкера	6	8	6	5	6	6	7	3	3	3
7	<b>К7:</b> Ограждение котлована конструкцией ЦГМ (jet grouting) + опорные элементы + распорные конструкции	6	5	8	5	4	6	6	1	6	6
8	<b>К8:</b> Стена в грунте + распорные конструкции / подкосы	9	8	8	7	8	8	6	1	7	8
9	<b>К9:</b> Стена в грунте + грунтовые анкера	7	7	7	7	7	8	7	1	7	7
10	<b>К10:</b> Стена в грунте + перекрытия (Top-Down)	8	8	8	5	6	8	5	1	7	7

	Очень высокий уровень оценки		Уровень оценки выше среднего
	Высокий уровень оценки		Средний уровень оценки
			Низкий уровень оценки

Для обеспечения безопасности производства работ по устройству котлованов в плотной городской застройке существуют нормативные требования по применению защитных мероприятий для зданий окружающей застройки. В работе

рассмотрены основные направления использования систем защитных мероприятий при строительстве на слабых грунтах, в частности, буроинъекционные сваи (*пассивные защитные мероприятия*), инъекционные методы компенсационного инъецирования с использованием манжетных колонн (активные защитные мероприятия), высоконапорное инъекционное закрепление массива грунта с использованием струйной технологии Jet Grouting.

В качестве примера комплексного подхода к назначению защитных мероприятий зданий, попадающих в зону влияния, нами была использована ситуация, сложившаяся на строительстве подземной части здания второй сцены государственного академического Мариинского театра (ГАМТ-2) в Санкт-Петербурге.

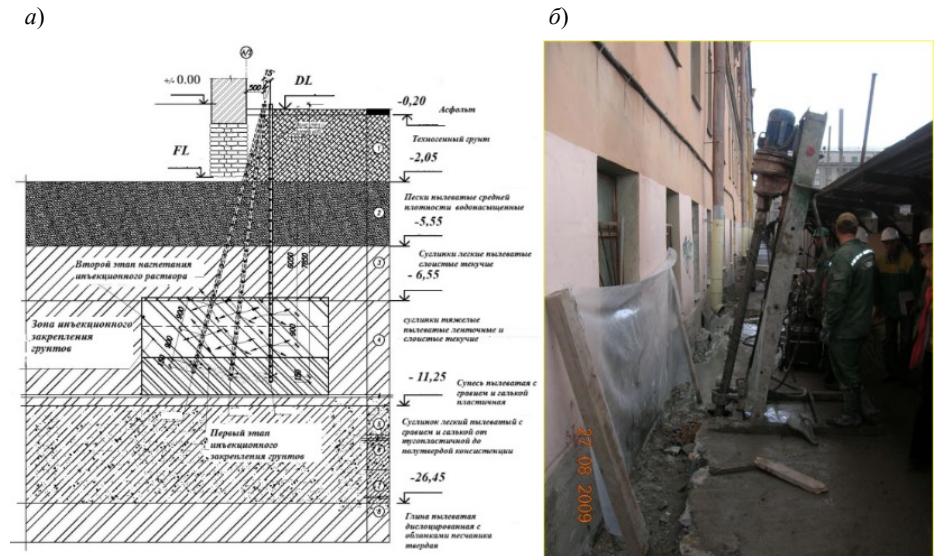


Рис. 5. Схема (а) и процесс производства (б) компенсационного закрепления грунтов с использованием манжетных колонн на объекте строительства глубокого котлована в г. Санкт-Петербурге (2008–2009 годы)

Одним из вариантов ограждения котлованов, получившим широкое распространение в практике геотехнического строительства, является конструкция из секущихся буронабивных свай.

В данной главе рассмотрена предложенная и внедренная в строительную практику конструкция и способ устройства ограждения котлована из буронабивных касательных свай с инъекционной Jet-шпонкой, выполняемой направленным инъецированием под высоким давлением (рис. 6).

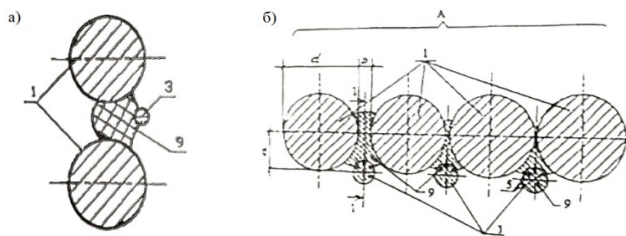


Рис. 6. Конструкция несуще-ограждающих противофильтрационных конструкций и устройство для их осуществления (RU 2378 453 C1 МПК Е 5/20)

В табл. 3 приведены результаты качественного анализа конструкций ограждений и их раскрепления в плотной городской застройке в условиях слабых грунтов по критерию безопасности по отношению к окружающей застройке на основании таблицы №2.

Таблица 3

**Рейтинг системы конструкции ограждения котлована и его раскрепления по критерию безопасности по отношению к окружающей застройке**

№ п/п рейтинга	Наименование системы конструкции и раскрепления котлована
1	Конструкция «стена в грунте» в сочетании с металлической распорной системой или подкосами
2	Конструкция «стена в грунте» в сочетании с методом откопки котлована «Top-Down»
3	Конструкция «стена в грунте» в сочетании грунтовыми анкерами
4	Металлический шпунт Ларсен Вум в сочетании с распорными конструкциями или подкосами
5	Металлический шпунт Алселлор AZ в сочетании с распорными конструкциями или подкосами
6	Металлический трубчатый шпунт или шпунт Алселлор HZ в сочетании с распорными металлическими конструкциями или подкосами
7	Устройство ограждения созданием ГЦМ (грунто-цементного массива) с использованием технологии Jet Grouting с опорными закладными элементами и распорными конструкциями
8	Металлический шпунт Ларсен Вум или Алселлор AZ с раскреплением монолитными железобетонными перекрытиями при откопке котлована методом Top-Down
9	Металлический трубчатый шпунт в сочетании с грунтовыми анкерами
10	Металлический шпунт Ларсен Вум или Алселлор AZ в сочетании с грунтовыми анкерами

В главе 4 рассматривается анализ практики применения свайных фундаментов при строительстве в застроенной части города. Широкое распространение при возведении зданий в плотной городской застройке получило использование свай заводского изготовления, погружаемых вдавливанием, а также буровых и набивных свай (рис. 7).



