

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ГАЙДО Антон Николаевич

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

05.23.08 – Технология и организация строительства

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант  
д.т.н., профессор  
Верстов Владимир Владимирович

Санкт-Петербург – 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ.....	16
1.1. Научно-методические подходы к выбору эффективных способов устройства свайных фундаментов в различных инженерно-геологических условиях.....	16
1.2. Исследование эффективных областей применения способов устройства ограждений котлованов.....	32
1.3. Анализ тенденций в области разработки методологий выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах.....	40
1.4. Исследование областей применения современных методологий выбора способов осуществления технологических решений.....	44
1.5. Обоснование целесообразности и эффективности применения критерия технологичности для определения областей реализации способов производства спецработ в грунтах.....	58
1.6. Выводы по первой главе.....	67
Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА КРИТЕРИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ.....	69
2.1. Разработка принципиальных основ теории расчета критерия технологичности.....	69
2.2. Обоснование структуры показателей в составе обобщенного критерия производственной группы.....	80
2.3. Исследование структуры показателей в составе обобщенного критерия технико-экономической группы.....	91
2.4. Разработка методики определения показателей надежности и качества выполнения работ.....	99

2.5. Математическая модель расчета критерия технологичности и ее реализация в программном комплексе.....	118
2.6. Выводы по второй главе.....	125
Глава 3. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ.....	127
3.1. Выбор направлений совершенствования способов устройства свайных фундаментов.....	127
3.2. Обоснование областей применения способов производства работ на основании значений критерия технологичности.....	134
3.3. Совершенствование технологических режимов при сопротивлении грунтов, превышающем погружающую способность технических средств.....	146
3.4. Разработка методики выбора способов для условий напластования слабых грунтов и стесненной застройки.....	163
3.5. Выводы по третьей главе.....	172
Глава 4. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ.....	175
4.1. Исследование областей применения различных способов устройства ограждений котлованов и их креплений на основании значений критерия технологичности.....	175
4.2. Совершенствование способов устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки при необходимости заглубления шпунта в слой плотного грунта.....	191
4.3. Обоснование параметров устройства водогрунтонепроницаемых перемычек на акватории с учетом критерия технологичности.....	200
4.4. Разработка способа устройства подземных сооружений в условиях городской застройки на основе анализа структуры критерия технологичности.....	211
4.5. Выводы по четвертой главе.....	224

Глава 5. ВЫБОР СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ В ГРУНТЕ.....	227
5.1. Анализ значений критерия технологичности для способов устройства различных систем защиты зданий и сооружений.....	227
5.2. Исследование областей применения различных способов устройства систем защиты.....	233
5.3. Определение параметров способов устройства систем защиты, оснащенных гидравлическими демпферами .....	246
5.4. Исследование гидродинамических процессов, происходящих в полостях демпферных устройств.....	254
5.5. Выводы по пятой главе.....	264
Глава 6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ.....	266
6.1. Сравнительная эффективность способов производства специальных работ в грунтах на основании анализа значений критериев технологичности.....	266
6.2. Практическая апробация разработанной методологии.....	271
6.3. Оценка экономической эффективности результатов исследований.....	282
6.4. Выводы по шестой главе.....	295
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	296
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	303
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	323
Приложение А. Патенты, подтверждающие практическую значимость исследований.....	324
Приложение Б. Нормативно-технические документы, разработанные автором на основании методики расчета критерия технологичности.....	332
Приложение В. Акты внедрения.....	335

## ВВЕДЕНИЕ

**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 водогрунтонепроницаемой 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 спе-

циальных 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., Алексеева С. И., Бадьина 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., Калюжнюка 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 Ivan, Zhussupbekov A. и др.

Исследованиям вопросов структуры и методик расчетов показателей эффективности (технологичности) выбора и совершенствования различных строительных технологий посвящены работы Абрамова Л. И., Азгальдова 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., Гусакова 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., Сычёва 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 опускаемых 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 срав-

нительную 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 оболочек 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 строительно-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 прослоек 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. Герсеева 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, превышающую 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 страницах основного текста. В приложениях приведены материалы, отражающие данные практического использования результатов исследования.

# **Глава 1. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ**

## **1.1. Научно-методические подходы к выбору эффективных способов устройства свайных фундаментов в различных инженерно-геологических условиях**

В настоящее время существует необходимость строительства многоэтажных зданий высотой до 75 м и высотных сооружений высотой более 100 м, что вызвано дефицитом и значительной стоимостью земельных участков в крупных городах.

Такие здания, имея бóльшую полезную площадь, чем малоэтажные, потребляют значительно меньше энергии, позволяют сократить протяженность инженерных коммуникаций и систем общественного транспорта. Компактность застройки упрощает создание инфраструктуры социального обеспечения населения и позволяет разместить на минимальной площади максимально возможное количество деловых, общественных и жилых помещений.

Экономически оправдано строительство многоэтажных зданий с фундаментами, характеризующимися значительной площадью опирания и развитой подземной частью (в отдельных случаях – до 6 этажей), значительными эксцентриситетами и нагрузками, передаваемыми на грунты основания (свыше 0,5 МПа), изменением напряженно-деформированного состояния грунтов при извлечении больших объемов грунта, а также циклическими воздействиями ветровых нагрузок, передаваемыми на грунты основания через конструкции здания.

Такие требования, не характерные для фундаментов малоэтажных зданий, требуют создания специальных технологий строительства, позволяющих устраивать надежные подземные конструкции многоэтажных зданий и обеспечивать сохранность застройки, прилегающей к участку строительства.

Задача выбора таких решений, а также способов их реализации становится трудно решаемой в сложных инженерно-геологических условиях. Согласно п. 11.1 ТСН 50-302 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-



Петербурге», такие условия следует учитывать при залегании в пределах сжимаемой толщи оснований зданий или сооружений «слоев, прослоев или линз следующих видов грунтов: насыпных, намывных (песков)... погребенных торфов и сапропелей; илов; рыхлых песков; водонасыщенных глинистых грунтов текучепластичной или текучей консистенции; водонасыщенных песков, обладающих плавучими свойствами». Кроме того, подобные условия возникают при развитии в грунтовом основании суффозионных явлений, проявлений карста и пр.

Последние из названных явлений в диссертационном исследовании не рассматриваются.

Предметом настоящих исследований будет преимущественно область устройства оснований зданий и сооружений на слабых водонасыщенных неоднородных грунтах, характерных для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. Это мощные толщи четвертичных отложений, подстилающихся неровной поверхностью нижнекембрийских и верхнепротерозойских структур. Четвертичные отложения характеризуется крайне неоднородным составом и толщиной от нескольких до 100 м в приустьевой части р. Невы; в подавляющем случае в верхнем строительном слое разрезы представлены слабыми водонасыщенными грунтами, склонными к потере несущей способности при динамических воздействиях, а также при морозном пучении.

Абелевым М. Ю. в практике отечественного фундаментостроения в особую группу выделены слабые водонасыщенные глинистые грунты со значениями модуля общей деформации не менее 5,0 МПа и показателем влажности, при котором 80% пор заполнено водой [2]. К таким грунтам относят илы, ленточные глины, водонасыщенные лёссовые макропористые и заторфованные грунты и т. п. Их свойства во многом определяются процессами формирования, происходящими в ходе генезиса и последующего изменения под влиянием постгенетических процессов. Текстура слабых водонасыщенных глинистых грунтов во многом определяется их поведением при воздействии разнообразных технологических воздействий, возникающих при реализации различных способов устройства фундаментов и ограждений котлованов [2].

