

На правах рукописи



Гайдо Антон Николаевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ
СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ
РАБОТ В ГРУНТАХ
ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**

Специальность 05.23.08 –
Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный консультант:	доктор технических наук, профессор, почетный строитель России, почетный член РААСН Верстов Владимир Владимирович
Официальные оппоненты:	Ватин Николай Иванович доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», высшая школа промышленного гражданского и дорожного строительства, профессор; Пономарев Андрей Будимирович доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра строительного производства и геотехники, заведующий; Прозин Яков Александрович доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», кафедра строительного производства, профессор.
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)».

Защита диссертации состоится «08» июня 2021 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.07 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).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

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

Автореферат разослан «20» апреля 2021 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
Д 212.223.07,
кандидат технических наук,
доцент



Конюшков Владимир Викторович

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Практика строительства в современных условиях характеризуется возрастающими объемами возведения многоэтажных и высотных зданий, а также заглубленных инженерных сооружений специального назначения, в том числе на акваториях. Отличительные особенности таких зданий и сооружений – передача значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок на грунт основания, а также наличие развитой подземной части.

При этом в сложных инженерно-геологических условиях особую значимость приобретают вопросы, связанные с производством специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведение перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружение опускных колодцев).

При производстве специальных работ в грунтах возводят свайные фундаменты, позволяющие компенсировать неравномерные осадки и крены на разнородных по плотности основаниях через варьирование количества и расположения элементов, а также подбор их длин и поперечных размеров. Кроме того, возникает необходимость решать проблемы возведения ограждающих конструкций котлованов, глубина которых может достигать 15–20 м. Такие конструкции должны служить водограунтонепроницаемой преградой при высоком уровне грунтовых вод, а также иметь достаточную жесткость для восприятия давления прилегающего массива грунта и временных нагрузок, возникающих от движения строительной техники, площадок складирования и т. п. Устройство котлованов больших объемов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния грунта, просадкам его поверхности и деформациям конструкций зданий, прилегающих к строительной площадке.

Анализ практического опыта устройства фундаментов и ограждений котлованов и научных публикаций в этой области показал, что в настоящее время применяют широкую номенклатуру конкурентных технологий производства специальных работ в грунтах. К таким технологиям относятся устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов с системами их крепления и погружение опускных колодцев. В тех или иных инженерно-геологических условиях технологии проявляют как положительные, так и отрицательные качества, включая влияние на конструкции соседних зданий и сооружений. В этой связи выбор и разработка рациональных способов производства специальных работ в грунтах представляют собой важную проблему. Однако в известных научных публикациях и нормативной литературе с позиций производства работ не в полной мере рассматриваются методические подходы для решения этой проблемы.

С учетом изложенного следует, что создание методологии обоснования выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по целой совокупности факторов (производительности, качеству, стоимости, безопасности для окружающей застройки и т. п.) приобретает важное значение на стадии проектирования объекта в целом и выполнения работ в частности.

Степень разработанности проблемы. Вопросы совершенствования конструктивно-технологических решений специальных работ в грунтах рассмотрены в работах Абелева Г. Г., Азбеля Г. Г., Алексева С. И., Бадина Г. М., Баркана Д. Д., Бартоломея А. А., Бахолдина Б. В., Белаш Т. А., Блехмана Н. И., Бройда И. И., Верстова В. В., Вершинина В. П., Долматова Б. И., Джантимирова Х. А., Ильичева В. А., Каложнюка М. М., Клейна Г. К., Ковалевского Е. Д., Лускина А. Я., Мангушева Р. А., Новожилова Г. Ф., Никифоровой Н. С., Нуждина Л. В., Парамонова В. Н., Перлея Е. М., Перминова Н. А., Петрухина В. П., Полищука А. И., Пономарева А. Б., Пронозина Я. А., Ренгача В. Н., Рудь В. К., Савинова О. А., Сахарова И. И., Симагина В. Г., Скибина Г. М., Сорочана Е. А., Сотникова С. Н., Татарникова Б. П., Тер-Мартirosяна З. Г., Уздина В. М., Улицкого В. М., Фадеева А. Б., Фрейдмана Б. Г., Цейтлина М. Г., Шашкина А. Г., Auvinet Gabriel, Briad J.-L., Davies Michael, Frank R., Pinto A., Sêco e Pinto Pedro, Schreppers G., Taylor Neil, Terzariol Roberto E., Van Impe W. F., Vaníček I., Zhussupbekov A. и др.

Исследованиям вопросов структуры и методик расчетов показателей эффективности (технологичности) выбора и совершенствования различных строительных технологий посвящены работы Абрамова Л. И., Азгалдова Г. Г., Атаева С. С., Афанасьева А. А., Байбурина А. Х., Борисова М. Н., Болотина С. А., Бирюкова А. Н., Булгакова С. Н., Гмошинского В. Г., Гусаква А. А., Завадскаса Э. К., Король Е. А., Лapidуса А. А., Лихачева В. Д., Лысова В. П., Монфреда Ю. Б., Олейника П. П., Пелдшуса Ф. Ф., Прыкина Б. В., Сычѐва С. А., Теличенко В. И., Фокова Р. Н., Шрейбера А. К., Штоля Т. М., Arrou K. J., Blanc S., Fishbern P. S., Hwang C. L., Kelley J. S., Lin N. J. и др.

В работах указанных авторов подняты и исследованы различные вопросы, возникающие при проектировании и производстве специальных работ в грунтах. Даны рекомендации по выбору конструктивно-технологических параметров способов для различных инженерно-геологических условий площадок строительства. В работах Мангушева Р. А., Парамонова В. Н., Сахарова И. И., Улицкого В. М., Bishop A. W., Baxter D. J., Chin F. K., Van Impe W. F. и других авторов рассмотрены вопросы обеспечения безопасности конструкций зданий и сооружений при устройстве вблизи них свайных фундаментов и ограждений, погружении опускных колодцев с применением различных технологий.

Вместе с тем не в полной мере представлены методологические подходы к выбору эффективных способов производства специальных работ

в грунтах и обоснованию их параметров; не исследованы вопросы создания обобщенного, относительно универсального научного подхода к достижению указанной цели для различных инженерно-геологических условий.

В ходе диссертационного исследования нами установлено, что наиболее достоверно эту проблему следует решать на основе расчетов критериев технологичности.

Под критерием технологичности автор понимает комплексную количественную характеристику разнородных свойств способов производства специальных работ в грунтах, позволяющую в единой оценочной шкале определять сравнительную эффективность их применения в различных инженерно-геологических условиях строительных площадок, включая их стесненность.

Цель и задачи исследования. Цель работы заключается в создании научных основ и методологии выбора параметров эффективных способов производства специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведение перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружение опускных колодцев) на основе расчетов и сравнения численных значений критериев технологичности для сложных инженерно-геологических условий, в том числе для плотной городской застройки и акваторий.

В целях достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Выявить технологические приемы, характерные для современных способов производства специальных работ в сложных инженерно-геологических условиях, а также в условиях плотной городской застройки и акваторий.

2. Обосновать эффективность применения интегрального критерия технологичности как комплексной количественной характеристики различных свойств таких способов.

3. Установить структуру критерия технологичности в виде совокупности обобщенных групп разнородных показателей; получить значения их коэффициентов весомости на основе экспертных оценок в зависимости от расположения площади строительства относительно существующей застройки.

4. Разработать алгоритм количественной оценки показателей надежности и качества работ в составе критерия технологичности для различных условий их реализации.

5. Составить и формализовать математическую модель оптимизации параметров способов производства специальных работ в грунтах с учетом целевой функции – критерия технологичности.

6. На основе разработанной методики построить зависимости изменения критериев технологичности современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов для различных инженерно-геологических условий.

7. На базе анализа значений критерия технологичности обосновать способы погружения свай и обсадных труб в условиях, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств.

8. Основываясь на полученных зависимостях, определить области применения ограждений котлованов из стального шпунта при необходимости его заглубления в плотные грунты.

9. С учетом анализа критериев технологичности усовершенствовать способ возведения перемычек на акваториях из стальных тонкостенных облочков большого диаметра.

10. Предложить и обосновать рациональные технологические решения в части совершенствования способа возведения опускных колодцев и создания эффективных систем защиты сооружений от динамического воздействия, распространяющегося в грунте.

11. Разработать технологические регламенты и нормативные документы, обеспечивающие апробацию представленных решений; провести реализацию предложенных методик в практике строительства, а также выполнить экономическую оценку технологических решений, предложенных в ходе научных изысканий.

Объект исследований: способы производства специальных работ в грунтах: устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведение перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружение опускных колодцев.

Предмет исследований: методология обоснования выбора параметров эффективных способов производства специальных работ в грунтах, подкрепленная анализом результатов расчетов критериев технологичности.

Методология и методы исследования:

1) математическое описание алгоритма расчета критерия технологичности;

2) многофакторный и системный анализ;

3) обоснование структуры критерия технологичности с учетом методологических основ квалиметрии и экспертных оценок;

4) оценка показателей надежности и качества работ в составе критерия технологичности посредством генеральных определительных таблиц.

Информационно-эмпирическая база исследований основана на данных анализа научных публикаций, нормативных документов, электронных баз патентов, результатов опыта работ на реальных объектах строительства (научно-технические заключения, исполнительная документация, результаты инженерно-геологических изысканий и мониторинга; экспертные опросы).

Область исследований соответствует паспорту специальности 05.23.08, который предусматривает:

1) прогнозирование и оптимизацию параметров технологических процессов и систем организации строительства и его производственной

базы, повышение организационно-технологической надежности строительства (п. 1);

2) разработку конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительного-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации (п. 2);

3) теоретические и экспериментальные исследования эффективности технологических процессов; выявление общих закономерностей путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений (п. 4).

Научная новизна исследований:

1. Доказана эффективность и создана методология расчетов критерия технологичности в целях обоснования эффективных областей применения современных способов производства специальных работ в грунтах в различных инженерно-геологических условиях строительных площадок.

2. Разработан алгоритм оценки показателей надежности и качества способов посредством генеральных определительных таблиц (ГОТ).

3. Исследованы зависимости и получены аналитические выражения изменения критерия технологичности этих способов в различных инженерно-геологических условиях, позволившие обосновать эффективные области их применения и направление их совершенствования.

4. На основе анализа критериев технологичности предложены режимы погружения свайных элементов и обсадных труб в случаях, когда сопротивление прослойки грунтов превышает погружающую способность технических средств.

5. Экспериментально подтверждена эффективность виброударных режимов, обеспечивающих заглубление стального шпунта в плотные грунты.