Отдельное внимание в работе уделено новой и эффективной для слабых грунтов конструкции набивных свай вытеснения DDS (Drilling Displacement System), внедренной нами в Санкт-Петербурге. Сваи по технологии DDS изготавливаются без извлечения грунта с использованием спиралевидного снаряда, который представляет собой конус или цилиндр переменного сечения с винтовой лопастью. Формирование таких скважин по данной технологии описывается классическим уравнением Ламэ о нагружении цилиндрической полости в упругой среде внутренним давлением.

Опрессовка скважины повышенным давлением бетонной смеси увеличивает радиус скважины и способствует увеличению несущей способности посредством формирования контактного слоя между бетоном сваи и грунтовым массивом. Результаты исследований применения набивных свай DDS нашли отражение в СТО 31041820-003-2006.

На диаграмме рис. 8 приведен анализ типов устраиваемых фундаментов для нового строительства в условиях плотной городской застройки по 64 строительным площадкам в Санкт-Петербурге.

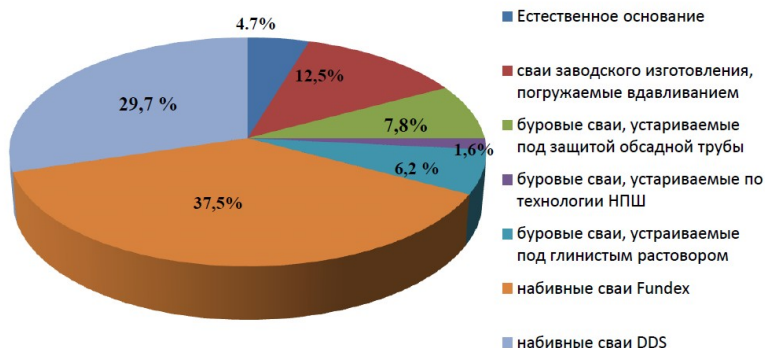


Рис. 8. Использование различных типов фундаментов для нового строительства в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах (Санкт-Петербург, 64 строительные площадки)

Для контроля достижения рабочим органом буровой установки несущего слоя грунта было предложено использовать коэффициент  $\alpha$ , представляющий собой величину вращающего момента  $M$  (кН·м), отнесенную к показателю  $r$  (м/к-во об. в мин) - отказу погружения рабочего органа в грунт. Нами предложена формула, которая учитывает время воздействия на грунт  $t$  при проходке скважины в процессе изготовления набивной сваи вытеснения DDS:

$$\alpha(t) = \frac{M}{r \times t}, \quad (2)$$

Коэффициент  $a(t)$  позволяет осуществлять операционный контроль изменения сопротивления грунта погружению бурового снаряда, что может служить косвенной характеристикой для фиксирования момента достижения опорного слоя грунта для набивной сваи в диаграмме отчета, отражает величину несущей способности в диаграмме отчета, а также позволяет оптимизировать длину сваи при фиксации кровли несущего слоя грунта.

С целью оценки влияния изготовления набивных свай DDS на изменение НДС грунтового массива были выполнены полевые исследования по определению зоны их безопасного влияния на фундаменты соседних зданий. Исследования проводились в центральной части Санкт-Петербурга с применением мобильной установки статического зондирования RIG 204 с возможностью измерения порового давления (рис. 9).

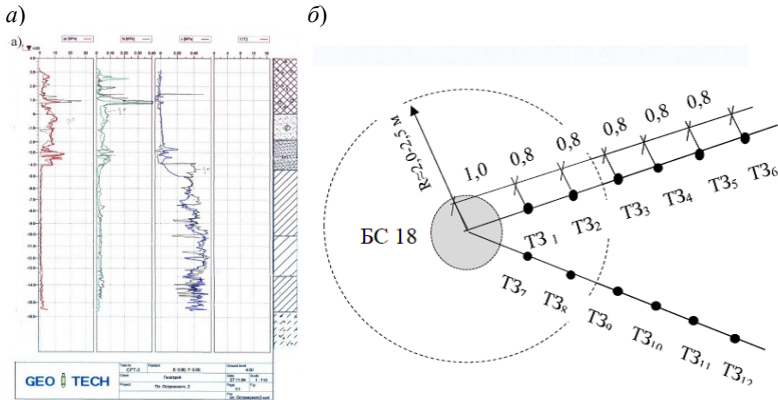





Рис. 9. Исследование уплотнения около свайного грунтового массива при изготовлении свай DDS на строительной площадке по адресу: г. Санкт-Петербург, пл. Островского, д. 2: а – вид диаграммы исследуемых параметров; б – места опробования методом СРТ



По результатам статического зондирования с измерением порового давления были построены графики сопротивления грунта погружению зонда по острию и по боковой поверхности в зависимости от глубины погружения до и после изготовления сваи. Это позволило оценить зону влияния от устройства набивной сваи вытеснения DDS через 2 часа после ее изготовления. В результате проведенных исследований установлено, что зона влияния для указанного типа свай составила от 2,0 до 2,5 м от центра изготовленной сваи (3-4 D сваи). Именно это расстояние является безопасным для фундаментов зданий при изготовлении около них буронабивных свай вытеснения DDS.

Результаты проведенного нами качественного анализа влияния различных свайных технологий на околосвайный массив грунта, а также на окружающую застройку, выполненный методом экспертной оценки для 64 строительных площадок в Санкт-Петербурге, представлены в табл. 4.