В этих условиях наиболее надежной конструкцией фундаментов является комбинированное плитно-свайное решение, предполагающее, что в процессе эксплуатации здания часть нагрузки от свай будет передаваться и перераспределяться на плиту ростверка (20–55 %) [80, 152, 153, 180]. Кроме того, асимметричное приложение нагрузок от здания может быть уравновешено варьированием количества и расположения свай в фундаменте, подбором их длин и поперечных сечений, а жесткая плита позволит скомпенсировать неравномерные осадки и крены на разнородных основаниях.

При возведении таких зданий в условиях городской застройки, в том числе и на акваториях, особую значимость приобретают вопросы, связанные с производством специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, погружение опускных колодцев, перемычек на акваториях, а также заглубленных систем защиты от негативного действия динамических воздействий).

Описание и обоснование параметров устройства свайных фундаментов и расчетов представлены в работах Акимова П. А., Бахолдина Б. В., Болдырева Г. Г., Готмана А. Л., Готмана Н. З., Бадьина Г. М., Безволева С. Г., Богова С. Г., Верстова В. В., Граника Ю. Г., Далматова Б. И., Дьякова И. П., Жусупбекова А. Ж., Ильичева В. А., Нуждина Л. В., Знаменского В. В., Конюшкова В. В., Караулова А. М., Крутова В. И., Короткого Д. А., Мангушева Р. А., Мирсаяпова И. Т., Невзорова А. Л., Никифоровой Н. С., Осокина А. И., Офихтера В. Г., Сахарова И. И., Сенина Н. И., Парамонова В. Н., Перлея Е. М., Перминова Н. А., Петрухина С. Г., Полищука А. И., Понамарева А. Б., Прошина М. В., Теличенко В. И., Тер-Мартirosяна А. З., Тер-Мартirosяна З. Г., Травуша В. И., Уздина А. М., Улицкого В. М., Усманова Р. А., Шашкина А. Г., Шулятьева О. А., Шумейко В. И., Эль-Моссалайми Й., Amman P., Aslan U., Bachmann G., Breth H., Broms B. B., Burland J. B., Chen L., Conte G., Cooke R., Katsenbach R., Gutberlet C., Gutward J., Hanisch J., Leppla S., Mandolini A., Poulos H. G., Randolph M., Schmitt A., Simha J., Small J. C., Ta L. D., Turek J. и других отечественных и зарубежных ученых. В работах Fei Y., Yasufuku N., Zhao C., Zhao C., Xu K. (2020);

Ali A. M., Kareem H. K. (2020); Westermann K., Meier J., Pitteloud L. (2020); Zhang Y., Ma X. (2020); Niina M., Kodama T., Chikusa N., Kodera M., Watanabe K., Fujii M. (2020) обсуждаются особенности обоснования параметров и устройства свайных фундаментов в условиях городской застройки [157, 168, 193, 210, 220].

Анализ работ представленных ученых показывает всё многообразие применения свайных элементов при возведении высотных и многоэтажных зданий при решении задач как обеспечения повышенных нагрузок на основание, так и восприятия эксцентриситетов для различных инженерно-геологических условий, включая неоднородные напластования слабых водонасыщенных толщ, обладающих различными негативными строительными свойствами в виде потери устойчивости скелета при приложении динамических воздействий, приводят к неравномерным осадкам и т. п. Таким образом, исследования, направленные на анализ технологических решений таких фундаментов, актуальны, несмотря на большой объем выполненных практических и научных работ, основная часть которых приведена в списке литературы.

Известно, что следует уделять особое внимание выбору режимов работ по возведению заглубленных конструкций цикла в условиях строительства в городской черте, в том числе в исторических сложившихся кварталах. Известны случаи выявления деформаций конструкций существующих зданий в таких районах. При этом, согласно данным, полученным В. М. Улицким, до 58 % таких случаев вызвано неверно выбранными технологическими параметрами специальных работ в грунтах. На ошибки при эксплуатации приходится 14 %, а на недочеты при проектировании изысканий – 28 % случаев [149].

При этом строительство в кварталах массовой застройки требует обоснования параметров работ. В противном случае при нарушениях технологической дисциплины и ненадлежащем соблюдении соответствующих регламентов не исключено снижение качества работ. Это может быть вызвано как боковым действием давления грунта на свайные основания, так и потерей сплошности тела буронабивных элементов, подъемом (выпором) грунта и свай, а также снижением

несущей способности грунтов, обусловленным различными технологическими воздействиями [25, 26, 31, 38, 39].

Изложенное позволяет говорить о необходимости исследования параметров устройства свайных фундаментов, а также разработки методики учета дефектов, возникающих при их возведении. В пользу данного утверждения свидетельствует тот факт, что, как будет показано в главе 2, в условиях строительства заглубленных объектов вблизи существующих зданий значительно расширяется спектр проблем, сопутствующих производству работ (например, в виде возможных деформаций конструкций существующих зданий, просадок поверхности грунта, нарушения целостности заглубленных инженерных коммуникаций и т. п.).

Для исследования различных технологических параметров специальных работ в грунтах следует установить их виды, применяемые в современных условиях, с учетом достигнутого уровня развития строительной техники.

В практике отечественного фундаментостроения существуют две конкурентные технологии: погружение различными методами сплошных свай и оболочек заводского изготовления и устройство буронабивных свай. Их классификация представлена на рисунке 1.1.

Каждая из таких технологий в конкретных инженерно-геологических условиях строительной площадки имеет свои преимущества и недостатки. Например, применение свай заводского изготовления выгодно отличается гарантированным качеством ствола сваи, большой производительностью и невысокой стоимостью погружения погонного метра. Основным недостатком технологии состоит в ограничении по размерам и несущей способности погружаемых свай, а также в динамических воздействиях на окружающую среду при погружении. Преимущество буронабивных технологий состоит в универсальности по размерам (длина до 80 м, диаметры от 0,2 до 2,0 м) и возможной передаче больших нагрузок на грунт (свыше 3000 т), а главный их недостаток — в отсутствии гарантии сплошности ствола сваи, особенно при работе в слабых грунтах.

С учетом изложенного, выбор способов устройства свайных фундаментов приобретает особую важность уже на стадии оформления участка под застройку

и формирования застройщиком задания на проектирование. В этих условиях необходимо различать требования, предъявляемые к технологиям в зависимости от расположения объекта:

- в квартале нового строительства – без ограничений уровня воздействия в виде производимого шума и динамических возмущений в грунте;
- современном застроенном квартале, в зависимости от расстояний до существующих зданий и сооружений (в актуальной нормативной литературе различают следующие зоны ответственности: непосредственно в примыкании; на удалении до 20 м; в 20–30 м; на удалении свыше 30 м);
- исторической части города.

Поставленную задачу выбора способов устройства свайных фундаментов можно решить исходя из анализа факторов технологичности, под которой понимается совокупность положительных качеств свайной технологии в конкретных инженерно-геологических условиях строительства – по всем или основным показателям, превосходящим сравнительные варианты.