6. Исходя из анализа критериев технологичности разработаны решения, обеспечивающие надежность конструкций перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра, а также определены параметры их виброударного заглубления в плотный грунт дна акватории.

7. Посредством предложенной методики расчета критериев технологичности установлены перспективные пути совершенствования технологии погружения опускных колодцев в условиях городской застройки.

8. На основании ранжирования значений критериев технологичности предложен инновационный способ устройства систем защиты сооружений от негативного действия динамических возмущений в грунте. Представлена математическая модель снижения уровня интенсивности возмущений в грунте устройствами с гидравлическими демпферами.

Личный вклад автора: постановка задачи исследований; разработка методики расчета критерия технологичности для обоснования эффективных способов производства специальных работ в грунтах; создание программы для ЭВМ, реализующей полученный алгоритм; выполнение расчетов

критериев технологичности современных способов; обработка, анализ и обобщение результатов, а также формулирование выводов и практических рекомендаций.

Достоверность и обоснованность результатов: подтверждается современными методами исследований и обработки их результатов; сходимостью теоретических результатов и экспериментальных данных; проведением экспериментальных исследований с использованием поверенного оборудования; положительным опытом апробации и внедрения предлагаемых методик.

Теоретическая значимость работы: заключается в создании методологии выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах на основании расчетов критериев технологичности для различных инженерно-геологических условий.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке:

1) методики расчета критерия технологичности, реализованной в программном комплексе, позволяющей учитывать разнородные параметры современных способов производства специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов; возведение перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий; погружение опускных колодцев);

2) методики оценки показателей надежности и качества работ в составе критерия технологичности, выполняемой посредством генеральных определительных таблиц;

3) зависимостей изменения критериев технологичности анализируемых способов производства специальных работ в грунтах для различных инженерно-геологических условий строительства и конструктивных особенностей возводимых зданий и сооружений;

4) технологических режимов погружения свай и обсадных труб в условиях, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств;

5) алгоритма определения критериев технологичности способа виброударного заглубления стального шпунта в плотные грунты;

6) способов устройства устойчивых и водогрунтонепроницаемых перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра;

7) технологии устройства систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте.

Внедрение. Полученные результаты и предложенные методики реализованы при строительстве целого ряда зданий и сооружений различного назначения в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. В результате внедрения достигнуты технический, экономический и социальный эффекты.

Полученные результаты использованы при разработке нормативно-технических документов, которые утверждены НТС НИИОСП им. Н. М. Герсевича АО «НИЦ “Строительство”», ООО «Строительный трест № 28» и другими специализированными строительными организациями. Эти документы содержат указания по выбору эффективных технологических решений при устройстве свайных фундаментов и ограждений котлованов, перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружении опускных колодцев, составлении проектов производства работ, контроле качества работ.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: совещания и семинары 65–68-й научных конференций профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2008–2011 гг.); 64-й Международная научно-техническая конференция молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов, посвященная 300-летию со дня рождения М. В. Ломоносова (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2011); 65-я Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современного строительства», посвященная 180-летию СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2012); Международный конгресс, посвященный 180-летию СПбГАСУ «Наука и инновации в современном строительстве» (Санкт-Петербург, 2012); II Международный конгресс молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» с участием студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов, а также молодых специалистов строительных и проектных организаций (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2013); Международная научно-техническая конференция «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2013); 70-я Научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2014); всероссийская конференция с международным участием «Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства» (Пермь, 2014); международная конференция по геотехнике TC207 ISSMGE «Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2014); международная конференция «Организация и управление безопасностью движения в больших городах» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2018); региональный научный семинар «Обсуждение стандарта “Современные технологии погружения свай вдавливающими установками”» (Санкт-Петербург, 2019); международная научно-техническая конференция «Фундаментальные и прикладные вопросы геотехники: новые материалы, конструкции, технологии и расчеты» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2019); международная научно-практическая конференция «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2019).

На защиту выносятся:

1. Методология расчета критерия технологичности для обоснования и сравнительной оценки эффективных способов производства специальных работ в сложных инженерно-геологических условиях и в рамках плотной городской застройки.

2. Методология оценки показателей надежности и качества работ в составе критерия технологичности на основе их количественного анализа с использованием генеральных определительных таблиц.

3. Закономерности изменения критериев технологичности способов устройства свайных фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях и при плотной городской застройке; оптимальные параметры погружения свай и обсадных труб при сопротивлении грунтов, превышающем погружающую способность технических средств.

4. Рациональные области применения различных технологий устройства ограждений котлованов для конкретных условий строительных площадок.

5. Методология назначения эффективных технологических решений производства специальных работ в грунтах.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 36 работах: в 21 издании, рекомендованном ВАК для публикации результатов диссертации на соискание ученой степени доктора наук; в четырех изданиях, индексируемых международными реферативными базами *Scopus*; в семи патентах; свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ; в трех монографиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 225 наименований и приложений. Работа изложена на 338 страниц основного текста. В приложениях приведены материалы, отражающие данные практического использования результатов исследования.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обоснована актуальность темы исследования; приводятся сведения о примененных методах исследований и достоверности полученных результатов; раскрываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также приводятся сведения об апробации результатов исследования.

Глава 1 содержит обзор применения современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов и систем их креплений. Автором показано, что в настоящее время применяют широкую номенклатуру конкурентных технологий, в том числе получаемых комбинацией различных способов.

Выявлены технологические параметры, характерные для различных способов, применяемых в сложных инженерно-геологических условиях и при плотной городской застройке. Причем необоснованный выбор способов влечет за собой различные осложнения в виде снижения несущей способности свай, потери устойчивости элементов ограждения, а также развитий деформаций конструкций соседних зданий и сооружений.

В этой связи был сделан практически важный вывод о необходимости применения специальных методик, которые позволят проводить обоснование и выбор эффективных способов на основе единых количественных критериев.

Для этого с позиций принципов квалиметрии была проанализирована современная нормативно-техническая и методическая база, а также изучены научные труды в области обоснования и выбора технологических параметров. Методологические основы многокритериальной квалиметрической оценки представлены в работах Болотина С. А. При этом установлено, что единого подхода для выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах не существует. Показано, что для указанных целей необходимо выполнять расчет и анализ значений критерия технологичности J_i как комплексной количественной характеристики разнородных качеств способов.

Показано, что расчеты критерия J_i следует выполнять с позиций системного подхода в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки, инженерно-геологических условий, требований обеспечения биосферной безопасности, конструктивных параметров свайных фундаментов или ограждений котлованов и т. п. Структура интегрального критерия представлена на рисунке 1.

Структура затрат	Трудоемкость	x_{11-1}	Базовые показатели, m_{11}	Обобщенный критерий производственной группы, m_1
	Сменная производит.	x_{11-2}		
	Количество единиц техники	x_{11-3}		
	Длина элемента	x_{12-1}	Показатели обеспечения	
	Удельная несущая способность	x_{12-2}	проектных параметров, m_{12}	
	Требуемая площадь участка работ	x_{13-1}	Показатели эффективности при работе в стесненных условиях, m_{13}	
	Характеристики машин	x_{13-2}		
	Показатели увелич. трудоемкости	x_{13-3}		
	СМР	x_{21}	Технико-экономические критерии, m_2	
	Материалы	x_{22}		
	Используемые средства механизации	x_{23}		
	Дополнительные технологические затраты	x_{24}		
	Показатели обеспечения экологической и промышл. безопасности	x_{31}	Критерии надёжности и качества работ, m_3	
	Обеспечения качества в слабых грунтах	x_{32}		
	Возможности работы в плотных грунтах	x_{33}		
По степени влияния на конструкции существующих зданий	x_{34}			
По уровню воздействия на НДС массива грунта и достижению необходимой несущей способности	x_{35}			
			Интегральный критерии технологичности, J_i	

Рисунок 1 – Структура интегрального критерия технологичности

Представленная на рисунке 1 схема описывается в матричной форме:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\} \\ m_2 \{k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}\} \\ m_3 \{k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34}\} \end{array} \right\} \rightarrow J \{K_1, K_2, K_3\}, \quad (1)$$

где k_{ij} , K_i – соответственно коэффициенты весомости простых показателей и их обобщенных групп, которые определяют экспертными методами.

Критерий J_i можно выразить в виде функционала:

$$J_i = v F(m_1; m_2; m_3), \quad (2)$$

где $m_1 = F(m_{11}; m_{12}; m_{13})$; $m_2 = F(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$; $m_3 = F(k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34})$; v – коэффициент вето, определяемый с учетом соответствия рассматриваемого способа параметрам надежности и качества.

Задача совершенствования и обоснования способов заключается в анализе изменчивости системы с учетом целевой функции, представляющей собой следующее математическое выражение:

$$F(m_1 \{m_{11}(x_{11-1}, x_{11-2}, x_{11-3}), m_{12}(x_{12-1}, x_{12-2}), m_{13}(x_{13-1}, x_{13-2}, x_{13-3})\}; m_2 \{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}; m_3 \{k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34}\}) \rightarrow \text{extr}_{F \rightarrow \max} \rightarrow m_1^0; m_2^0; m_3^0, \quad (3)$$

где m_1^0 ; m_2^0 ; m_3^0 – оптимальные группы показателей (по критерию $F \rightarrow \max$) в заданных условиях функционирования системы.

Глава 2 посвящена исследованию структуры критерия J_i как совокупности обобщенных групп разнородных показателей, полученных на методологических принципах квалиметрии.

Для оценки параметров технологичности каждого способа необходимо, чтобы все переменные определялись в соизмеримых показателях: интегральный $0 \leq J_i \leq 1$; обобщенный $0 \leq m_i \leq 1$; дифференциальный $0 \leq m_{ij} \leq 1$. Поэтому все частные показатели x_{ij} преобразуются в безразмерные величины по формулам

$$m_{ij} = x_{ij} / x_i^{\max}; \quad (4)$$

$$m_{ij} = x_i^{\min} / x_{ij}. \quad (5)$$

Формула (4) применяется, когда увеличение рассматриваемого показателя ведет к увеличению обобщенного; в противном случае применяется выражение (5).

Обобщенный и интегральный критерии рассчитываются по формулам

$$m_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} k_j, \quad J_i = v \sum_{i=1}^n m_i K_i. \quad (6)$$

Для коэффициентов весомости должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n K_i = 1. \quad (7)$$

Указанная математическая модель реализована в алгоритме, представленном на рисунке 2.