**Качественный анализ конструктивных и технологических решений типов фундаментов строящихся зданий в плотной городской застройке**

№ п/п	Тип фундамента и технология изготовления свай в условиях плотной городской застройки	Критерии оценки						
		Условия контроля качества - СП1	Технологичность (производительность) - СП2	Значение несущей способности – СП3	Ограничение по глубине устройства свай - СП4	Степень влияния на окружающую застройку - СП5	Возможность корректировки технологии для снижения воздействия на окружающую застройку - СП6	Удельная стоимость на тонну несущей способности-СП7
1	<b>Ф1:</b> Фундамент на естественном основании	9	5	5	3	5	4	5
2	<b>Ф2:</b> Призматические сваи заводского изготовления, погружаемые методом вдавливания	8	9	6	7	6	6	7
3	<b>Ф3:</b> Бурунабивные сваи, устраиваемые под защитой обсадной трубы	8	6	9	9	8	7	8
4	<b>Ф4:</b> Буровые сваи непрерывным полым шнеком НППШ (CFA, SOB)	6	7	7	8	4	3	7
5	<b>Ф5:</b> Буровые сваи, устраиваемые под защитой глинистого раствора	6	6	7	9	9	7	7
6	<b>Ф6:</b> Набивные сваи вытеснения по технологии Fundex	6	9	8	7	6	5	8
7	<b>Ф7:</b> Набивные сваи вытеснения по технологии DDS	8	9	8	9	8	7	8

 Очень высокий уровень оценки  
 Высокий уровень оценки  
 Уровень оценки выше среднего

 Средний уровень оценки  
 Низкий уровень оценки

Как видно из таблицы 4 оценки экспертов показали, что буровые сваи, устраиваемые под защитой глинистого раствора имеет самую низкую степень влияния на грунты околосвайного массива. Щадящий режим также обеспечивается при использовании технологии бурения под защитой обсадной трубы. Устройство набивных свай вытеснения показывает среднее значение влияния на грунтовый массив вокруг скважины и на фундаменты окружающей застройки и зависит от метода устройства сваи, интенсивности воздействия, диаметра и скорости бурения.

В главе 5 изложены основные положения разработанной методики обоснования подземного строительства на слабых грунтах.

Моделирование геотехнической ситуации строительства в условиях плотной городской застройки проводится с использованием программных комплексов и моделей идеальной и упрочняющейся упругопластической среды. Выбор расчетной математической модели определяется гипотезой изменения НДС моделируемой среды.

Для расчетного определения дополнительных деформаций зданий окружающей застройки, попадающих в зону влияния геотехнических работ при устройстве набивных свай вытеснения, нами разработана методика аналитического решения такой задачи. Полученные результаты аналитических расчетов сравнивались с фактическими данными, полученными при проведении геотехнического мониторинга за зданиями окружающей застройки при наличии в основании значительной толщии слабых грунтов.

Результаты геотехнического мониторинга показали, что набивные сваи вытеснения, устраиваемые внутри замкнутого контура ограждающей котлован конструкции, значительно уплотняют околосвайный массив грунта и увеличивают поровое давление. Такое воздействие оказывает влияние на НДС имеющейся конструкции ограждения котлована, что ведёт к образованию деформации выгиба конструкции в направлении «от котлована» и возникновению дополнительных деформаций подъема поверхности прилегающей территории и зданий окружающей застройки.

Представленный алгоритм расчета технологического влияния изготовления набивных свай вытеснения, позволяет определить давление на массив грунта, находящийся с наружной стороны контура ограждения котлована и на фундаменты вблизи расположенных зданий и сооружений. Данная методика включает в себя инженерный метод расчета с использованием решения Мелана и положений теории упругости. Предложенный инженерный подход позволяет описать в математическом виде зависимость смещения точек упругого полупространства от действия горизонтальной силы, приложенной на заданной глубине (рис.10).

Для решения задачи о совместном деформировании ограждения котлована с основанием, рассматриваемым как упругое полупространство, был предложен конечный элемент (КЭ), аппроксимирующий функцию смещения из плоскости КЭ кубическим полиномом на основе 4 узлов с одной степенью свободы.

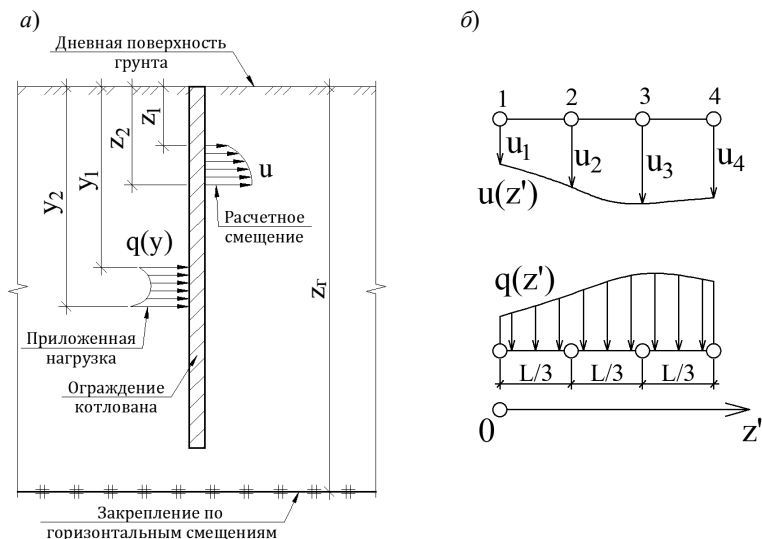


Рис. 10. Общий вид расчетной схемы для разработанного решения (а); для конечного элемента, примененного в разработанном решении (б)

Для решения этой задачи на основе применения метода Ритца к функционалу полной потенциальной энергии была получена матрица жесткости элемента для оценки деформации конструкции ограждения на изгиб (3). На основе интегрирования решения Мелана была получена матрица жесткости основания (4), при этом в данном случае все конечные элементы работают совместно (матрица жесткости системы не является разряженной).

$$A_{оп} = \frac{81 \cdot EI}{L^3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & -\frac{5}{2} & 2 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{5}{2} & 7 & -\frac{13}{2} & 2 \\ 2 & -\frac{13}{2} & 7 & -\frac{5}{2} \\ -\frac{1}{2} & 2 & -\frac{5}{2} & 1 \end{pmatrix} \quad (3);$$

$$E = \frac{-1}{\pi \cdot E} \cdot \begin{pmatrix} 2 \cdot (1 + \nu) \\ (1 + \nu) \cdot (3 - \nu) \\ 2 \cdot (1 - \nu) \cdot (1 + \nu) \\ 2 \cdot (1 - \nu)^2 \end{pmatrix}^T; \quad (7)$$

$$A_{осн} = M \times F^{-1} \quad (4),$$

где:

$$F_{i,j}(y_1, y_2, z, z_e) = (E \times \Gamma(y_1, y_2, Z_i, z_e))_j \quad (5);$$