На основании анализа практического опыта работ, научных публикаций, патентов автором выявлены разнообразные технические средства и приемы их применения для производства специальных работ. При этом современные универсальные машины позволяют без существенного переоборудования решать сразу несколько технологических задач – как для устройства свайных фундаментов, так и для ограждений котлованов и выполнения систем их креплений, без которых в современных условиях производство работ в городской среде не представляется возможным. Известно, что такие системы позволяют минимизировать негативное влияние нового строительства на окружающую застройку. Результаты исследования областей применения технологических режимов подобных систем представлены в главе 2. Классификация таких способов показана на рисунке 1.1. Следует отметить, что данная схема не является полной и не охватывает все существующие технологии, а также специальные способы, которые применяют в сложных инженерно-геологических условиях и производстве работ в городской черте, требующей использования так называемых «щадящих» режимов. Например, в п. 5.2

справочника геотехника [126] в соответствующем разделе описано около 30 разновидностей способов устройства буронабивных свай, используемых в различных инженерно-геологических условиях.

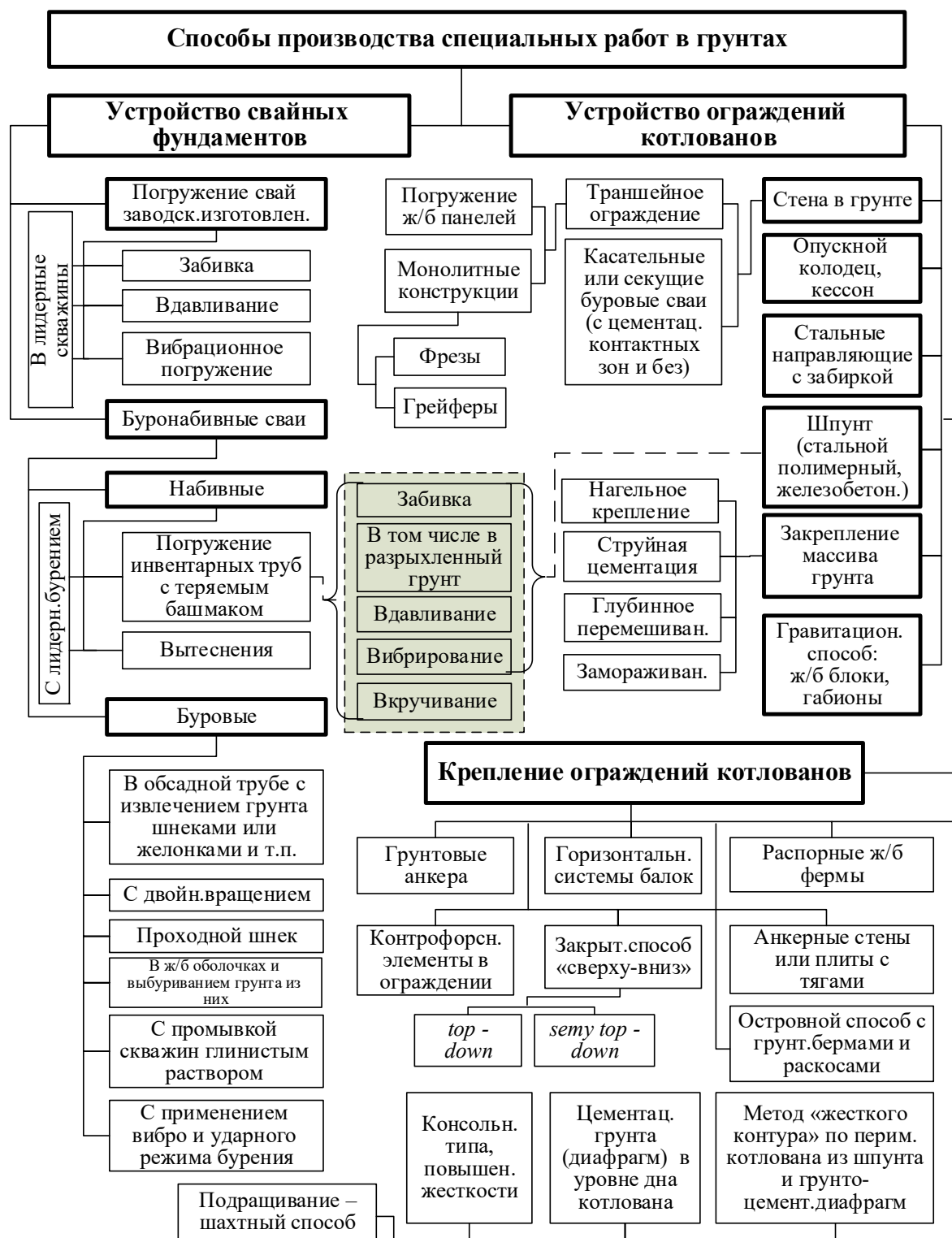


Рисунок 1.1 – Классификация современных способов производства специальных работ в грунтах

Как показано автором в разделе 2.4, указанные технологии характеризуются различными показателями по уровню воздействия на биосферу (атмо-, гидросфера, биотические факторы). Кроме того, для различных геологических разрезов следует учитывать как влияние технологических параметров на качество (сплошность) стволов свай буронабивных элементов, так и воздействие этих факторов на безопасность окружающей застройки (развитие недопустимых значений осадок конструкций фундаментов зданий и сооружений).

Для оценки указанных факторов автором предложена методика, позволяющая выявить различные качественные характеристики, присущие способам производства специальных работ в грунтах, в виде единого показателя эффективности применения  $K_{ГР}$ . Его значения измеряют в пределах от 0,2 до 1,0. При этом способам с минимальным негативным воздействием на окружающую среду и с гарантированными показателями надежности формирования качественного элемента в грунте соответствуют наибольшие значения показателя  $K_{ГР}$ . Предлагаемые особенности анализируются и оцениваются по пятибалльной системе с помощью генеральных определительных таблиц [40].

Такая методика, подробно изложенная в разделе 2.4, основана на сопоставлении качественной информации, присущей исследуемым технологическим режимам с генеральными определительными таблицами (ГОТ) свойств, имеющих различные уровни оценки, пересчитываемые в значения коэффициента применимости. Ее следует применять в целях анализа эффективности применения технологий для устройства свай и ограждений в различных условиях.

Полученные таким образом коэффициенты в составе группы обобщенных критериев надежности и качества работ нужно использовать для расчета единого критерия технологичности, предлагаемого автором в качестве целевой функции при оптимизации параметров различных способов производства работ.

Результаты расчета значений коэффициентов эффективности применения способов устройства свайных фундаментов по факторам обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах с преобладающими напластованиями слабых водонасыщенных грунтов представлены на рисунке 1.2.