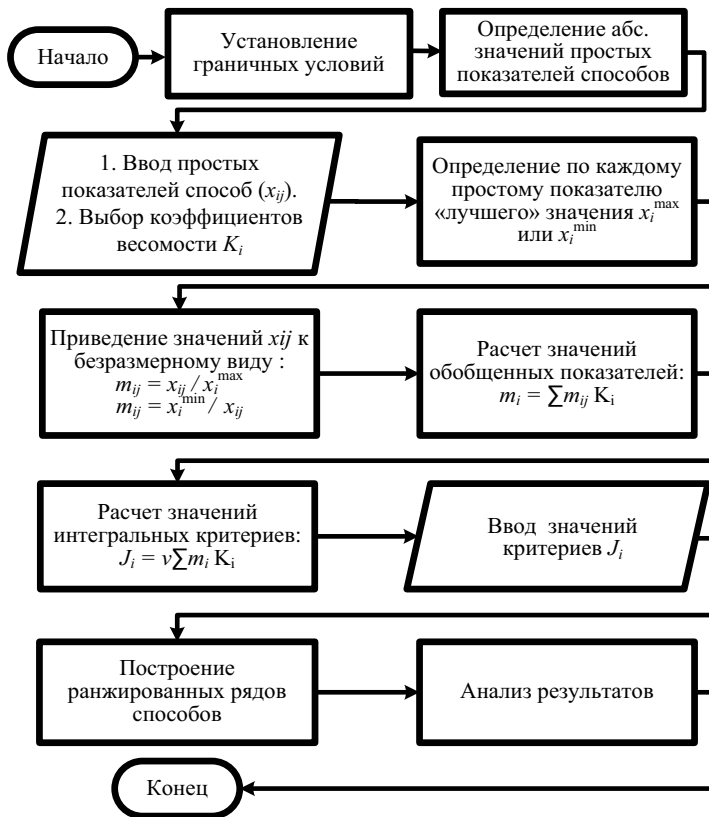


Рисунок 2 – Алгоритм расчета значений критериев J_i

Для учета показателей надежности и качества работ в составе критерия J_i разработана методика их количественного анализа посредством генеральных определительных таблиц (ГОТ). На ее основании нами получен алгоритм количественной оценки показателей способов для различных условий их реализации.

Для достаточной достоверности ГОТ представлены в виде квадратной матрицы, строки которой отображают оценку анализируемых технологий в виде выставляемых баллов в пределах от 1 до 5. Окончательная

скорректированная оценка j_{OK} получается в результате умножения базисного значения выставяемых оценок на функцию, нормирующую весомость характеристик:

$$j_{OK} = j_i \cdot \varphi(i). \quad (8)$$

Далее с учетом полученных расчетных значений оценок j_{OK} определяют коэффициент эффективности применения K_{PP} , характеризующий эффект от применения рассматриваемых способов. Коэффициент K_{PP} определяется по формуле

$$K_{PP} = \frac{q}{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} j \cdot \varphi(i)}{n \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i)}, \quad (9)$$

где q , Q – соответственно фактическая и максимальная из возможных сумма оценок рассматриваемой технологии. При этом максимальная сумма оценок при $n = 5$ составляет: $Q = 5 \sum_{i=1}^{i=5} \varphi(i) = 5 \cdot 3,56 = 17,8$.

Коэффициент K_{PP} рассчитывается по формуле (9). В интервале от 0 до 1,0 он позволяет преобразовать качественную информацию, характеризующую способ, в безразмерную количественную величину, удобную для дальнейшего анализа. Пример такой ГОТ для оценки характеристик способов с позиций обеспечения экологической и промышленной безопасности приведен в таблице 1.

Таблица 1 – ГОТ соответствия способов условиям обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ

№	Наименование характеристик, $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные, j	Расчетные, J_{OK}
p_1	Способ не удовлетворяет условиям экологической и промышленной безопасности	1	0
p_2	Производство работ сопровождается шумовыми и ударными воздействиями	2	2
p_3	В ходе работ возникает постоянная необходимость в утилизации отходов в виде бурового шлама, грунта и т. п.	3	0

Окончание табл. 1

№	Наименование характеристик, $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные, j	Расчетные, $J_{ок}$
p_4	При производстве работ возникают ограничения жизнедеятельности граждан (перекрытие существующих территорий проездов и проходов, частичное выселение и т. п.)	4	0
p_5	Обеспечивает приемлемый уровень безопасности: бесшумность и отсутствие негативного воздействия на соседние здания, грунты, биосферу (отсутствие сотрясения, подмывов, загрязнений территории и т. п.)	5	0
–		Итого	2
–	Сумма всех оценок (итога), q		2
–	Возможный максимум оценок, Q		5
–	Значения коэффициента $K_{пр}$, q / Q		0,4

С учетом изложенного, для проведения экспертных опросов в целях определения значений коэффициентов весомости была сформирована группа экспертов и выполнена оценка их компетентности по различным показателям.

В результате при оценке выборки, в которой установлено свыше трех показателей, был применен метод расстановки приоритетов – парных сравнений. Это позволило выполнить сокращение маловажных показателей.

В итоге были получены следующие распределения весомости показателей обобщенных групп в составе критерия J_i (рисунок 3).

На основании математической обработки данных, представленных на рисунке 3, были получены следующие выражения, позволяющие задавать значения коэффициентов весомости:

- производственных показателей:

$$K_i = 0,24L^{0,004L}; \quad (10)$$

- то же, технико-экономических:

$$K_i = 1 / (7,59 - 0,30L + 0,004L^2); \quad (11)$$

- то же, надежности и качества работ:

$$K_i = 0,603 - 0,015L. \quad (12)$$

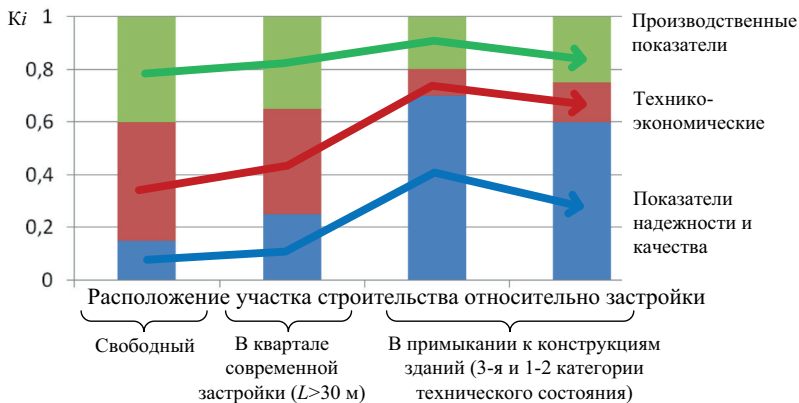


Рисунок 3 – Значения коэффициентов весомости групп показателей:
 L – расстояние от точки работ до существующих зданий

Указанные подходы реализованы в алгоритме, который позволил разработать программу для ЭВМ, автоматизирующую выбор способов производства специальных работ в грунтах (свидетельство о государственной регистрации программы № 2015663197 от 14.12.2015. Автор Гайдо А. Н.).

В главе 3 представлены зависимости изменения критерия J_i способов устройства свайных фундаментов, а также приведено обоснование режимов погружения элементов в условиях, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств.

С помощью разработанного программного комплекса автором были выделены следующие условия работ, возникающие на различных строительных площадках, для которых требуется определить эффективные области применения различных способов:

- по конструктивным параметрам возводимого свайного фундамента (расчетным нагрузкам, передаваемым на свайный элемент, длине, сечению и т. п.);
- инженерно-геологическим особенностям площадки строительства: наличию залегания слабых водонасыщенных грунтов, прослоев различной мощности плотных грунтов;
- удаленности площадки строительства относительно кварталов существующей застройки;

• степени стесненности строительной площадки, в том числе наличие препятствий для размещения и работы средств механизации и дополнительного оборудования.

Для указанных условий получены различные графики изменения критерия J_i и математические выражения, которые позволяют в практических условиях обосновывать рациональные области применения способов и выполнять их оптимизацию. Пример таких графиков в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки приведен на рисунке 4. На основании их статистической обработки автором получены математические выражения, описывающие с достаточной для практики точностью изменение критерия J_i в зависимости от расстояния L .

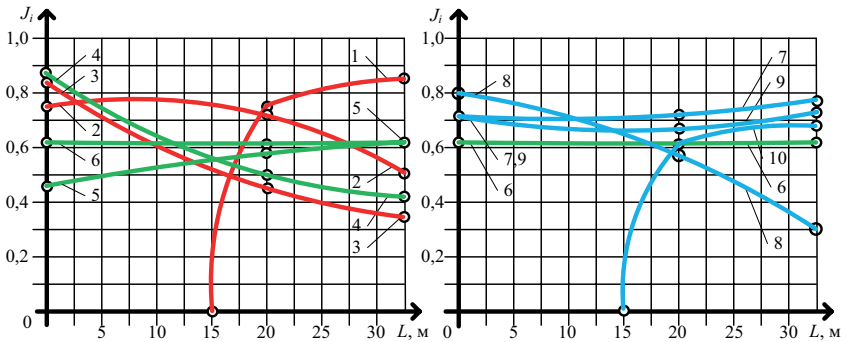


Рисунок 4 – Изменение критерия J_i в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки:

1 – забивка свай заводского изготовления:

$$J_i = (0,74L - 7,13) / (1 - 0,17L + 0,01L^2);$$

2 – то же, вдавливание в целик: $J_i = 0,75 + 0,01L - 0,001L^2$;

3 – то же, в разрыхленный грунт: $J_i = 0,84 \cdot 0,97^L$;

4 – устройство буровых свай с промывкой ствола скважин глинистым раствором: $J_i = 0,87 \cdot 0,97^L$;

5 – то же, проходными шнеками: $J_i = 0,46 + 0,005L$;

6 – то же, за счет бурения шнеком в обсадной трубе: $J_i = 0,62 - 0,001L$;

7 – набивные сваи с теряемым наконечником: $J_i = 0,70 + 0,002L$;

8 – то же, в предварительно пробуренные скважины: $J_i = 0,82 - 0,02L$;

9 – то же, с вытеснением грунта: $J_i = (170,9 - 3,21L)^{-0,07}$;

10 – забивкой обсадных труб: $J_i = (0,42L - 6,33) / (1 - 0,18L + 0,01L^2)$.

В таблице 2 приведены распределения значений критерия J_i способов для различных условий строительства.