$\Gamma(y_1, y_2, z, z_e)$  (6) – матрица, формируемая на основе интегрирования компонентов решения Мелана; (7)

$$M = \frac{L}{8} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \frac{2L}{15} & \frac{L^2}{15} & \frac{2L^3}{35} \\ 3 & \frac{3L}{5} & 0 & -\frac{6L^3}{35} \\ 3 & \frac{12L}{5} & \frac{9L^2}{5} & \frac{48L^3}{35} \\ 1 & \frac{13L}{15} & \frac{4L^2}{5} & \frac{26L^3}{35} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Как видно их графиков на рис.11 и 12, сходимость результатов расчета по предложенной методике аналитического расчета и данными геотехнического мониторинга обеспечена

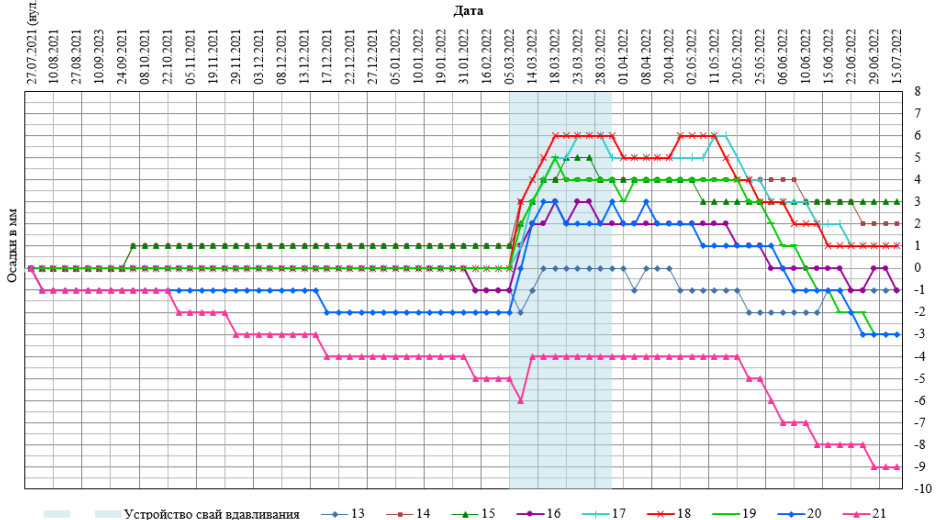


Рис. 11. Графики развития во времени дополнительных деформаций сохраняемого здания. Заливкой на графике выделен период устройства свай вдавливания

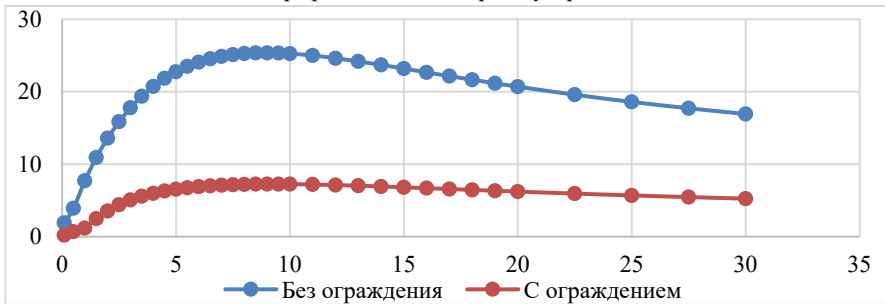


Рис. 12. График подъема массива грунта, полученный на основании результатов разработанного аналитического решения с использованием решения Мелана

Методика геотехнического обоснования строительства подземной части здания в плотной городской исторической застройке в условиях слабых грунтов с использованием численного моделирования была применена на объекте реконструкции исторического здания в центральной части Санкт-Петербурга с устройством во внутреннем дворе здания подземного пространства (рис. 13). Сложность геотехнической ситуации определялась тем, что в директивную 30-метровую зону влияния попадали здания, которые относились к объектам культурного наследия и имели аварийное состояние.

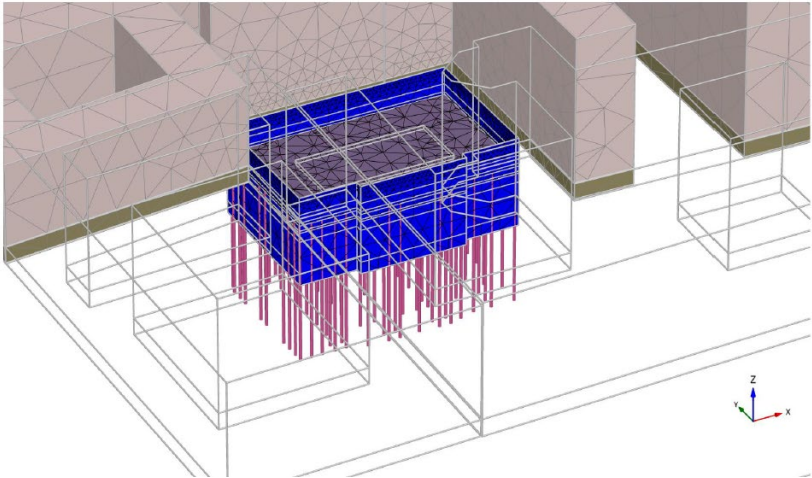


Рис. 13. Моделирование геотехнической ситуации на объекте в Санкт-Петербурге

На основе выполненного многовариантного геотехнического прогноза было предложено проведение дополнительных мероприятий по усилению основания зданий существующей застройки с применением манжетной технологии инъекционного закрепления грунтов (рис. 14), что позволило обеспечить соблюдение требований безопасности для зданий окружающей застройки, относящихся к объектам культурного наследия.