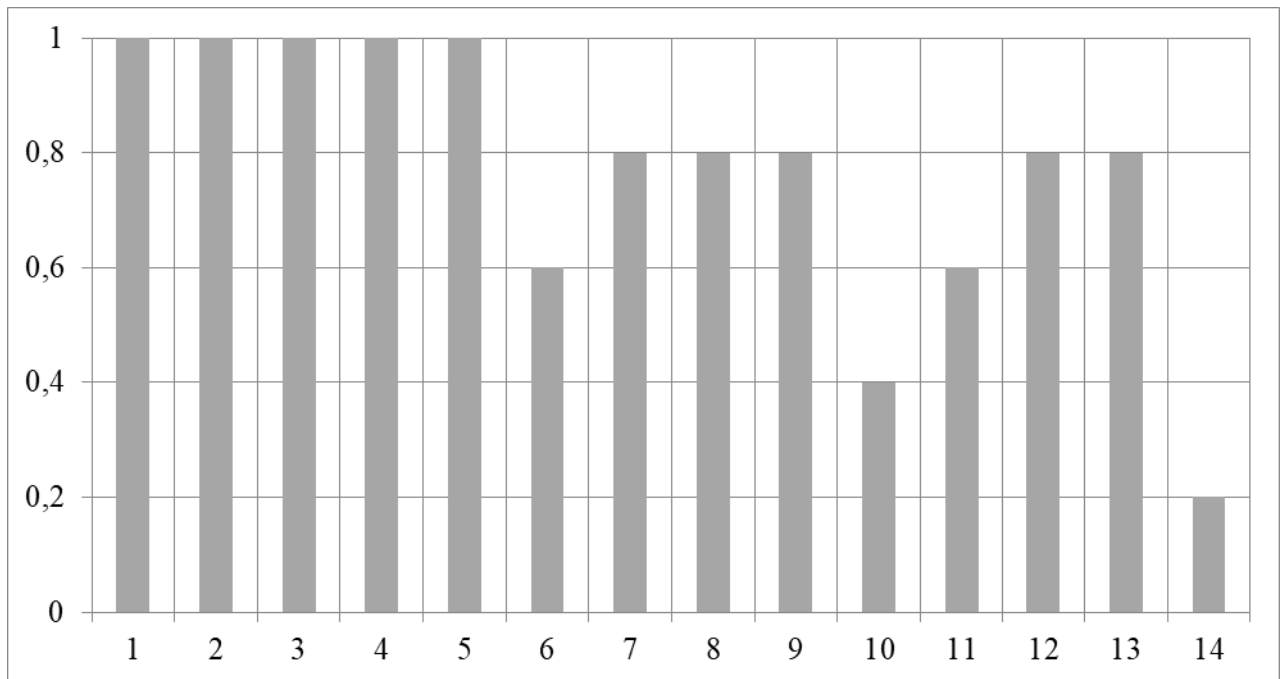


Рисунок 1.2 – Значения коэффициентов эффективности применения (по оси ординат) различных способов устройства свайных фундаментов (по оси абсцисс) по факторам обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах с преобладающими напластованиями слабых водонасыщенных грунтов: 1–5 – погружение свай заводского изготовления соответственно забивкой в целик, а также в разрыхленный грунт, вдавливанием и вибрационным способом; 6–9 – устройство набивных свай соответственно с вкручиванием обсадных труб с теряемым наконечником, вытеснением без наконечника, забивкой и вибрационным погружением обсадных труб с теряемым наконечником; 10–14 – устройство буровых свай проходными шнеками соответственно с двойным вращением шнека в обсадной трубе, в обсадных трубах большого диаметра, с промывкой ствола скважин глинистым раствором и с формированием уширений ствола свай по разрядно-импульсной технологии (РИТ)

Совместный анализ данных, представленных на рисунке 1.2, позволяет сделать следующие выводы. В условиях производства работ с позиций обеспечения сплошности стволов наиболее рационально применять технологии погружения элементов заводского изготовления при любых режимах ( $K_{\text{пр}} = 1,0$ ). Анализ значений, полученных для набивных режимов, показывает, что при формировании ствола сваи в грунте при свободном сбросе бетонной смеси в трубы и погружении в нее арматурного каркаса показатели качества имеют малоперспективный уровень и требуют совершенствования ( $K_{\text{пр}} = 0,6$ ). При подаче бетонной смеси под давлением через бетонолитные трубы либо использовании дополнительных



виброударных режимов ее уплотнения показатель эффективности применения согласно имеет, согласно данным табл. 2.24, уровень «перспективно» ( $K_{\text{ПР}} = 0,8$ ).

При изготовлении ствола сваи с извлечением грунта шнеками, подачей бетонной смеси через их полость и погружением арматурного каркаса в сформированную скважину значение коэффициента  $K_{\text{ПР}} = 0,4$ . Таким образом, применение технологии имеет ограничения в условиях напластований слабых грунтов. Это подтверждается тем, что в практических условиях при устройстве технологии проходного шнека и необоснованном выборе параметров бурения наблюдают дефекты стволов свай в виде наплывов, шеек и т. п., связанных с извлечением на поверхность грунта из скважин с объемом, превышающим расчетные значения [76, 79, 111, 114, 141]. Такие эффекты наблюдают при обработке стволов скважин по технологии РИТ, вызывающей неконтролируемые уширения с расплывами бетонной смеси в пластах слабых грунтов ( $K_{\text{ПР}} = 0,2$ ).

При использовании буровых режимов следует применять жесткие бетонные смеси и заполнять скважины глинистым раствором для обеспечения их устойчивости ( $K_{\text{ПР}} = 0,8$ ). Для этих технологических режимов эффективны способы подачи бетонной смеси с применением вертикальных перемещающихся труб (ВПТ).

На рисунке 1.3 представлены полученные автором результаты расчета коэффициента эффективности применения различных способов устройства свайных фундаментов при производстве работ в геологических разрезах с напластованиями плотных пород. В таких условиях возникают технологические трудности, связанные с необходимым заглублением элементов (как свайных, так и элементов ограждений котлованов) на требуемую глубину для обеспечения их необходимой заделки или сопротивления по лобовой поверхности.

Совместный анализ значений, представленных на рисунке 1.3, позволяет сделать следующие выводы.

Для погружения элементов заводского изготовления перспективно применять забивные режимы с предварительным рыхлением грунта породы ( $K_{\text{ПР}} = 0,6–0,8$ ). В толщах таких пород мощностью более 3–5 м погружение элементов вибрационным методом и статистическим вдавливанием малоперспективно ( $K_{\text{ПР}} < 0,4$ ).

Кроме того, с 2015 г. на рынке установок вдавливания появились установки, позволяющие развивать статические усилия вдавливания до 4500 кН, что делает их применение перспективным ( $K_{ГП} > 0,6$ ).