Таблица 2 – Значения критерия J_i способов устройства свайных фундаментов

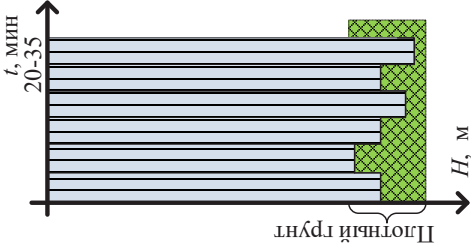
Способ	Значения критерия J_i для различных условий			
	Городская застройка	Свободные территории	Напластования слабых грунтов	Заглубление в слои плотных грунтов
Забивка свай заводского изготовления	0–0,2	0,85	0,85	0,95–1,0
То же, вдавливанием в целик	0,75	0,50	0,85	0,5–0,7
Устройство набивных свай с забивкой обсадных труб	0–0,2	0,75	0,75	0,90
То же, вкручиванием	0,7–0,75	0,75	0,75	0,5–0,7
Устройство буровых свай с использованием шнеков	0,45–0,5	0,60	0,55	0,90
То же с заполнением ствола скважин глинистым раствором	0,8–0,9	0,45	0,69	0,5–0,7

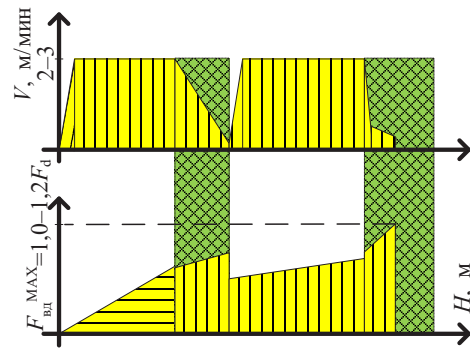
Эти значения критериев J_i имеют существенный практический смысл при выборе способов согласно их сравнительной эффективности для различных инженерно-геологических условий.

С учетом анализа представленных значений и причинно-следственных связей способов, представленных на рисунке 2, установлено, что их совершенствование следует выполнять в направлении повышения качества характеристик в различных геологических разрезах. Ограниченную эффективность имеют технологии с заглублением свайных элементов и обсадных труб в плотные породы, сопротивление которых превышает погружающую способность различных технических средств.

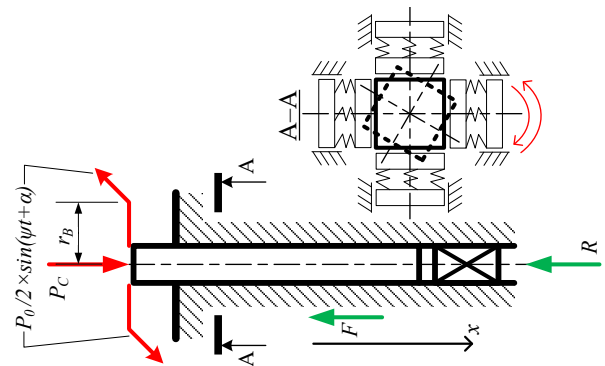
В этой связи на основании анализа значений J_i обоснованы следующие технологии, режимы которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Совершенствование способов при сопротивлении грунтов, превышающем погружающую способность различных технических средств

Технологическая операция	Процесс	Воздействие	Технический эффект
<p>1</p> <p>Вдавливание элементов в режиме «расхаживания» без увеличения массы установки</p>	<p>2</p> <p>Элемент периодически останавливают, извлекают из грунта, а затем опускают до прежнего уровня при минимальном усилии вдавливания</p>	<p>3</p>  <p>$t, \text{ мин}$ 20-35</p> <p>$H, \text{ м}$</p> <p>Плотный грунт</p>	<p>4</p> <p>Уменьшение присоединенной массы грунта и сил бокового трения</p>

<p>То же, изменением давления и усилия погружения</p>	<p>Увеличивают усилие вдавливания $F_{вд}$ до значения, равного сумме сопротивления элемента F_d, а также уменьшают скорость V погружения до минимального значения</p>	 <p style="text-align: center;"> $F_{вд}^{MAX} = 1,0 - 1,2 F_d$ </p> <p style="text-align: center;"> $V, \text{ м/мин}$ $2 - 3$ </p> <p style="text-align: center;"> $H, \text{ м}$ </p>	<p>Снижение вязкого сопротивления грунта, которое возрастает при увеличении скорости заглубления V</p>
		<p>Зависимость для расчета скорости вдавливания:</p> $V = (F_{вд} - F_d) / F_d n,$ <p>где $n = 0,4 - 0,9, \text{ с/м}$</p>	

Окончание табл. 3

<p>1</p> <p>То же, в режиме вибрационно-вращательного заглубления при частоте колебаний $n = 600$ кол./мин и амплитуде 12–20 мм</p>	<p>2</p> <p>Погружение с приложением усилия $F_{\text{вд}}$ и вращательных колебаний. Циклическое уплотнение – обжатие грунта боковыми гранями. Понижение точки приложения колебаний по длине элемента</p>	<p>3</p> 	<p>4</p> <p>Исключение «налипания» – образования присоединенной массы грунта. Сохранение целостности ствола элемента при равномерно распределяемых по его длине вращательных моментах</p>
--	---	--	---

Примечание: F , R – сопротивление грунта соответственно по боковой и лобовой поверхностям элемента; ω – угловая скорость вращения дебалансов; t – время; P_C – статическая сила вдавливания; P_0 – амплитудное значение вынуждающей силы; r , r_B – радиусы приложения вибрационных сил

Результаты исследований, обоснованные в практических условиях, позволили увеличить заглубление элементов в слой плотного грунта при сокращении времени погружения. Это обеспечило увеличение значения J_i до 0,9–1,0.

В главе 4 исследуются зависимости изменения критерия J_i способов устройства ограждений котлованов и систем их крепления в условиях городской застройки и акваторий.

На основании анализа данных опыта строительства выделены следующие факторы, определяющие области применения различных способов:

- геометрические размеры ограждаемых котлованов;
- конструктивные параметры возводимого ограждения и систем его крепления;
- инженерно-геологических условия и особенности расположения площадки строительства;
- стесненности строительной площадки.

По аналогии с результатами исследований, приведенных в главе 3, получены графики изменения критерия J_i и математические выражения для обоснования областей применения способов. Пример графиков представлен на рисунке 5.

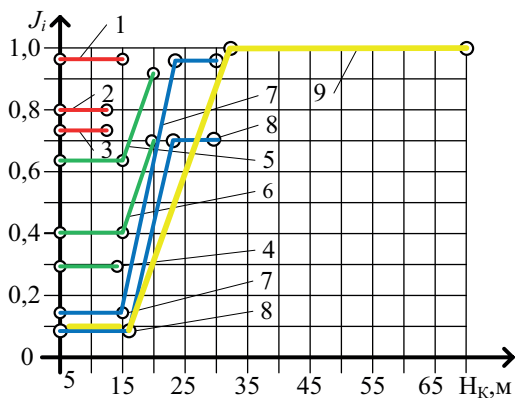


Рисунок 5 – Изменение критерия J_i способов устройства ограждений котлованов в зависимости от их глубины H_k : 1, 2, 3 – соответственно способы погружения стального шпунта с его креплением горизонтальными стальными балками, цементацией грунта в уровне дна выемки, островным способом с грунтовыми бермами; 4 – изготовление буровых касательных свай; 5 – устройство секущихся свай с горизонтальными балками: $J_i = 1 / (1,11 + 0,11H_k - 0,01H_k^2)$; 6 – то же с грунтовыми анкерами: $J_i = 0,7 - 0,08H_k + 0,004H_k^2$; 7 – устройство монолитных стен в грунте с участками перекрытий по их контуру: $J_i = 1 / (47,09 - 3,93H_k + 0,08H_k^2)$; 8 – то же, со сплошными перекрытиями: $J_i = 1 / (30,10 - 2,53H_k + 0,05H_k^2)$; 9 – погружение опускных колодцев: $J_i = 0,092e^{0,06H_k}$

Результаты расчетов критерия J_i для устройства систем креплений ограждений в зависимости от ширины котлованов b_k приведены на рисунке 6.

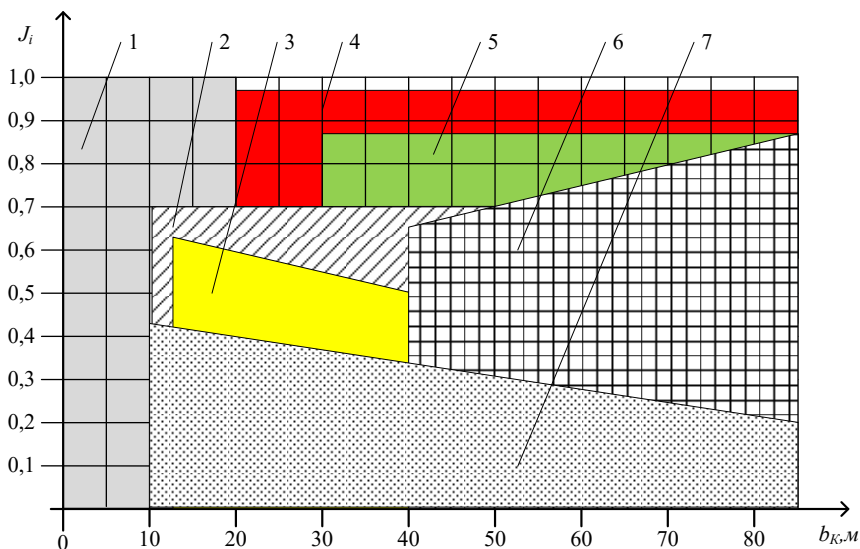


Рисунок 6 – Изменение критерия технологичности устройства различных систем креплений ограждений в зависимости от ширины котлованов (b_k):

- 1 – устраиваемые из стальных элементов (подкосов и распорок);
- 2 – с изготовлением грунтовых анкеров; 3 – с устройством монолитных перекрытий «сверху вниз»; 4 – с анкерными стенами и грунтовыми бермами;
- 5 – с устройством сегментов монолитных перекрытий или горизонтальных ферм;
- 6 – применение Т-образных контрфорсов на поверхности стен в грунте;
- 7 – создание в уровне дна котлована сплошных грунтоцементных диафрагм

В таблице 4 представлены результаты таких расчетов для условий городского строительства.

Таблица 4 – Значения критерия J_i способов устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки

Способ	Значения критерия J_i для различных условий			
	Городская застройка	Свободные территории	Напластования слабых грунтов	Заглубление в слои плотных грунтов
Погружения стального шпунта с его креплением стальными балками	0,7–0,85	0,9	1,0	0,4
То же, грунтовыми бермами	0,6–0,74	0,8–0,95	0,74	0,5
Устройство монолитных стен в грунте	0,6–0,9	0,3–0,4	0,7	1,0
Устройство секущихся свай	0,7	0,4–0,6	0,5–0,6	0,8
То же, касательных	0,7	0,4–0,6	0,4	0,8

Результаты расчетов критерия J_i для условий строительства на акваториях приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения критерия J_i способов устройства перемычек на акваториях

Способ	Значения критерия J_i
Установка стальных оболочек большого диаметра	0,92
Вибрационное погружение стального шпунта	0,73
Укладка бетонных блоков (массивов)	0,64
Погружение массивов-гигантов	0,61
Отсыпка камня в постель в пределах контура ограждений	0,54

В целях совершенствования приведенных в таблицах 4 и 5 способов, обладающих максимальными значениями критерия J_i , были проведены соответствующие исследования.