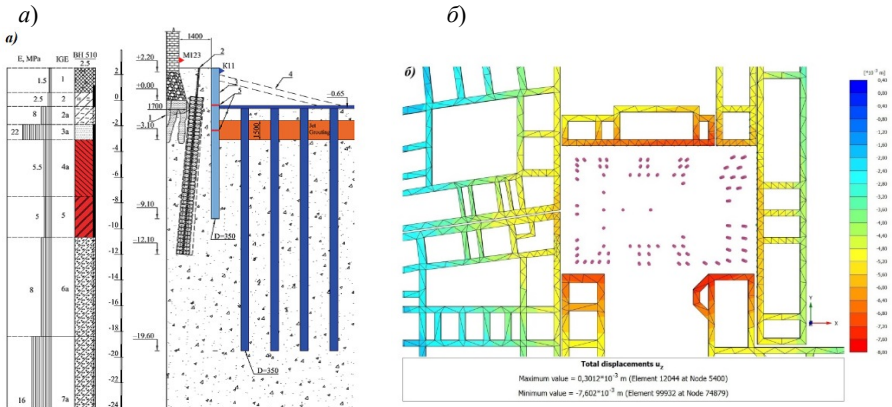


Рис. 14. Разработанные конструктивные мероприятия по усилению основания зданий существующей застройки (а), расчетные значения дополнительных осадок зданий окружающей застройки с учетом усиления фундаментов здания (б)

При этом рассматривались все возможные сценарии, которые (по геотехнической оценке) могли оказывать влияние на здания окружающей застройки. Оценка каждого фактора влияния проводилась отдельно, что позволило оценить

их долю в деформировании фундаментов зданий окружающей застройки. Результаты исследований влияния этапов подземного строительства на дополнительные осадки зданий приведены в табл.5.

Таблица 5

**Удельная доля влияния видов геотехнических работ на формирование дополнительных деформаций зданий окружающей застройки**

№ п/п	Вид работ	Среднее значение дополнительной осадки зданий окружающей застройки от влияния отдельного вида работ, %
1	Изготовление ограждения котлована	40,5
2	Устройство свай	13
3	Устройство распорной части перекрытия	6,5
4	Разработка части котлована открытым способом	12,5
6	Разработка котлована закрытым способом	6,5
7	Устройство надземной части здания	21,0

Осуществляемый геотехнический мониторинг подтвердил эффективность превентивных защитных мероприятий по минимизации дополнительных деформаций зданий окружающей застройки.

В главе 6 рассматриваются особенности выполнения геотехнических работ при реконструкции исторических зданий, анализируются причины, приводящие к необходимости усиления оснований и фундаментов зданий. В зависимости от исходных задач реконструкции предложено определять необходимый объем усиления фундаментов с частичной или полной передачей нагрузки от здания.

При частичной передаче нагрузки на конструкции усиления рекомендовано применять решения с улучшением физико-механических свойств грунтового основания реконструируемых зданий за счет инъекционного упрочнения грунтов с использованием манжетной технологии, заключающегося в подаче закрепляющего раствора на определенном рассчитанном горизонте (рис. 15).

Для указанной цели с участием автора было разработано и внедрено в практику СТО 31041820-002-2006, в котором предусмотрены основные подходы к оценке технического состояния фундаментов реконструируемых зданий, проектированию, технологическому обеспечению работ по инъекционному укреплению грунтов с использованием манжетной технологии. На рис. 16 показаны схема и фотофиксация инъекционного укрепления фундамента исторического здания с восстановлением его несущей способности.

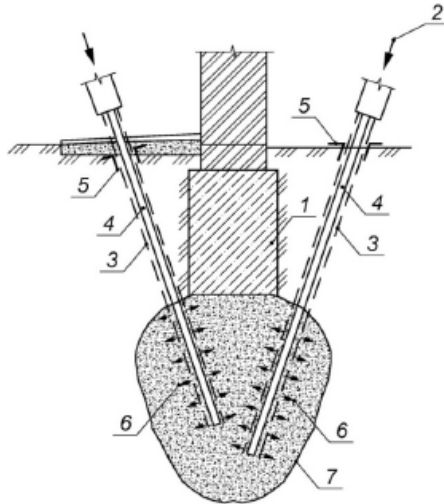


Рис. 15. Закрепление грунтов основания с использованием манжетной технологии:  
 1 – фундамент здания; 2 – линия нагнетания закрепляющего раствора;  
 3 – обойменный раствор; 4 – манжетная колонна; 5 – кондуктор;  
 6 – уровни нагнетания цементного раствора для закрепления грунта;  
 7 – грунтовый массив, закрепленный инъекцией

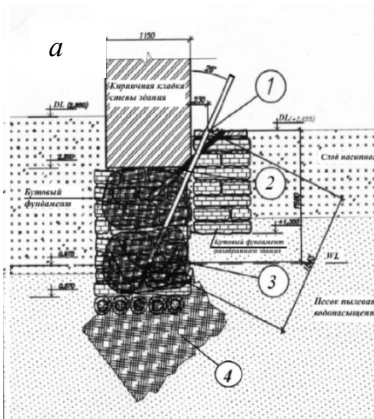


Рис. 16. Восстановление несущей способности бутового фундамента укрепительной цементацией: *а* – схема укрепления тела фундамента; *б* – вид закрепленного фундамента в шурфе (видны наплывы закрепляющего цементного раствора); 1 – иньектор для нагнетания закрепляющего раствора; 2 – бутовый фундамент; 3 – закрепленная часть фундамента; 4 – массив закрепленного грунта в зоне расположения деревянных лежней под подошвой фундамента

В главе рассмотрен механизм изменения несущей способности свай, работающих в составе ростверка существующего здания, во времени на основе экспериментальных данных, полученных при статических испытаниях свай через различные промежутки времени после их устройства. Данные исследования явились продолжением работы диссертанта по научному направлению в период работы над кандидатской диссертацией.

В лабораторных условиях установлены закономерности изменения физико-механических характеристик пылевато-глинистого грунта во времени. Отмечено, что сцепление грунта возрастает после разрушения (перематия) грунта пропорционально логарифму времени и может быть описано формулой 9:

$$C_t = C_0 + Kc \times \ln(t/t^*), \quad (9)$$

Как следует из экспериментов и их математической обработки, сопротивление сдвигу грунта после нарушения его структуры возрастает в основном за счет сцепления, в то время, как угол внутреннего трения изменяется незначительно.