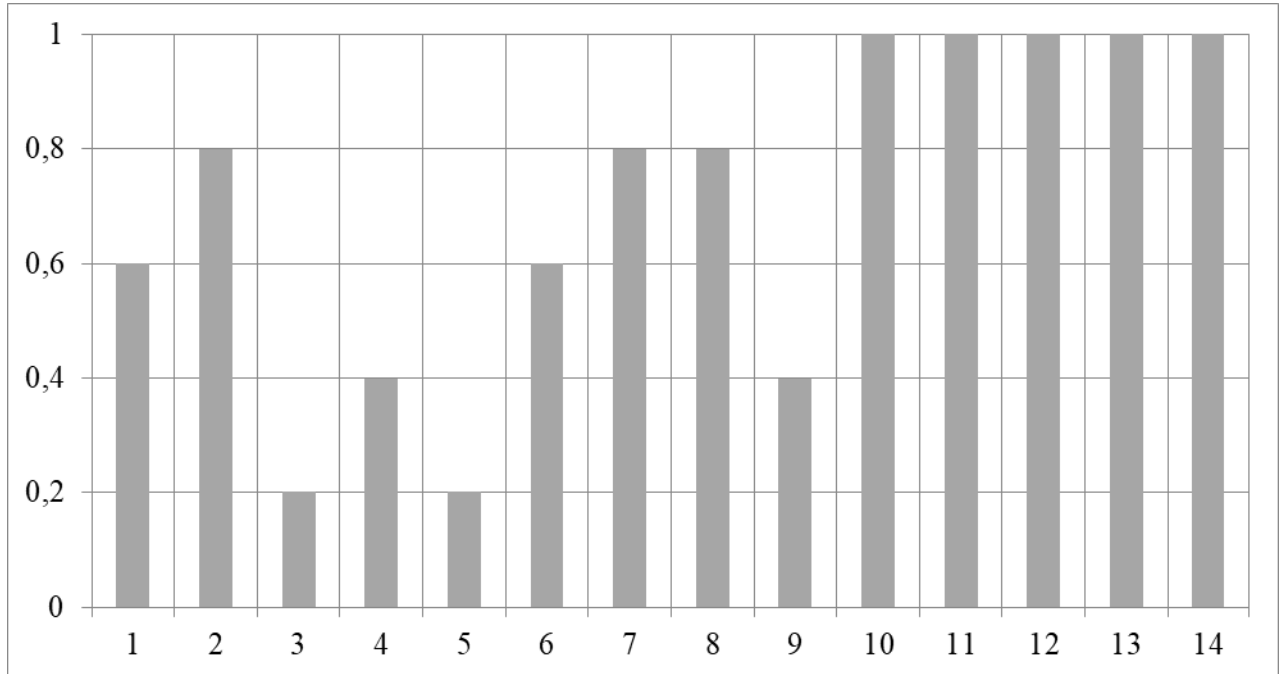


Рисунок 1.3 – Значения коэффициентов эффективности применения (по оси ординат) различных способов устройства свайных фундаментов (по оси абсцисс) по факторам обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах с напластованиями плотных грунтов (обозначение технологий то же, что и на рисунке 1.2)

Анализ значений  $K_{ГП}$  показывает эффективность применения набивных режимов, при которых скважина формируется посредством ввинчивания обсадных труб, оснащенных раскатчиком, позволяющим осуществлять заглубление свай в плотные породы ( $K_{ГП} = 0,8$ ).

Вибрационные режимы погружения буровых труб малоперспективны ( $K_{ГП} = 0,4$ ). Таким образом, при наличии в геологических разрезах напластований плотных пород от таких режимов следует отказаться.

Для рассматриваемых условий применение буровых способов устройства свай наиболее приемлемо ( $K_{ГП} = 1,0$ ). Это связано с тем, что при буровых режимах можно выполнить подбор породоразрушающего инструмента (вплоть до применения пневмоударных режимов) в зависимости от прочностных характеристик пород.

Выполненный анализ позволил автору выявить области рационального применения различных технологических режимов как устройства свай, так и изготовления элементов различного назначения в зависимости от характеристик грунтов в пределах геологического разреза. Графическое представление их областей в виде диаграмм, составленных для геологических разрезов с преобладающими напластованиями глинистых и песчаных грунтов, представлено на рисунке 1.4.

На рисунке 1.5 показаны полученные результаты расчета коэффициента эффективности применения различных способов устройства и изготовления элементов в грунте в зависимости от факторов обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ. Генеральная определительная таблица для расчета коэффициента приведена в разделе 2.4. Она учитывает факторы, характерные для различных способов производства работ: воздействие на биосферу (атмо-, гидро- и литосферу), биотические воздействия и т. п.

Анализ значений показателей, приведенных на рисунке 1.5, позволяет сделать следующие практически важные выводы. По уровням шумового и динамического воздействия, распространяющегося в массиве грунта, ограниченно эффективны все способы, характеризующиеся ударными воздействиями при погружении элементов (как свайных, так и ограждений в грунте) ( $K_{\text{ПР}} = 0,8$ ). Весьма перспективны способы вдавливания элементов заводского изготовления и набивные режимы изготовления свай ( $K_{\text{ПР}} = 1,0$ ). Вибрационные режимы погружения свай или буровых труб следует применять совместно с дополнительными мероприятиями по снижению интенсивности вибрационного воздействия, распространяющегося в массиве грунта ( $K_{\text{ПР}} = 0,6$ ).

Буровые режимы с загрязнением прилегающей территории при извлечении на поверхность из скважин грунта и бурового шлама в зависимости от применяемых режимов имеют диапазон изменений коэффициента эффективности применения от 0,4 до 0,8.

На рисунке 1.6 представлены диаграммы с распределением значений коэффициента эффективности применения различных способов в зависимости от уровня их влияния на безопасность окружающей застройки. Соответственно, способы, для которых характерны технологические факторы, негативно влияющие на состояние конструкций таких зданий и сооружений, имеют наименьшие значения коэффициента.