При устройстве ограждений котлованов в условиях городской застройки была обоснована эффективность способов погружения стального шпунта преимущественно с применением высокочастотных вибропогружателей. В геологических разрезах со слабыми водонасыщенными грунтами снижение интенсивности динамических воздействий на окружающую застройку реализуют при погружении шпунта в условиях его «срыва» – проскальзывания при колебаниях относительно прилегающего массива грунта, реализуемого следующим образом:

- до наступления «срыва» шпунт не перемещается относительно прилегающего массива грунта, а колеблется вместе с ним;
- при наступлении «срыва» резко увеличивается амплитуда колебаний погружаемого шпунта и уменьшается амплитуда колебаний грунта при сокращении его присоединенной массы;
- в дальнейшем наступает режим стабилизации колебаний шпунта и грунта.

Для таких технологий, в том числе при устройстве перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек, осложнено заглубление элементов в слои плотных водоупорных грунтов. При этом наблюдаются деформации их стенок, разрывы соединительных узлов, отклонения от вертикали образующих, что в свою очередь нарушает водограунтонепроницаемость ограждения котлованов. Для решения этой задачи были проведены теоретические и экспериментальные исследования, результаты которых представлены в таблице 6.

С учетом анализа значений критериев J_i установлено, что при устройстве подземных сооружений специального назначения эффективен способ опускного колодца ($J_i = 0,95-1,00$).

При этом известно, что реализация указанной технологии в условиях городской застройки часто приводит к просадкам поверхности грунта и недопустимым значениям деформаций конструкций существующих фундаментов. Основными причинами таких явлений являются выпор и наплывы грунта во внутреннюю полость колодца, крены колодца, понижение уровня грунтовых вод в процессе строительства, а также прорывы глинистого раствора при погружении в тиксотропной рубашке.

В этой связи было выполнено совершенствование способа с учетом следующих требований:

- исключить наплыв грунта во внутреннюю полость колодца без извлечения на поверхность при погружении;
- избежать крена посредством регулирования параметров погружения;
- минимизировать снижение уровня грунтовых вод на прилегающей территории.

Результаты анализа известных технологий с учетом представленных требований приведены в таблице 7.

Таблица 6 – Совершенствование способов устройства ограждений котлованов из стальных элементов на городских территориях и перемычек акваторий

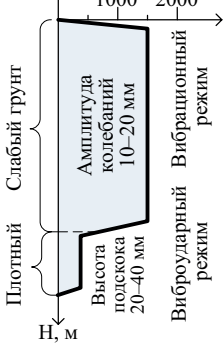
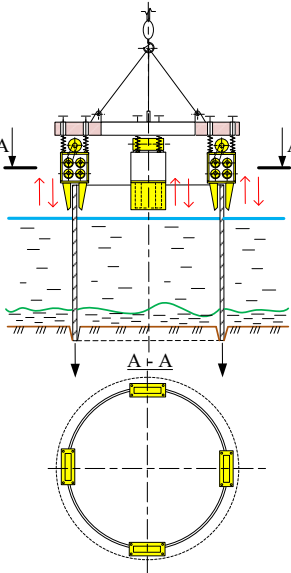
Технологич. операция	Процесс	Воздействие	Технический эффект
Заглубление шпунта в плотные грунты	Виброударное заглубление при частоте 420 ударов в минуту при отношении общей массы машины к вынуждающей силе 0,4	$H = 7,12(1 - e^{-0,004 E_{заб}}),$ где $E_{заб}$ – энергия ударного воздействия, кДж Частота колебаний, кол/мин 1000 2000 	Усталостное разрушение монолитной массы грунта под торцом элемента. Уменьшение лобового сопротивления породы при ее циклическом нагружении
То же, стальных тонкостенных оболочек в дно акватории	Виброударное заглубление при свободной установке вибротехнических средств на торце оболочек		То же, при достижении устойчивого режима работы вибрационных машин (в режиме один удар на оборот валов дебалансов), объединенных через подпружиненные стержни с траверсой – пригрузкой

Таблица 7 – Анализ характеристик технологий погружения опускных колодцев в условиях городской застройки

Технология погружения опускного колодца	Исключаемые негативные эффекты			Значения критерия J_i
	Наплыв грунта	Крен	Трение грунта	
В тиксотропной рубашке	Нет	Нет	Да	0,63
С антифрикционными обмазками	Нет	Нет	Да	0,67
С задавливанием	Нет	Да	Нет	0,69
С предварительным рыхлением грунта	Нет	Да	Да	0,74
С разработкой грунта из-под ножа внутри колодца	Нет	Да	Да	0,65
С устройством противофильтрационных завес	Нет	Нет	Нет	0,60
С заполнением полости колодца водой или глинистым раствором	Да	Нет	Нет	0,75

По итогам выполненного анализа предложена инновационная технология погружения колодца с опережающей разработкой грунта в зоне ножа, без извлечения грунта из внутренней полости, с принудительным погружением задавливанием. Перед погружением колодца по его периметру устраивают грунтовые анкеры с тягами, которые соединяют с домкратами, установленными на торцах конструкции, после чего производят поярусное задавливание с регулированием усилия натяжения (рисунок 7). При этом тяги от анкеров пропускают через сквозные продольные отверстия в стенах колодца через 90° . В промежуточных секторах через каждые 18° устанавливают в процессе бетонирования вертикальные трубчатые каналы, в которых на этапе погружения перемещают вибрационные грейферы и с их помощью попеременно извлекают грунт из-под ножа.

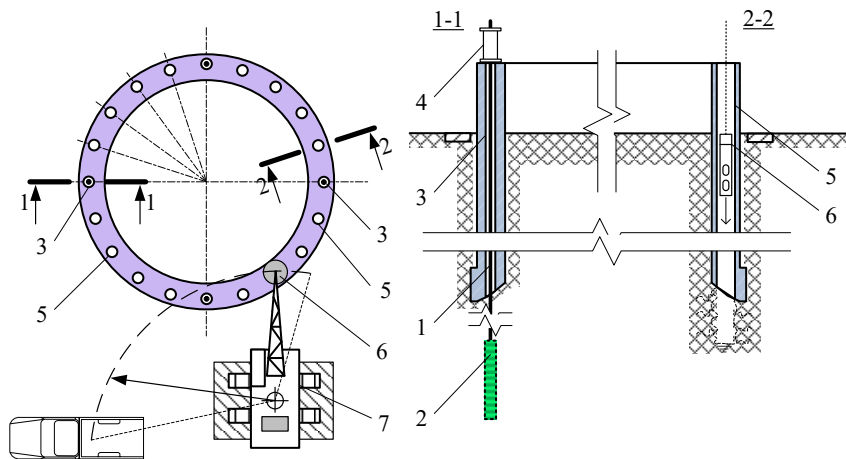


Рисунок 7 – Способ погружения колодца: 1 – анкерные тяги; 2 – корневая зона грунтового анкера; 3, 5 – соответственно каналы в стенах колодца для установки анкеров и извлечения грунта; 4 – домкраты; 6 – вибрационный грейфер; 7 – кран с грейфером

Для предлагаемого перспективного конструктивно-технологического решения выполнено обоснование, результаты которого позволяют рекомендовать его для практической реализации.

В главе 5 представлены результаты расчета и анализа значений критерия J_i возведения систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте.

В условиях городской застройки возникают проблемы, связанные с деформациями фундаментов зданий и сооружений. Они могут быть вызваны динамическими воздействиями в грунте сейсмического или техногенного происхождения. В таких условиях возникает необходимость устройства в грунте специальных систем защиты.

В таблице 8 приведены результаты анализа эффективности таких систем на основании расчета критерия J_i .

Таблица 8 – Значения критерия J_i способов устройства систем защиты от действия динамических факторов

Способ	Физический принцип гашения интенсивности динамического воздействия	Значения критерия J_i
Устройство системы элементов с гидравлическими демпферами	Демпфирование при перетоке жидкости через дроссели	0,88
Бурение скважин, заполняемых пористым материалом	Поглощение материалом засыпки	0,72
Закрепление грунта струйной цементацией	То же, грунтоцементной массой	0,68
Устройство траншей, заполняемых амортизирующими материалами	То же, материалом засыпки	0,55
Возведение экранов из жестких криволинейных секций	Рассеяние от преграды	0,42
Заглубление траншей в коренные породы	Рассеяние и частичное поглощение	0,31

По итогам анализа полученных результатов исследований было предложено конструктивно-технологическое решение, обеспечивающее снижение интенсивности динамического воздействия за счет принудительного проталкивания вязкой жидкости между герметичными полостями через каналы демпферных элементов, установленных во внутренней стенке, разделяющей эти полости (рисунок 8). Этот эффект обеспечивается при деформации мембран, которые создают гидростатический напор и проталкивают жидкость.

Систему защиты реализуют следующим образом. Вдоль сохраняемого здания погружают элементы, которые соединяют между собой замками (поз. 6 на рисунке 8).

Согласно классификации, предложенной Уздыным В. М. и Белаш Т. А., в новом решении используется пассивный метод гашения динамического воздействия устройствами демпферного типа. В них эффект диссипации энергии внешнего воздействия достигают за счет сил вязкого трения жидкости, принудительно проталкиваемой через элементы дроссельного типа.

Автором получены математические выражения, позволяющие прогнозировать зависимости влияния на демпфирование динамической нагрузки свойств вязкой жидкости, а также параметров элементов системы. Расчетная схема приведена на рисунке 9.