При полевых испытаниях свай, длительное время находящихся в грунте, в том числе и без нагрузки, отмечено, что порог осадки сваи увеличивается во время «отдыха» и длительности нагружения сваи в конструкции пропорционально логарифму времени.

Для прогноза длительных осадок свайных фундаментов при реконструкции (надстройке) сооружений предложено выражение (10) на основе наследственной теории ползучести установленного порога осадки свай:

$$S(t) = \varphi[P(t) - P_{sr}(I)] + \int \Theta(t - \tau) df [P(\tau) - P_{sr}(T)], \quad (10)$$

**Глава 7** посвящена обоснованию принципов геотехнического мониторинга зданий, попадающих в зону влияния при подземном строительстве, на основе опыта, накопленного автором на реализованных объектах с его участием.

Разработанная структура методики геотехнического мониторинга в условиях плотной городской застройки приведена на рис. 16.

В диссертации проанализирован опыт различных конструктивных и технологических решений организации устройства подземных частей здания: комбинированного – совмещающего открытую разработку котлована и строительство методом «top-down» при различном типе ограждения котлована (в виде металлического шпунта, «стены в грунте», устраиваемой различными методами, с распорными конструкциями и без них и др.).

Геотехническое сопровождение проекта на основе комплекса численных расчетов позволяет своевременно спрогнозировать возможность возникновения нештатных ситуаций и обеспечить безопасность строящегося и сохранность окружающих зданий.

В работе анализируются влияние регулярного геотехнического мониторинга при строительстве на обеспечение безопасности выполнения подземных работ.



Рис. 16. Схема организации геотехнического мониторинга при выполнении геотехнических работ в застроенной части города

На основе опыта строительства и мониторинга многочисленных объектов предложена методика управления строительными рисками при производстве работ нулевого цикла. Геотехнические работы с учетом мониторинга по разработанной методике были успешно реализованы при реконструкции 39 объектов исторической застройки с обеспечением их сохранности и приспособлением к современному использованию.

В главе 8 раскрывается принцип комплексного научно-технического подхода к обеспечению безопасности подземного строительства с помощью системы превентивного усиления существующих зданий и сооружений, находящихся в зоне возможных рисков при выполнении геотехнических работ, а также приведена разработанная методика оценки экономического эффекта от внедрения

активного геотехнического мониторинга зданий. Проведенный автором анализ практики строительства с выполнением работ в стесненных городских условиях при наличии в непосредственной близости от площадки зданий-памятников и исторических зданий показывает, что удельные средние затраты на превентивные защитные мероприятия и выполнение работ по предотвращению влияния геотехнического строительства составляют от 0,3 до 2,5 % полной стоимости объекта строительства. Затраты на необходимые защитные мероприятия определяются инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями площадки строительства, глубиной котлована, конструкцией ограждения котлована, конструктивными особенностями подземного сооружения, применяемой технологией подземного строительства и категорией технического состояния зданий окружающей застройки и могут составлять 8,5–19,0 %.

Участие автора в технической экспертизе и разработке рекомендаций по устранению аварийных ситуаций и реализации проектов противоаварийных мероприятий на ряде объектов, выполняемых при отсутствии защитных мероприятий, позволило проанализировать и определить затраты на восстановительный ремонт и отселение жителей поврежденного здания, которые составили от 1,5 до 18 % стоимости объекта строительства. При этом потери от простоя стройки на время выполнения противоаварийных мероприятий составили от 2,1 до 19,0 % стоимости объекта строительства в зависимости от срока выполнения работ по ликвидации аварийной ситуации.

Обеспечение защитных мероприятий существующей застройки, попадающих в зону влияния подземного строительства, включает как активные, так и пассивные виды, позволяет минимизировать риски негативного влияния и обеспечивает безопасность проведения подземных работ при соответствующем расчетном обосновании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих методов геотехнического обоснования и строительства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах показал, что в условиях слабых грунтов практически все осуществляемые конструктивные решения и применяемые технологии предполагают развитие деформаций окружающей застройки. Возможные изменения НДС основания зданий и сооружений оценивается расчетным образом, но в реальных условиях значения дополнительных деформаций фундаментов зданий окружающей застройки зачастую оказываются существенно отличными от прогнозируемых.

2. Разработана комплексная методика качественной оценки степени влияния различных технологических факторов при подземном строительстве на НДС окружающего грунтового массива и фундаменты зданий окружающей застройки, уточнены методологические положения научно-технического обоснования подземного строительства, осуществляемого в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах. Методический комплекс дополнен разработанными

и внедренными в геотехническую практику устройствами для определения прочностных и деформационных характеристик грунтов, показателей механических свойств грунтов, позволяющими выполнять определение характеристик в полевых условиях, конструктивное решение разделительной стенки из буровых свай, способом возведения в грунте несущее-ограждающих противофильтрационных конструкций, позволяющей минимизировать технологическое воздействие на грунтовый массив, основания и фундаменты зданий и сооружений, попадающих в расчетную зону влияния, разработанными СТО по проектированию, изготовлению и применению набивных свай вытеснения по технологии DDS и по усилению фундаментов и упрочнению грунтов оснований с применением инъекционных технологий

3. Разработаны критерии безопасности применения конструктивных и технологических решений при подземном и геотехническом строительстве в слабых грунтах в застроенной части города, включающие в себя комплексную оценку возможных геотехнических рисков на основе численного моделирования работы конструкции в рамках геотехнического обоснования. Для минимизации технологических воздействий было разработано устройство для погружения свай, защищенное авторским свидетельством (а.с. 1604932); устройство для возведения свай (а.с. № 2049855); способ реконструкции зданий, сооружений с устройством подвалов, подземных этажей (а.с. № 2065001); способ усиления фундаментов здания, сооружения (Патент РФ № 2081245 С1).