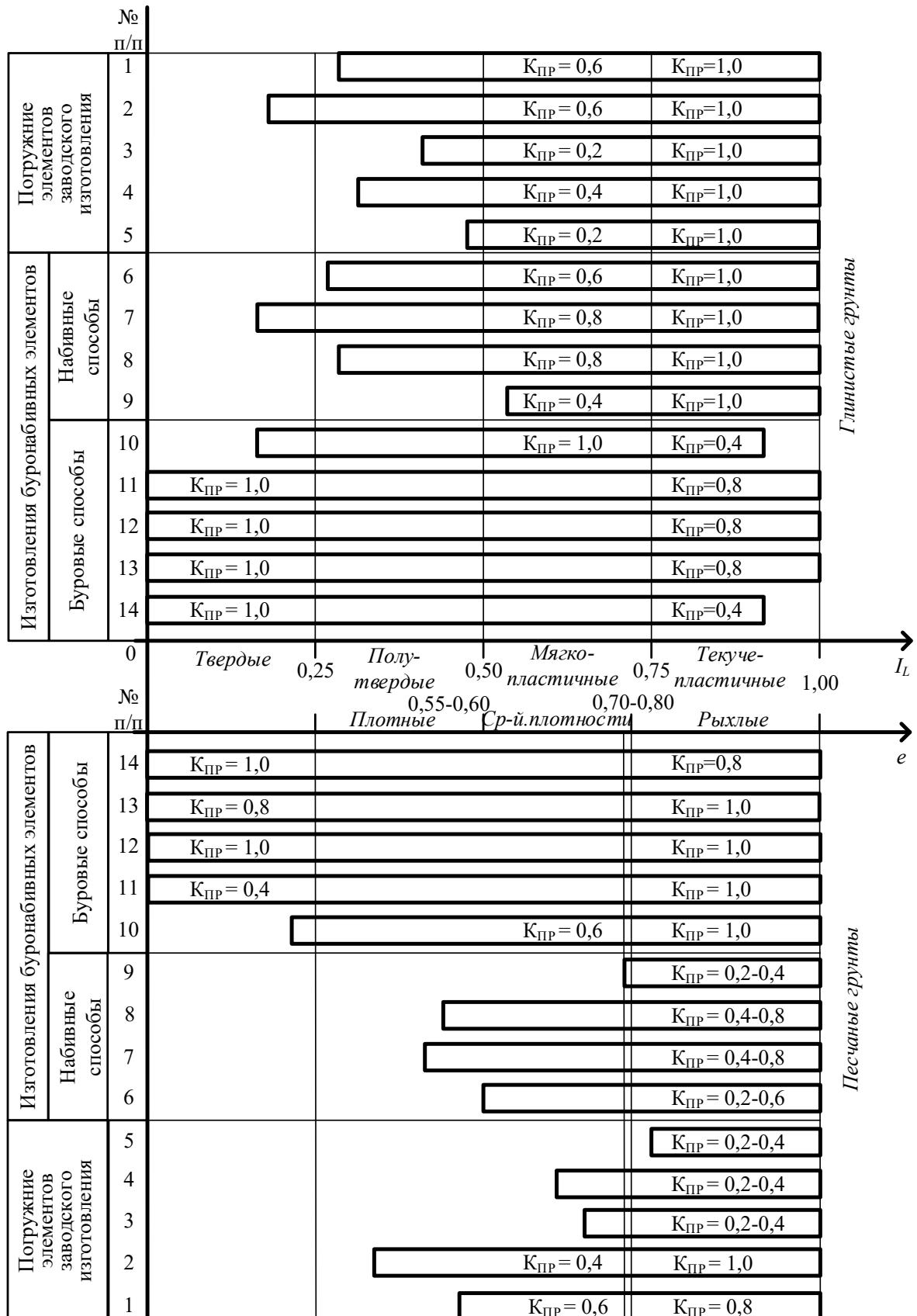


Рисунок 1.4 – Рациональные области применения технологической устройства и изготовления элементов в различных инженерно-геологических условиях:  $I_L$  – показатель текучести глинистых грунтов;  $e$  – коэффициент пористости песчаных грунтов (обозначение технологий (1–14) то же, что и на рисунке 1.2)

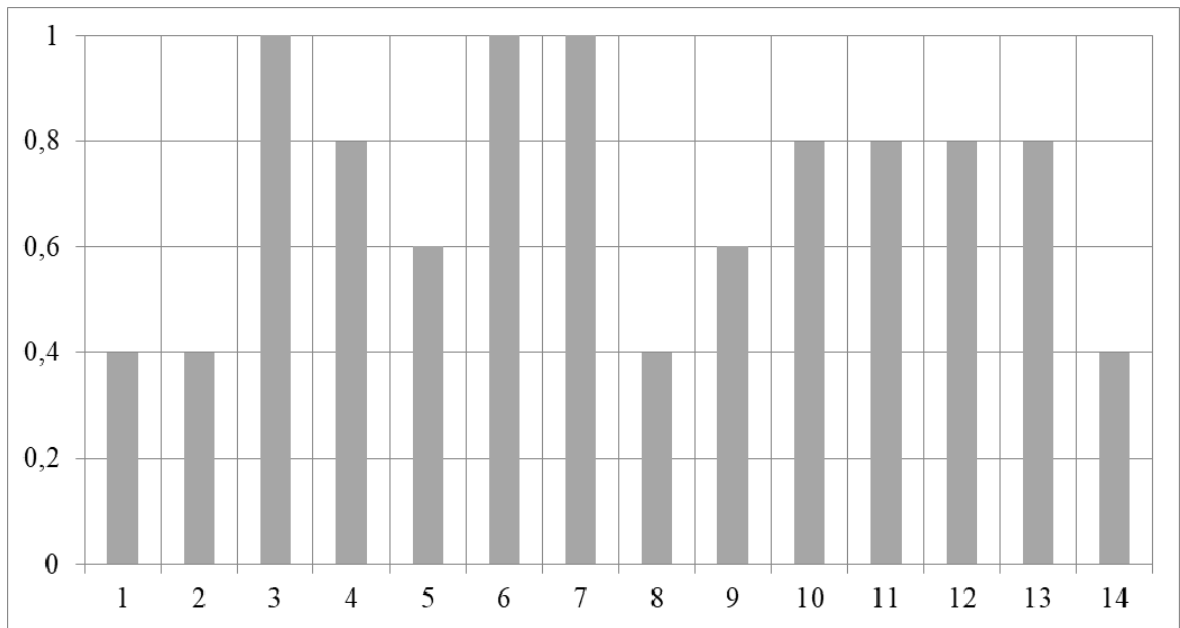


Рисунок 1.5 – Значения коэффициентов эффективности применения (по оси ординат) различных способов устройства элементов в грунте (по оси абсцисс) по факторам обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ (обозначение технологий (1–14) то же, что и на рисунке 1.2)

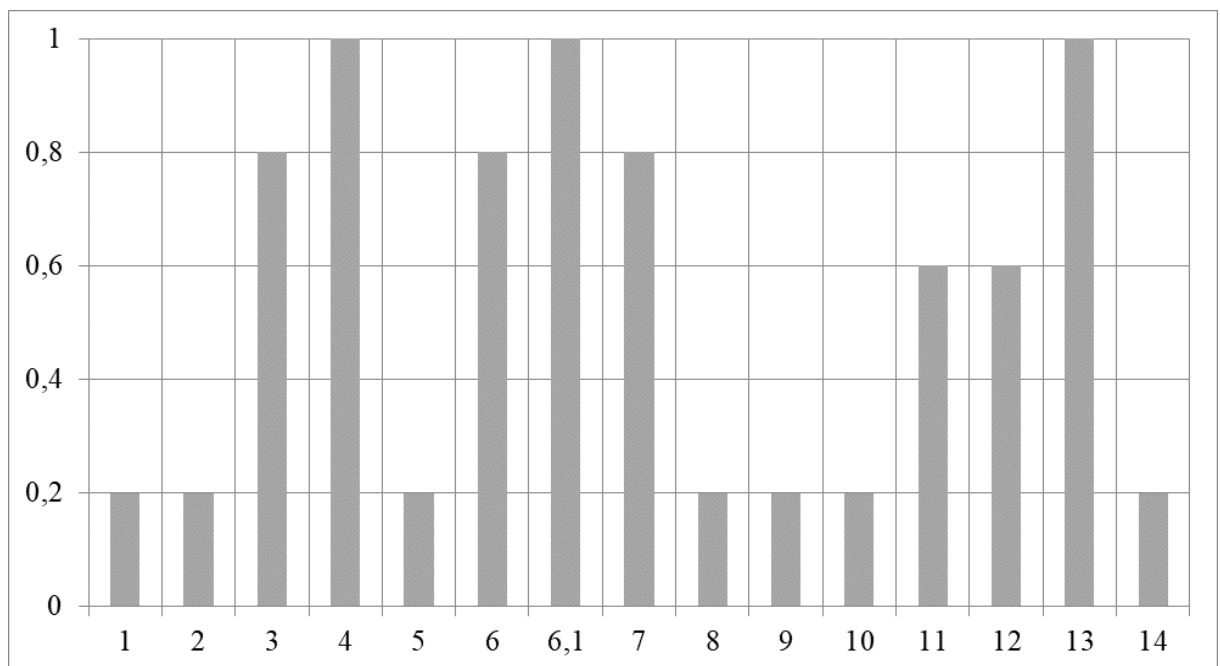


Рисунок 1.6 – Значения коэффициентов эффективности применения (по оси ординат) различных способов устройства свайных фундаментов (по оси абсцисс) по факторам влияния технологических параметров на безопасность окружающей застройки в процессе работ (обозначение технологий (1–14) то же, что и на рисунке 1.2; 6.1 означает набивные сваи без извлечения грунта с теряемым наконечником и с предварительным рыхлением грунта, служащим для снижения интенсивности развития процессов вытеснения грунта)

Исходя из анализа данных рисунка 1.6, на рисунке 1.7 автор представил результаты обоснованных рациональных областей применения указанных технологий в зависимости от интенсивности показателей их влияния на конструкции прилегающих к участку строительства зданий и сооружений.