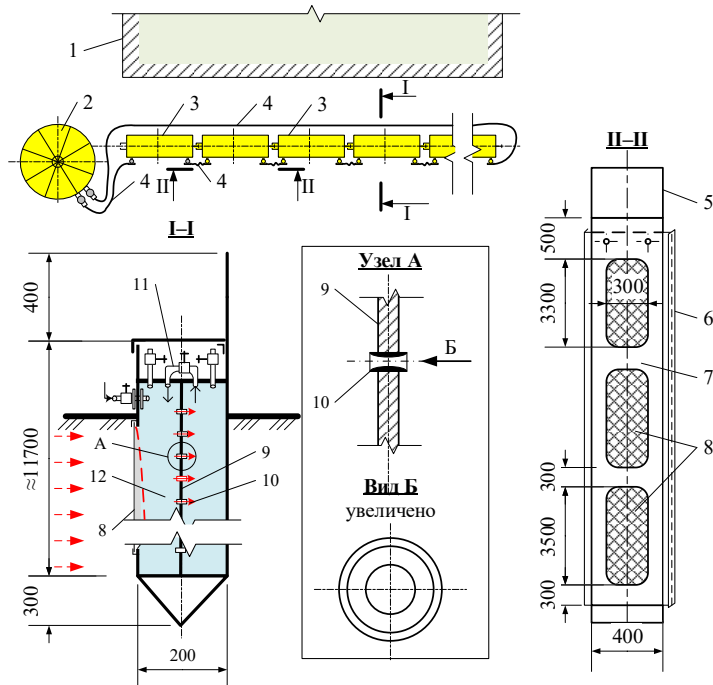


Рисунок 8 – Система с гидравлическими демпферами: 1 – защищаемое здание; 2 – внешняя емкость с вязкой жидкостью, например глицерином; 3 – элемент системы; 4 – гидравлические шланги; 5 – элемент крепления для зажима вибропогружателя; 6 – замки; 7 – наружная стенка с окнами; 8 – мембрана; 9 – промежуточная стенка; 10 – гидравлический демпфер (дрессель); 11 – трубопроводы перелива; 12 – жидкость, обеспечивающая диссипацию энергии

При динамическом воздействии, распространяющемся в грунте, наружная стенка с мембраной подвергается воздействию импульса P_B . Ее деформация продолжится до тех пор, пока давление в демпферной жидкости не уравновесит динамическую нагрузку.

Гидродинамические процессы во внутренних пространствах рассматриваются в характерном масштабе времени воздействия τ , которое больше времени распространения импульса в жидкости τ_0 . По истечении времени τ_0 в жидкости устанавливается некоторое квазиравновесное состояние, медленно изменяющееся во времени при динамическом воздействии. Это обусловлено тем, что квазиравновесное состояние устанавливается в диапазоне времени порядка $\tau_0 \ll \tau$.

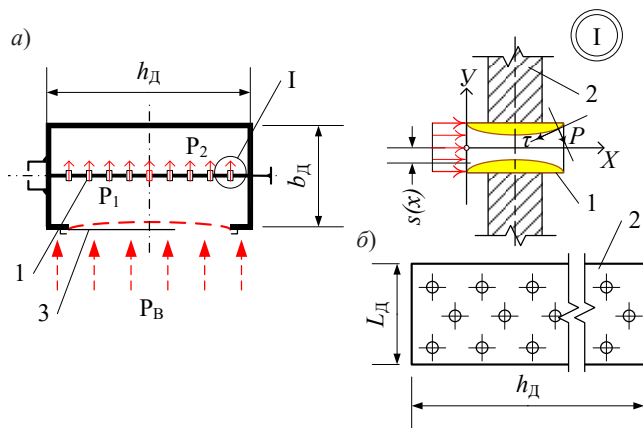


Рисунок 9 – Расчетная схема элемента системы защиты с демпферными гидравлическими элементами: *a* – поперечный разрез; *б* – боковая поверхность промежуточной стенки; P_B – импульс динамического воздействия; P_1, P_2 – давления жидкости во внутренних пространствах; L_d, h_d – соответственно высота промежуточной стенки и ее ширина; b_d – ширина элемента; $s(x)$ – внутренний радиус гидравлического демпфера; τ – сила трения; *l* – жидкость; 2 – гидравлический демпфер; 3 – мембрана в наружной стенке с окнами

Расчетная схема гидродинамических процессов, происходящих в отдельном гидравлическом демпфере при перетоке жидкости, приведена на рисунке 9, вид I. Течение жидкости принимаем одномерным, а саму жидкость рассматриваем как несжимаемую. В этой связи уравнение движения примет вид

$$\frac{\partial q(t)}{\partial t} + \frac{\partial A(x, t)}{\partial x} = -\tau(x, t)2\pi s(x) - \frac{\partial P}{\partial x} \pi s^2(x), \quad (13)$$

где $q(t)$ – расход жидкости через поперечное сечение демпфера, определяемый зависимостью

$$q(t) = \pi s^2(x) V_c(x, t) \rho_0, \quad (14)$$

где $V_c(x, t)$ – среднерасходная скорость движения демпферной жидкости в направлении оси OX ; $A(x, t)$ – изменение импульса вязкой жидкости за счет перетекания через демпфер, определяющееся соотношением

$$A(x, t) = \rho(t) \pi \int_0^{r(x)} V_x^2(x, y, t) y dy, \quad (15)$$

где $V_x = V_x(x, y, t)$ – проекция скорости на ось OX в момент времени t , которую запишем в следующем виде:

$$V_x(x, y, t) = 2V_c(x, t) \left(1 - \frac{y^2}{s^2(x)} \right). \quad (16)$$

Для использования соотношений (13)–(16) достаточно, чтобы давление жидкости в направлении, перпендикулярном оси OX , изменялось пренебрежимо мало. С учетом зависимостей (14) и (16) уравнение (15) представим в виде

$$A = \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)\pi s^2(x)}. \quad (17)$$

Силу трения $\tau(x, t)$, действующую на демпферную жидкость, определяем из соотношения

$$\tau(x, t) = \mu \frac{4V_c(x, t)}{s(x)}, \quad (18)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости

Уравнение (13) с учетом соотношений (14)–(18) примет следующий вид:

$$P(x, t) = -\frac{1}{\pi} \frac{dq}{dt} \int_0^x \frac{d\xi}{s^2(\xi)} - \frac{8\mu \cdot q(t)}{\pi \cdot \rho_0} \int_0^x \frac{d\xi}{s^5(\xi)} - \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)\pi} \int_0^x \frac{d\xi}{s^4(\xi)}, \quad (19)$$

где ξ – переменная интегрирования, описывающая геометрию демпфера.

Анализ выражения (19) показывает, что снижение динамической нагрузки гидравлическими демпферами прямо пропорционально вязкости жидкости и зависит от их очертания, размеров и суммарной площади отверстий.

Запишем уравнение движения мембраны и стенки, вызванных динамическим воздействием, при условии их упругого деформирования, в общем виде:

$$m_T \frac{d^2 r_i(t)}{dt^2} = \frac{k[r_i(0) - r_i(t)]\delta_i}{r_i(0)r_i(t)} - P_+ k_+ + P_- k_- + R(t), \quad (20)$$

где m_T – масса единичной площадки выреза стенки в невозмущенном состоянии; $r_i(t)$ – радиус кривизны мембран и стенки в момент времени t ; δ_i – толщина стенки; k – коэффициент упругого сопротивления материала стенки (влияние гидравлических демпферов на упругие характеристики стенок не учитываем); P_- , P_+ – соответственно давление жидкости вблизи внутренней поверхности и около внешней поверхности стенки; k_+ , k_- – коэффициенты, учитывающие долю площадей отверстий гидравлических демпферов; $R(t)$ – динамическая сила, создаваемая при перетоке жидкости через гидравлические демпферы, определяемая из соотношения

$$R(t) = n_d \cdot R_d(t), \quad (21)$$

где n_d – число гидравлических демпферов на единичной площадке стенки трубы:

$$n_d = \frac{N}{L_d \cdot h_d}; \quad (22)$$

$$R_d = -\frac{dq}{dt}l - \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)} \int_0^l \frac{dx}{s^2(x)} - \int_0^l \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} \pi \cdot s^2(x) dx, \quad (23)$$

где l – длина демпфера.

Полученные уравнения позволяют определить изменение величины давления жидкости. Более того, при известных физико-механических характеристиках материала и размера стенок (зная свойства жидкости и задавшись конструктивными размерами гидравлических демпферов) можно получить необходимое число демпферов для различных внешних нагрузок.

Перепад давлений в гидравлических демпферах ΔP , определяющий эффективность устройства, зависит от потерь на трение в демпфере в местах изменения скорости течения жидкости. Перепад давлений и сила сопротивления амортизирующего устройства P_A при тении жидкости в демпферном элементе (трубке диаметром d и длиной l) равны:

$$\Delta P = \lambda \cdot (l/d) \rho V^2/2 \quad \text{и} \quad P_A = \Delta P \cdot F, \quad (24)$$

где λ – коэффициент трения; ρ – плотность жидкости; F – площадь поверхности промежуточной стенки.

На основе анализа представленных выражений и результатов выполненных экспериментов можно заключить, что на изменение силы P_A в большей мере влияют изменения диаметра демпфера d , чем длины l (примерно в 10–12 раз). При снижении длины l (до величин порядка d) достигается стабильность при эксплуатации системы защиты, устраняется отрицательное влияние инерционности жидкости на поглощение энергии динамического возмущения и обеспечивается снижение затрат при изготовлении.

В этой связи форму гидравлического демпфера следует принимать цилиндрической, сглаженной на концах, с длиной, равной толщине.

Минимальную площадь отверстия демпферного элемента необходимо задавать исходя из обеспечения условий максимального энергопоглощения динамического воздействия, наблюдаемого при выполнении следующего условия:

$$Re = (4\rho_r \cdot V)/\nu \geq 160 \quad (25)$$

где ρ_r – гидравлический радиус демпфера (для круглого отверстия равен половине действительного радиуса), м; ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Представленное конструктивно-технологическое решение носит инновационный характер. Для его практической реализации разработан способ устройства демпферной системы защиты в грунте. Для этого предварительно вдоль соответствующего контура сохраняемого здания устраивают траншеи бурением грунта шнеком. Диаметр и глубину скважин принимают равными соответственно длине и ширине элемента защитной системы. Обоснованные параметры способа приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технологические параметры устройства систем с гидравлическими демпферами

Технологические параметры	Ед. изм.	Значение	Требования к условиям реализации
Диаметр скважин с разрыхленным грунтом	м	0,3–0,35	Снижение интенсивности воздействия на существующие конструкции зданий, а также сопротивления грунта при погружении элементов с обеспечением герметичности их полостей
Глубина бурения скважин	м	11–12	
Глубина погружения элементов	м	11–12	
Вибрационного погружения элементов: • амплитуда • частота	мм Гц	3–8 10–15	

В главе 6 представлены результаты практической реализации предложенной методологии, а также экономической оценки разработанных в ходе исследований технологических решений.

Опираясь на выполненные исследования, автор настоящей диссертации внес новые виды воздействий в определенные способы производства специальных работ в грунтах. Эти изменения были обоснованы расчетами и анализом значений критерия технологичности. Эти способы представлены на рисунке 10.

На рисунке 11 дано графическое изображение изменения критерия J_i от значений коэффициента эффективности применения $K_{гр}$ способов.