4. Разработан и обоснован комплекс превентивных мероприятий по повышению уровня безопасности зданий окружающей застройки при устройстве фундаментов глубокого заложения и освоении подземного пространства, включающий в себя инъекционное нагнетание закрепляющих растворов в грунтовый массив основание здания с использованием манжетной технологии, что позволяет снижать влияние технологических воздействий при закреплении грунтов, осуществлять компенсационное нагнетание при необходимости регулирования деформаций фундаментов зданий (подработка при устройстве подземных выработок, воздействии глубоких котлованов, расположенных вблизи зданий и т. п.), что нашло отражение в СТО 31041820-002-2006.

5. Предложены и внедрены новые конструктивные и технологические решения конструкций ограждения котлована из касательных буронабивных свай с инъекционной шпонкой, устраиваемой под высоким давлением при помощи специальной буровой насадки (Патент RU 2378 453 С1), при котором производится устройство ограждения котлована из буронабивных или буроинъекционных свай, устанавливаемых с зазором, без сопряжения друг с другом, во избежание вибрационно-динамического воздействия на грунтовый массив. Предложенные конструктивные и технологические решения позволили минимизировать геотехнические риски при строительстве подземных сооружений и подземных частей зданий.

6. Расчетно определена возможность образования технологических подъёмов массива окружающего грунта и зданий окружающей застройки при устройстве свай вытеснения (набивных и свай вдавливания) в случае их выполнения вне границ защитной ограждающей конструкции в условиях слабых грунтов и выполнено их сравнение с предельными нормативными значениями. Установлены условия обоснованности использования предварительно выполненной конструкции разделительной стенки (геотехнического экрана) (Патент РФ № 2050066 С2 ), как компенсационного (превентивного) защитного мероприятия. Мониторинг деформаций окружающей застройки, выполненный на ряде строительных площадок показал, что устройство предварительно изготовленной разделительной стенки обеспечивает значительное уменьшение величин технологических деформаций зданий окружающей застройки при погружении свай вытеснения. Предложена и обоснована методика аналитического решения задачи определения технологического влияния свай вытеснения, выполняемых в границах замкнутого контура ограждения котлована, на дополнительные деформации грунтового массива и фундаментов зданий окружающей застройки.

7. Обоснованы принципы безопасного подземного строительства на основе результатов проводимого мониторинга деформаций зданий окружающей застройки, конструкций ограждения котлована, строящегося здания, НДС массива грунта и конструкций зданий, включающие в себя интерактивное уточнение данных, получаемых при мониторинге с проводимыми уточняющими расчетами на основе численного моделирования с целью выявления возможных рисков и последующего прогноза развития деформирования фундаментов зданий окружающей застройки и предложена схема управления строительными рисками. Научно обосновано и выполнено усовершенствование оборудования для проведения геотехнического мониторинга при измерении послойных деформаций грунтов основания (а. с. №1596015).

8. На основе проведенных исследований и практического опыта разработана методика оценки геотехнических рисков, предложена схема управления строительными рисками при производстве работ нулевого цикла, обоснованы и сформулированы требования по безопасному ведению подземных работ при реконструкции зданий и сооружений.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

**В изданиях из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук» ВАК Минобрнауки РФ опубликовано 25 статей, в том числе:**

1. **Осокин А.И.** Особенности устройства буронабивных свай в слабых грунтах (из опыта работы ЗАО «Геострой») / **А.И. Осокин**, С.В. Татаринов, А.В. Сбитнев, А.Б. Серебрякова // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 6. – С. 50-52.

2. Мацегора А.Г. Инъекционное укрепление грунтов основания фундаментов / А.Г. Мацегора, **А.И. Осокин**, В.А. Ермолаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №7. – С. 52-53.

3. Мангушев Р.А. Особенности устройства фундаментов исторических зданий Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, **А.И. Осокин** // Жилищное строительство. – 2009. – №2. – С. 46-48.

4. Бронин В.Н. Совмещенный метод разработки котлована по технологии Top-Down и открытым способом при строительстве в стесненной городской застройке / В.Н. Бронин, С.В. Татаринов, **А.И. Осокин**, О.О. Денисова // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – №3(38), СПбГАСУ. – С. 93-100.

5. **Осокин А.И.** Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки / **А.И. Осокин**, Т.Н. Шахтарина, О.О. Денисова // Жилищное строительство. – 2014. – №3. – С.16-21.

6. Мангушев Р.А. Устройство подземного пространства при реконструкции административного здания / Р.А. Мангушев, **А.И. Осокин** // Жилищное строительство. – 2014. – №9. – С. 3-9.

7. Вознесенская Е.С. Упрочнение оснований зданий и сооружений методом гидроразрыва с использованием манжетной технологии / Е.С. Вознесенская, В.А. Ермолаев, **А.И.Осокин**, С.В. Татаринов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – №6. – С. 19-24.

8. **Осокин А.И.** Система геотехнического мониторинга как средство обеспечения безопасности строительства. / **А.И. Осокин**, С.В. Татаринов, О.О. Денисова, Е.В.Макарова //Жилищное строительство. – 2014. – №9. – С.10-18.

9. **Осокин А.И.** Комплексный подход к усилению оснований и фундаментов аварийно-деформированных исторических зданий на основе инъекционных технологий./ **А.И. Осокин**, В.И. Ноздря, Х.А. Джантимиров, Ф.Н. Калач // Международный научно-практический журнал ГЕОТЕХНИКА. – Том XV. – № 3/2023, ООО «Геомаркетинг». М., 2023. – С.72-85 <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2023-15-3-72-85>.

10. **Осокин А.И.** Конструктивные и технологические решения устройства подземных сооружений на слабых грунтах в условиях плотной городской

застройки/ **А.И. Осокин** // Геотехника. – Том XV. – №4/2023. – М., 2023. – С.32-44, <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2023-15-4-32-44>.

11. Мангушев Р.А. Обеспечение безопасного строительства в условиях плотной городской застройки исторического центра г. Санкт-Петербурга с использованием мониторинга (на примере Шуваловского дворца) / Р.А. Мангушев, **А.И. Осокин**, И.П. Дьяконов, Ф.Н. Калач, И.Б. Башмаков // Геотехника.– Том XV.– №4/2023.– М., 2023.– С.44-60, <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2023-15-4-44-60>.