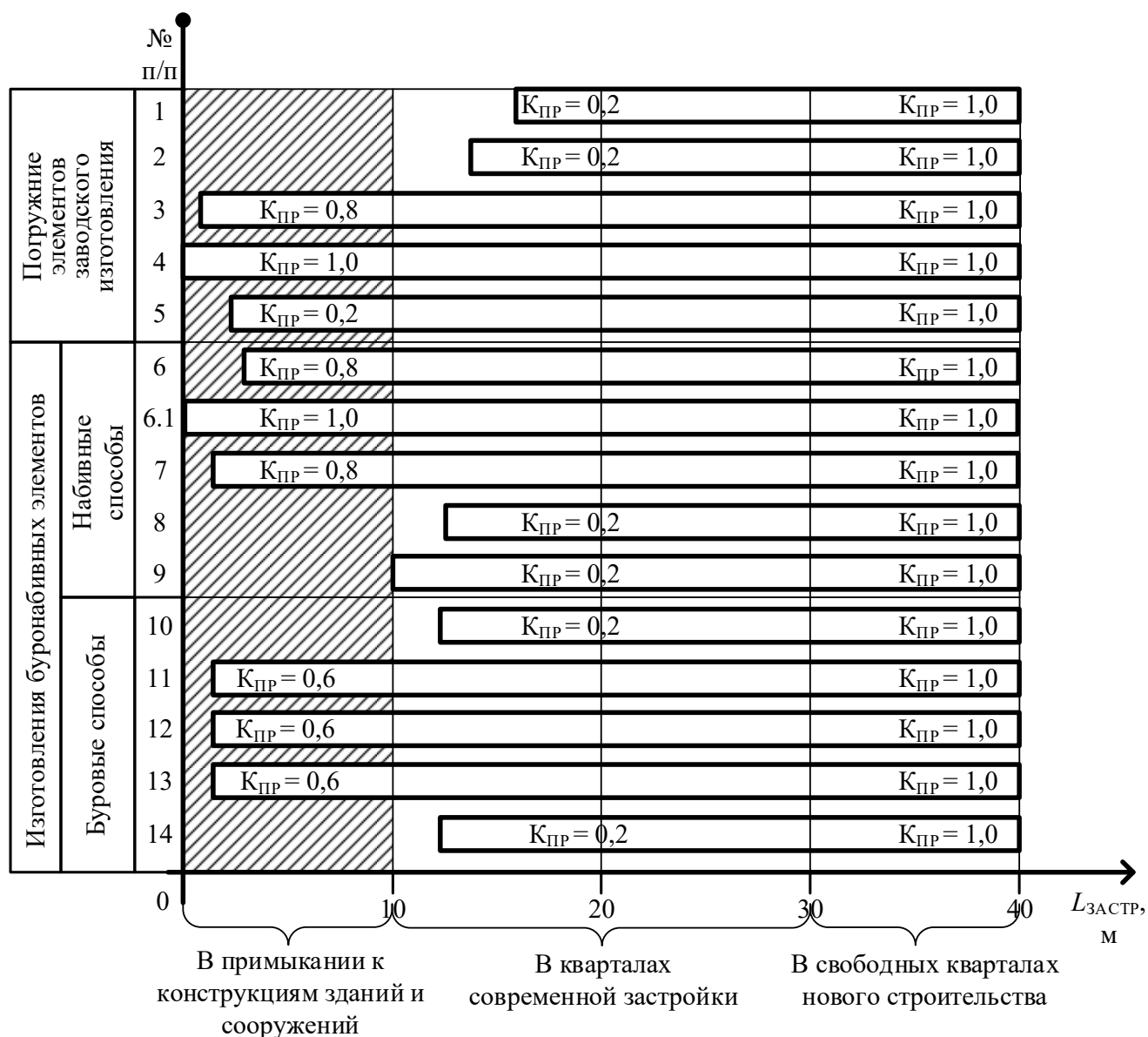


Рисунок 1.7 – Рациональные области применения технологического устройства и изготовления свайных элементов в зависимости от интенсивности показателей их влияния на конструкции прилегающих к участку строительства зданий и сооружений:  $L_{застр}$  – расстояния от участка строительства до существующих зданий и сооружений (обозначение технологий (1–14) то же, что и на рисунке 1.4; число 6.1 означает набивные сваи без извлечения грунта с теряемым наконечником и с предварительным рыхлением грунта; заштрихованные области показывают наличие ограничений по интенсивности технологическому воздействию на существующие конструкции)

Таким образом, по фактору влияния, оказываемого на конструкции зданий и сооружений при производстве специальных работ в стесненной застройке, получен следующий ранжированный ряд способов в порядке убывания их эффективности: вдавливание элементов сплошного поперечного сечения в предварительно разрыхленный массив грунта ( $K_{ГПР} = 1,0$ ); изготовление набивных элементов вытеснения и с теряемым башмаком ( $K_{ГПР} = 1,0$ ); вдавливание элементов сплошного поперечного сечения с предварительным рыхлением грунта ( $K_{ГПР} = 1,0$ ); изготовление набивных элементов с теряемым башмаком с предварительным рыхлением грунта ( $K_{ГПР} = 1,0$ ); изготовление буровых элементов с промывкой скважин глинистым раствором ( $K_{ГПР} = 1,0$ ); вдавливание свай ( $K_{ГПР} = 0,8$ ); изготовление набивных элементов вытеснения и с теряемым башмаком ( $K_{ГПР} = 0,8$ ), изготовление буровых элементов в обсадных трубах большого диаметра без применения ударных режимов проходки ( $K_{ГПР} = 0,6$ ); то же с двойным вращением шнека в обсадной трубе ( $K_{ГПР} = 0,6$ ). Для указанных условий не рекомендуют применять ударные способы с подмывом и виброударное погружение элементов, изготовление буровых свай проходными шнеками и с обработкой свежеложенной бетонной смеси методом РИТ, закрепление массива грунта высоконапорной струйной цементацией (*jet*), а также устройство выработок большого поперечного сечения без закрепления их стволов ( $K_{ГПР} = 0,2$ ).

В ходе исследования технологических показателей представленных выше способов производства работ автором выделены характерные для них следующие показатели (простые свойства), диктующие выбор способа для конкретных инженерно-геологических условий строительных площадок, а также их эффективность:

- 1) определяющие возможность погружения или устройства свай с определенными конструктивными свойствами;
- 2) определяющие безопасность применения рассматриваемого способа для окружающей застройки;
- 3) надежность и качество работ при реализации способов в стесненных условиях строительных площадок;
- 4) экономические показатели.

Структура представленных показателей будет обоснована в главе 2.