С учетом полученных результатов, на рисунке 12 представлен алгоритм обоснования способов при выборе конструктивно-технологических решений устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов, перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружения опускных колодцев.

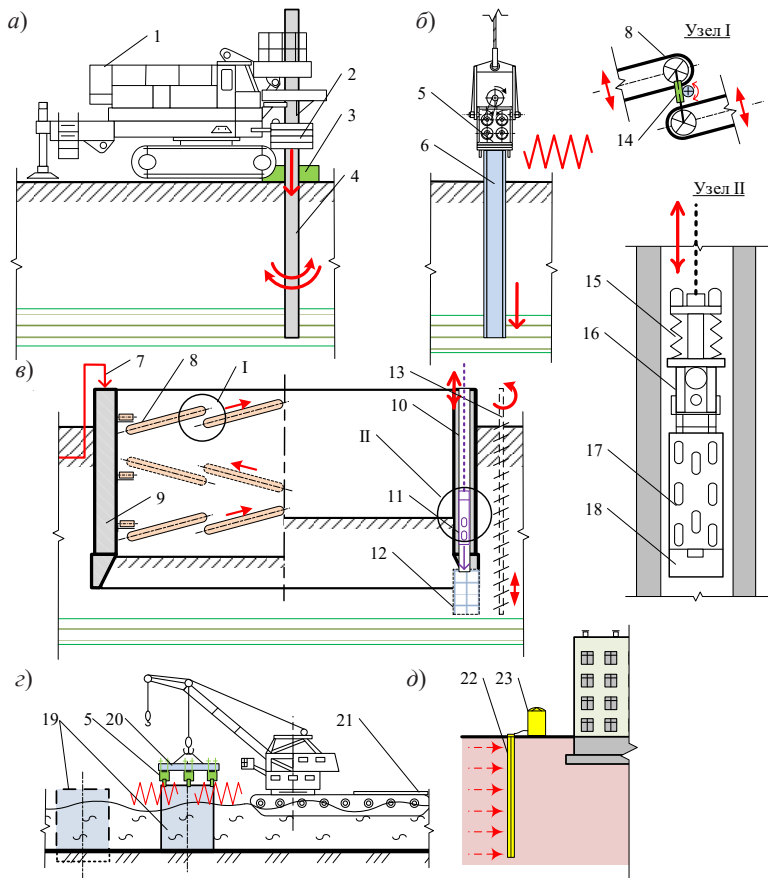


Рисунок 10 – Обоснованные и усовершенствованные технологические процессы при производстве специальных работ в грунтах: вдавливание свай и обсадных труб в вибрационно-вращательном режиме (а); виброударное заглубление шпунта (б) и погружение опускного колодца с задавливанием в предварительно разрыхленный грунт (в); устройство ограждений котлованов на акватории из стальных тонкостенных оболочек (г); устройство систем защиты сооружений от негативного динамического воздействия, распространяющегося в грунте: 1, 2 – соответственно установка и узел вдавливания; 3 – вибровозбудитель вращательных колебаний; 4 – свая; 5 – свободный бесшумный вибромолот; 6 – стальной шпунт; 7 – анкерные крепления с гидравлическими домкратами; 8 – ленточные конвейеры для транспортирования грунта; 9, 10 – соответственно стены колодца и сквозные каналы в них; 11 – виброгрейфер; 13 – шнек при рыхлении грунта (12) до начала погружения колодца; 14 – талреп с электроприводом для регулирования угла наклона конвейеров в зависимости от характеристик транспортируемого грунта; 15 – амортизирующая подвеска; 16 – вибровозбудитель продольно-вращательных колебаний; 17 – грунтосборник с насадкой (18); 19 – стальные тонкостенные оболочки; 20 – траверса; 21 – плавкран; 22 – элемент системы защиты сооружения от динамического воздействия с гидравлическими демпферами; 23 – внешняя емкость с демпферной жидкостью

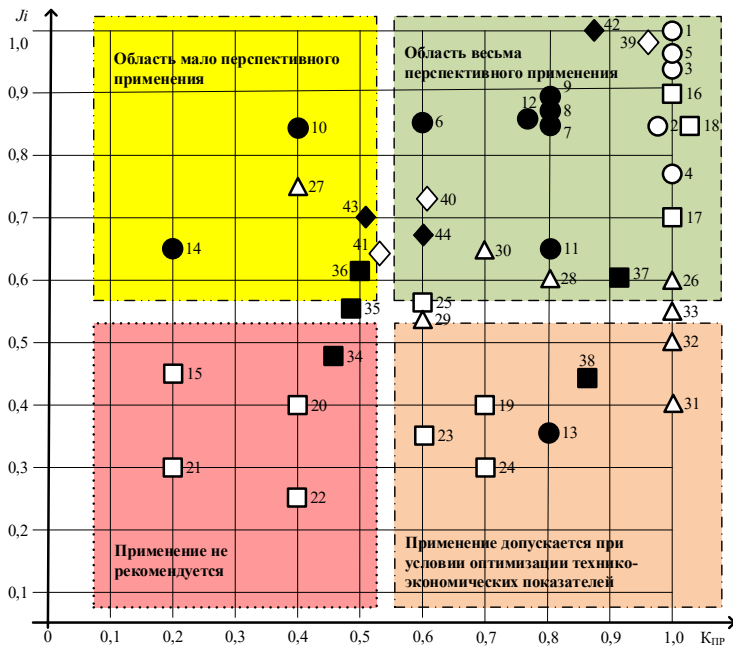


Рисунок 11 – Графическое изображение изменения значений критерия J_i в зависимости от коэффициента $K_{пр}$: ○1–○2 – погружение элементов заводского изготовления соответственно забивным способом, то же в сважины; ○3–○4 – соответственно вдавливание свай в целик и в разрыхленный грунт; ○5 – погружение свай вибрированием; ●6–●9 – способы устройства набивных свай соответственно фундакс, вытеснения, симплекс, вибрехс; ●10–●14 – способы устройства буровых свай соответственно проходными шнеками, под глинистым раствором, с вращением шнека в буровой трубе, в обсадных трубах, с обработкой стволов методом РИТ; □15 – устройство ограждений котлованов при забивке стальных элементов с забиркой; □16–□18 – погружение стального шпунта соответственно забивкой, вдавливанием и вибрированием; □19–□20 – устройство монолитных стен в грунте соответственно грейферами и фрезами; □21–□22 – то же соответственно из касательных свай и их гидроизоляции методом струйной цементации; □23–□24 – то же соответственно из секущихся свай и со струйной цементации их контактных зон; □25 – то же при закреплении грунта по буромесительной технологии; Δ26 – устройство систем креплений ограждений с применением распорных балок; Δ27 – «островной способ» с грунтовыми бермами для шпунтового ограждения; Δ28 – устройство дополнительных анкерных стен; Δ29 – устройство грунтоцементных диафрагм в уровне дна котлована; Δ30 – устройство грунтовых анкеров; Δ31 – способ «сверху вниз»; Δ32, Δ33 – то же с бетонированием сегментов перекрытий и горизонтальных ферм соответственно; ■34 – погружение опускающего колодца с заполнением его полости водой; ■35 – то же с предварительным рыхлением грунта; ■36 – то же в тиксотропной рубашке; ■37 – то же с попеременным задавливанием и извлечением грунта из-под ножа; ■38 – с предварительным устройством противодиффузионных завес; ○39 – устройство перемычек на акватории из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра; ○40 – то же из стального шпунта; ○41 – то же укладкой бетонных блоков; ◆42 – устройства систем защиты от действия динамических факторов с гидравлическими демферами; ◆43 – то же бурением скважин, заполняемых пористым материалом; ◆44 – то же закреплением грунта струйной цементацией



Рисунок 12 – Алгоритм реализации разработанной методологии обоснования эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности

В результате анализа представленных значений специалист выбирает те или иные способы с учетом их сравнительной эффективности, показателей качества, воздействия на окружающую застройку, биосферу и т. п. При этом в первую очередь следует принимать способы, находящиеся в графической области «весьма перспективного применения». Рационально рассматривать их реализацию в области «перспективного применения», но с учетом дальнейшего выбора способов по параметрам

стоимости, производительности и т. п. Технологии, находящиеся в области «малоперспективного» и «не рекомендованного применения», рассматривать нежелательно.

На основе представленного алгоритма выполнено обоснование способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов для реальных объектов строительства. В результате экономический эффект может составить до 120,0 млн руб. в зависимости от рассматриваемых объемов строительства.

Полученные результаты исследований использованы при разработке нормативно-технических документов, которые содержат соответствующие указания по контролю качества, выбору эффективного способа и его технологических режимов при проектировании конструкций фундаментов и ограждений котлованов, перемычек на акватории, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, опускных колодцев, составления проектов производства работ в различных инженерно-геологических условиях площадок строительства, включая кварталы плотной городской застройки.

В диссертации, кроме разработки методологии обоснования выбора способов производства специальных работ в грунтах, предложены, обоснованы и подтверждены патентами технологические приемы, направленные на совершенствование следующих технологий:

- Вдавливание железобетонных свай и обсадных труб в слоях плотных грунтов комбинированным действием статической силы и вращательных колебаний при постепенном снижении точки приложения вибрации. Погружение в режиме «раскачивания» – периодической остановки элемента и извлечения ее из грунта с последующим заглублением до прежнего уровня при минимальном усилии вдавливания. Увеличение усилия вдавливания в плотных грунтах до максимального значения и уменьшение скорости погружения до минимального значения.

- Погружение шпунта в городской застройке при высокочастотных режимах гармонических колебаний в условиях «срыва» относительно прилегающего массива грунта, а при его заглублении в прослой плотного грунта в ударно-вибрационном режиме – с помощью свободного беспружинного вибромолота.

- Заглубление в грунт дна акватории и выравнивание кренов стальных тонкостенных оболочек большого диаметра путем локального ударно-вибрационного воздействия и возмущения в их стенках упругих колебаний.

- Извлечение грунта непосредственно из-под ножа опускного колодца виброгрейферами через вертикальные трубчатые каналы в стенах колодца с принудительным погружением его задавливанием. Транспортирование грунта из полости колодца выполняется ленточными конвейерами, последовательно установленными на внутренней поверхности его стен. При этом

в зависимости от значений коэффициента трения грунта по ленте следует изменять угол наклона конвейеров.

- Уменьшение уровня динамического возмущения в грунте посредством его демпфирования гидравлическими устройствами.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненных теоретических экспериментальных исследований были получены следующие научные результаты.