12. **Осокин А.И.** Опыт геотехнического мониторинга на объектах подземного строительства в слабых грунтах: особенности и определение критериев технологического риска / **А.И. Осокин**, С.В. Татаринов, А.Б. Серебрякова, Г.В. Левинтов, О.О. Денисова // Геотехника. – Том XV. – №4/2023.– М., 2023. – С.60-78, <https://doi.org/10.25296/2221-5514-2023-15-4-60-78>.

**В научных журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, опубликовано 37 статей, в том числе:**

13. Mangushev R.A. Examples of construction of deep excavation ditches in weak soil/ R.A. Mangushev, E.I. Rybnov, E.B. Lashkova, **A.I. Osokin** // Proceed.of reports 15-th World Conference of Associated research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS-2016), St.Petersburg, Russia, 2016 – pp. 305-309

14. Mangushev R.A. Experience in preserving adjacent buildings during excavation of large foundation pits under conditions of dense development / R.A. Mangushev, **A.I. Osokin**, L.V. Garnyk // Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 53. No. 5, November, 2016 (Russian Original No.5, September-October, 2016). doi:10.007/s11204-016-9401-9. Pp. 291-296.

15. Mangushev R.A. Construction of deep foundation ditch under a reconstructed multi-stories building on the main avenue of St. Petersburg / R.A. Mangushev, **A.I. Osokin** // Transportation Geotechnics and Geoecology, TGG 2017, 17-19 May 2017, Saint Petersburg, Russia. Pp. 623-629.

16. Mangushev R.A. Practical restoration-related experience with creation of basement level and underground parking into and near architectural monuments in downtown of Saint-Petersburg / R.A. Mangushev, **A.I. Osokin** // Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019) – 19.11.2019. Vol. 775. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – Samara, Samara State Technical University, Russian Federation, 2020. Pp. 1-15.

17. Mironov D.A. Specific features of diaphragm wall construction / D.A. Mironov, **A.I. Osokin**, E.S. Loseva, A.I. Kuzhelev // Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019) – 19.11.2019. Vol. 775, IOP Conf. Ser.: Mater. SCI. Eng.– Samara, Samara State Technical University, Russian Federation, 2020. – 16 p.

18. **Osokin A.I.** Value of additional vertical deformations of foundations depending on injection grouting conditions / **A.I. Osokin**, F.N. Kalach, I.P. Diakonov, N.V. Remizova // Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural

and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019) – 19.11.2019. Vol. 775, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.– Samara, Samara State Technical University, Russian Federation, 2020. – 16 p.

19. **Osokin A.** Determination of the bending moment in the diaphragm wall by inclinometric observations/ **A. Osokin**, M. Paramonov, I. Diakonov, I. Bashmakov // E3S Web of Conference 371,020154 (2023) AFE-2022 <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202337102015>.- pp.1-11.

20. **Osokin A.I.** Features of the application of pile technologies in restrained urban conditions in the historical downtown of Saint-Petersburg on the soft soils / **A.I. Osokin** // Smart Geotechnics for Smart Societies. Proceeding of the 17<sup>th</sup> Asian regional on soil mechanics and geotechnical engineering conference (17ARC),Astana, Kazakhstan,14-18 August 2023, CRC Press, 2023. – Pp. 1538-1543. [http// doi: 10.1201/9781003299127-226](http://doi.org/10.1201/9781003299127-226).

21. Mangushev R.A. Control of technological processes during underground construction in the historical center of megacities in weak soil using interactive geotechnical monitoring / R.A. Mangushev, **A.I. Osokin**, I.P. Diakonov // Proc. of the XVIII ECSMGE 2024, Lisbon, Portugal, 2024. – Pp. 1801-1806.

### **Монографии**

22. Мангушев Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, **А.И. Осокин**. – М.: Из-во АСВ, 2010.– 264 с.

23. Мангушев Р.А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах /Р.А. Мангушев, **А.И. Осокин**, Р.А. Усманов.– СПб.: Изд-во «Лань», 2018.– 460 с.

24. Мангушев Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах / Р.А.Мангушев, **А.И. Осокин**, С.Н. Сотников. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 386 с.

25. Улицкий В.М. Способы сохранения памятников архитектуры и реконструируемых зданий на сваях и деревянных лежнях / В.М. Улицкий, **А.И. Осокин**. – Л.: ЛДНТП, 1990. – 34 с.

**По теме диссертации оформлено 16 авторских свидетельств СССР на изобретение и патентов РФ, в том числе:**

26. А. с. 1604932 МКИ E02 Д 7/20. Устройство для погружения свай. / Р.А. Мангушев, А.Ф. Питулько, **А.И. Осокин**. Зарегистрировано в Гос. Реестре изобретений СССР. //Бюл. № 41 от 07.11.1990 г.

27. А. с. № 1596015, МКИ E02 Д 1/00. Устройство для измерения послойных деформаций грунта. / А.В. Голли, А.А. Кисляков, **А.И. Осокин**, Ф.А. Шахрур. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений СССР. // Бюл. № 36 от 30.09.1990 г.

28. А. с. № 1675485, МКИ E 02 Д 1/00. Устройство для определения прочностных и деформационных характеристик грунтов. / В.Н. Бронин, С.В. Татарин, **А.И. Осокин**. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений СССР. // Бюл. № 33 от 07.09.1991 г.

29. А. с. № 1715955, МКИ Е 02 Д 1/00. Устройство для определения показателей механических свойств грунта. / В.Н. Бронин, Л.К. Пронев, **А.И. Осокин**. Зарегистрировано в Гос. реестре изобретений СССР. // Бюл. № 8 от 29.02.1992 г.

30. Патент РФ № 2050066 С2 (94 007 986) МКП Е 02 D 31/08, 5/20 Разделительная стенка. / В.Н. Бронин, **А.И. Осокин**, Р.Я. Хурамшин // Бюл. №34 от 10.12.1995 г.

31. Патент РФ № 2378453 С1 МПК E02D 5/20. Способ возведения в грунте несущее-ограждающих противифльтрационных конструкций и устройство для его осуществления. /В.В. Верстов, А.Г. Мацегора, **А.И. Осокин**, В.Б. Иванищев // Бюл. № 1 от 10.01.2010 г.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 13.03.2025. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,5. Тираж 150 экз. Заказ 26.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А