1. Выявлены технологические параметры, характерные для современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведения перемычек на акваториях, заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружения опускных колодцев в сложных инженерно-геологических условиях и при плотной городской застройке. Установлено, что эти параметры в разной степени интенсивности проявляются в конкретных условиях строительной площадки; их неверный выбор вызовет снижение качества устраиваемых конструктивных элементов.

2. Проанализирована современная нормативно-техническая, методологическая база, а также научные труды в области обоснования и выбора эффективных технологических параметров. При этом установлено, что единого подхода к выбору эффективных способов производства специальных работ в грунтах не существует. Показано, что для указанных целей необходимо выполнять расчет и анализ значений критерия технологичности (J_i) как комплексной количественной характеристики разнородных качеств таких способов.

3. Установлена структура критерия J_i как совокупности обобщенных групп разнородных показателей, основанная на методологических принципах квалиметрии. Посредством экспертных оценок получены значения их коэффициентов весомости в зависимости от расположения участка строительства.

4. Для учета показателей надежности и качества работ в составе критерия J_i разработана методология их количественного анализа посредством генеральных определительных таблиц (ГОТ). На ее основании получен алгоритм количественной оценки качественных показателей способов для различных условий их реализации.

5. На базе выполненных исследований разработана и формализована математическая модель обоснования параметров способов. При этом поставленная задача решена путем анализа изменчивости системы с учетом целевой функции – критерия J_i . Эти положения представлены в алгоритме, реализованном в программе для ЭВМ по расчету критерия J_i для различных условий строительства (свидетельство о регистрации № 2015660159 от 14.12.2015). Результаты его практического применения представлены в разработанных нормативно-технических документах.

6. На основе анализа построенных кривых изменения критериев J_i обоснованы области применения современных способов устройства свайных фундаментов в зависимости от удаления участка строительства относительно окружающей застройки. В результате получены ранжированные ряды эффективности их применения с учетом изменения различных факторов, включая негативные воздействия на биосферу и конструкции соседних зданий.

7. На основе анализа представленных значений обосновано направление совершенствования для условий, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств. Для этих случаев рациональными являются следующие технологические приемы:

– осуществляют вдавливание в режиме периодического извлечения свай или обсадных труб из грунта, при котором достигают проскальзывания элемента относительно околосвайного грунта и исключают его «налипание» к боковым граням;

– в породах увеличивают усилие вдавливания до значения равного несущей способности элемента в интервале погружения, а также уменьшают скорость вдавливания V до минимального значения согласно выражению $V = n(F_{вд} - F_d) / F_d$, где $n = 0,4-0,9$ – опытный коэффициент, определяющий зависимость вязкого трения от удельного статического сопротивления грунта по поверхности элемента;

– к элементу прикладывают вращательные колебания, что обеспечивает его целостность при обоснованных вибрационных параметрах: частота колебаний составляет 600 кол./мин, а амплитуду – 12–20 мм.

8. Получены графические зависимости и аналитические выражения изменения критерия J_i сравнительной эффективности применения способов устройства ограждений котлованов и систем их креплений в зависимости от различных параметров и размеров выработки.

9. По критерию J_i обоснованы области применения ограждений котлованов из стального шпунта. При этом определено рациональное направление его виброударного заглубления в плотные грунты без деформаций его стенок и разрывов замков.

10. Установлены рациональные режимы погружения опускных колодцев при минимальных технологических деформациях окружающей застройки. В результате обоснован способ задавливания при вибрационном извлечении грунта из-под ножа ($J_i = 0,8-0,95$).

11. При анализе критериев J_i решена задача обеспечения комплексной надежности перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра. Значения критерия распределены следующим образом: виброударное воздействие, обеспечивающее вертикальность, устойчивость и водоупорность стыков ограждения ($J = 0,82-1,00$); вибрационное погружение ($J = 0,62$); свободная установка с подмывом ($J = 0,52$); статическое вдавливание ($J = 0,42$).

12. Исследована структура критериев J_i устройства систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунтах. Определена эффективность и предложена технология создания специальных устройств, оснащенных гидравлическими демпферами, обеспечивающими гашение интенсивности динамического воздействия проталкиванием вязкой жидкости через каналы дроссельных элементов.

13. Применение разработанной методологии позволит существенно повысить обоснованность выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах, а также снизить затраты на их реализацию, включая устранение дефектов возводимых и существующих конструкций фундаментов зданий.

IV. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ:

в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Гайдо А. Н., Верстов В. В., Фрейдман Б. Г. Критерии сравнительной эффективности технологий устройства свайных фундаментов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2004. – № 8. – С. 12–16.

2. Гайдо А. Н., Левинтов Г. В. Анализ результатов определения несущей способности грунтов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2013/2. – С. 117–124.

3. Гайдо А. Н. Исследование технологических параметров вдавливания свай // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2012/4 (33). – С. 129–137.

4. Гайдо А. Н. Цели и задачи исследований технологических решений устройства фундаментов многоэтажных зданий и сооружений // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 4 (29). – С. 81–90.

5. Гайдо А. Н., Верстов В. В. Исследование сравнительной эффективности заглубления стального шпунта в плотный грунт различными погружающими машинами // Механизация строительства. – 2013. – № 2. – С. 44–49.

6. Гайдо А. Н., Верстов В. В. Обоснование выбора рациональных способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности в различных условиях строительства // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2013. – № 4. – С. 6–12.

7. Гайдо А. Н. Иванов Я. В., Ильин Я. А. Анализ экспериментальных результатов определения несущей способности грунтов по технологическим параметрам вдавливания свай // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2013/5. – С. 54–59.

8. Гайдо А. Н., Верстов В. В. Эффективные технологии устройства ограждений котлованов на акваториях // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2013/6 (41). – С. 75–84.

9. Гайдо А. Н. Совершенствование технологий погружения стальных оболочек, применяемых при устройстве водонепроницаемых ограждений на акватории // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 3 (870). – С. 28–32.

10. Гайдо А. Н. Совершенствование технологий погружения опускных колодцев в условиях городской застройки // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 4 (871). – С. 27–32.

11. Гайдо А. Н. Исследование процессов смещений свай, погруженных вблизи котлованов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 8 (875). – С. 25–29.

12. Гайдо А. Н. Исследование параметров статического вдавливания свай при действии вращательных колебаний // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 9 (876). – С. 2–7.

13. Гайдо А. Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12–15.

14. Гайдо А. Н., Вершинин В. П., Сергеев Ю. О. О смещении элементов в свайном фундаменте при откопке котлована // Геотехника. – 2016. – № 2016/1. – С. 32–39.

15. Гайдо А. Н. Оценка несущей способности свай в зависимости от технологических параметров их устройства или изготовления // Геотехника. – 2016. – № 2016/6. – С. 42–51.

16. Гайдо А. Н. Особенности разработки проектов производства работ по устройству свайных фундаментов в стесненных условиях городской // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 74–85.

17. Гайдо А. Н., Верстов В. В., Туркевич Я. А. Совершенствование технологических схем и параметров извлечения грунта при погружении опускных колодцев // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5 (70). – С. 84–93.

18. Гайдо А. Н., Верстов В. В. Возведение в грунте экранов с гидравлическими демпферами для защиты зданий и сооружений от динамических воздействий // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 5. – С. 65–73.

19. Гайдо А. Н. Информационное моделирование здания (BIM) с учетом технологических параметров при производстве работ нулевого цикла // Жилищное строительство. – 2019. – № 4. – С. 47–55.

20. Гайдо А. Н. Оценка показателей надежности и качества способов производства работ нулевого цикла // Вестник гражданских инженеров – 2020. – № 1 (78). – С. 116–126.

21. Гайдо А. Н., Верстов В. В., Юдина А. Ф. Повышение эффективности устройства ограждений котлованов на акваториях // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2020. – № 1. – С. 19–21.

в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Sciens:

1. Gaido, A.N. Comparative Efficiency Investigation of Various Types of Dynamic Influences on the Dipped Pile. *World Applied Sciences Journal*. Vol. 23, No 6. July 2013. Pp. 817–822. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.06.13109 (A.N. Gaido, V.V. Verstov and A.F. Yudina).

2. Gaido, A.N. The technology of protecting objects of transport infrastructure from dynamic impacts in the ground. *Transportation Research Procedia*, vol. 36, 2018. Pp.766-776 (A.N. Gaido, V.V. Verstov, A.F. Yudina).

3. Gaido, A.N. New technology for soil extraction when sinking open caissons. *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*. CRC Press, Published April 30, 2019. Reference – 466. Vol. 2. Pp. 402–406 (A.N. Gaido, V.V. Verstov, A.F. Yudina & L.M. Kolchedantsev).

4. Gaido, A.N. Improving efficiency of arranging offshore cofferdams. *Soil Mech Found Eng*. 2020. No 57. Pp. 73–76 (A.N. Gaido, V.V. Verstov, A.F. Yudina).

патенты и программы для ЭВМ, имеющие госрегистрацию:

1. Патент № 2491387 Российской Федерации, МПК E02D 29/00. Способ возведения заглубленных сооружений и подземных конструкций зданий / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, А. А. Мотовилова. – Бюл. № 24 от 27.08.2013.

2. Патент № 2498017 Российской Федерации, МПК E02D 7/20. Способ погружения свай вдавливанием / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов. – Бюл. № 31 от 10.11.2013.

3. Патент № 2500857 Российской Федерации, МПК E02D 7/20. Способ погружения свай вдавливанием / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – Бюл. № 34 от 10.12.2013.

4. Патент № 2535860 Российской Федерации, МПК E02D11/00. Способ погружения шпунта с заглублением в плотный водоупорный грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – Бюл. № 35 от 20.12.2014.

5. Патент № 2549789 Российской Федерации, МПК⁸ E02B 3/06. Способ погружения тонкостенных стальных оболочек с заглублением в плотный водоупорный грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – Бюл. № 12 от 15.09.2014.

6. Патент № 2580338 Российской Федерации, МПК E02D7/20. Способ вибровращательного вдавливания свай в грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663197 от 14.12.2015. Сравнительный анализ эффективности спо-

собоу устройства свайных фундаментов по критерию технологичности / А. Н. Гайдо.

8. Патент № 2622279 Российской Федерации, МПК E02D27/36. Способ защиты фундаментов зданий, сооружений от динамических воздействий в грунте и устройство для его осуществления / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – Бюл. № 17 от 13.06.2017.

монографии:

1. Гайдо А. Н. Производство шпунтовых и свайных работ / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, Я. В. Иванов. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 292 с.

2. Гайдо А. Н. Технология и комплексная механизация шпунтовых и свайных работ / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 288 с.

3. Гайдо А. Н. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – 368 с.

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 04.03.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 2,79. Тираж 150 экз. Заказ 4.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

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