## **1.2. Исследование эффективных областей применения способов устройства ограждений котлованов**

Практика строительства в современных условиях городской застройки определяется возрастающими объемами возведения зданий и сооружений различного назначения, отличительной особенностью которых являются передача значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок на грунт основания, а также наличие развитой подземной части, в которой располагают технические помещения, паркинги, торгово-развлекательные центры и т. п.

При устройстве фундаментов современных зданий и сооружений следует решать проблемы устройства специальных ограждающих конструкций котлованов, глубина которых может достигать 15–20 м [32, 60, 75, 77, 90, 124, 134, 149, 154]. Это подтверждается результатами исследований и анализом опыта работ, приведенными в трудах следующих авторов: Westermann K., Meier J., Pitteloud L. (2020); Taiyari, F. Kharghani, M. Hajihassani, M. (2020); Chen B.-G., Yan T.-F. Wang C.-P., Zong Q.-L. (2020); Gloimüller S., Pánová P., Lang G. (2020); Ramm H., Reul O., Ruiken A., Kissel W., Toker E. (2020); Yao Z.-A., Chen B.-Y. (2020); Yang X., Jia S., Wen C., Liu Y. (2020); Zheng S. (2020); Ju S., Liu Y., Dong Z., Gui D. (2020); Lu Y., Bian Y., Liu F., Huang J., Chen J. (2020); Feng Z., Shen Y. (2020); Wang W., He X. (2020); Zuo Z., Fu H., Zhang J., Lin R. B., Gong J. (2019); Guo Y.-C., Li M.-Y., Zhang Y.-W. (2019); Ye S., Li D. (2019); Wang Z., Guo X., Wang C. (2019) [164, 169, 174, 176, 187, 188, 197, 200, 208–210, 212, 213, 215, 221, 225]. Такие конструкции должны служить водогрунтонепроницаемой преградой при высоком уровне грунтовых вод, иметь достаточную жесткость для восприятия давления прилегающего массива грунта и временных нагрузок, возникающих от движения строительной техники, площадок складирования и т. п.

К выбору технологий устройства ограждений котлованов предъявляют особые требования при наличии в пределах зоны их влияния существующих зданий и сооружений. Устройство котлованов больших объемов приводит к изменению напряженно-деформируемого состояния грунта, просадкам его поверхности и де-



формациям конструкций существующих зданий, прилегающих к строительной площадке. В таких условиях необходимо предусматривать специальные системы креплений для ограничения горизонтальных перемещений ограждений котлованов в виде распорных конструкций, анкерных креплений, элементов перекрытий и т. п. [77, 90, 124, 134, 149, 154].

Исследованиям в области разработки эффективных конструктивно-технологических решений ограждений котлованов посвящены труды следующих авторов: Готмана А. Л., Готман Н. З., Безволева С. Г., Белова Г. А., Богова С. Г., Верстова В. В., Граника Ю. Г., Гурского А. В., Далматова Б. И., Жусуабекова А. Ж., Ильичева В. А., Караулова А. М., Конюшкова В. В., Конюхова Д. С., Короткого Д. А., Крутова В. И., Ланькова С. В., Мангушева Р. А., Мирсаяпова И. Т., Невзорова А. Л., Никифоровой Н. С., Осокина А. И., Офихтера В. Г., Парамонова В. Н., Перлея Е. М., Перминова Н. А., Петрухина В. П., Петрухина С. Г., Полищука А. И., Понамарева А. Б., Прошина М. В., Сапина Д. А., Сахарова И. И., Сенина Н. И., Тер-Мартirosяна З. Г., Уздина А. М., Улицкого В. М., Усманова Р. А., Филипова Е. А., Чернякова А. В., Шашкина А. Г., Шумейко В. И., Шулятьева О. А., Эль-Моссалайми Й., Ahmed H., Abdel-Rahman, Amman P., Aslan U., Bachmann G., Breth H., Burland J. B., Broms B. B., Chen L., Comodromos E. M., Conte G., Cooke R., Hanisch J., Gutberlet C., Gutward J., Katsenbach R., Konstantinidis G. K., Leppla S., Mandolini A., Papadopoulou M. C., Poulos H. G., Randolph M., Schafer R., Schmitt A., Simha J., Small J. C., Ta L. D., Triantafyllidis T., Turek J. и других отечественных и зарубежных ученых.

Следует отметить, что для решения указанных задач, представленных в работах указанных авторов, в настоящее время используют разнообразные технологии с различными показателями эффективности, проявляющимися в конкретных условиях строительных площадок. Так, на основании анализа опыта строительства и анализа современных научных публикаций и монографий автором выявлены следующие современные технологии устройства ограждений котлованов и их креплений в условиях городской застройки, классификация которых приведена на рисунке 1.1:

- траншейные монолитные стены в грунте, разрабатываемые грейфером, с устройством систем обвязочных и распорных стальных балок или контрфорсов,

а также с креплением жесткими дисками перекрытий, выполняемыми способом «сверху вниз»;

- стены в грунте, устраиваемые из секущихся или касательных буронабивных свай, зоны касания которых дополнительно усиливают по технологии струйной цементации;
- шпунтовые ограждения, преимущественно из профилей корытообразного или Z-образного сечения длиной до 30 м, погружаемые вдавливанием или вибрационным способами, с креплением перекрытиями, бетонируемыми способом «сверху вниз», цементацией прилегающего грунта по струйной технологии и устройством распорных ферм из стальных балок с грунтовыми бермами;
- погружение опускных колодцев различными способами (задавливанием, с предварительной обработкой грунта и его извлечением из-под ножа, с антифрикционной обмазкой стен; погружение в тиксотропной рубашке, с предварительным устройством геотехнических барьеров вдоль сохраняемых зданий).

При этом каждая из этих технологий в определенных инженерно-геологических условиях может проявить свои преимущества и недостатки. Так, бетонирование конструкций стен в грунте всегда сопряжено с различными дефектами их сплошности, которые подлежат выявлению только при разработке котлованов. Как показал анализ опыта работ при устройстве секущихся свай, в условиях напластований техногенных или слабых водонасыщенных грунтов сложно выполнить качественное водонепроницаемое ограждение. Кроме того, эти технологии не отвечают требованиям минимальных габаритов строительной площадки при производстве работ в стесненных условиях.

Устройство ограждений из стального шпунта является самым экономичным вариантом из представленных выше. Вместе с тем недостаточная жесткость конструкций затрудняет производство работ в котлованах глубиной свыше 5–10 м.

По аналогии с анализом технологий устройства свайных фундаментов, автором представлены результаты расчета коэффициентов эффективности применения технологий  $K_{ГР}$  (таблица 1.1). Указанные коэффициенты получены автором на основании анализа генеральных определительных таблиц (ГОТ), составленных автором.

Таблица 1.1 – Анализ показателей современных технологий устройства ограждений котлованов

№	Наименование технологий	Конструктивные максимальные параметры ограждений: длина/ширина, м	Значения коэффициента К <sub>ПР</sub>					
			в примыкании к существующим зданиям	возможность восприятия нагрузок от существующих зданий	в условиях слабых водонасыщенных грунтов	Показатели качества (водонепроницаемости)	Показатели производительности труда	Экономическая эффективность
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Без креплений с устройством откосов котлованов</b>								
<b>Устройство котлованов с откосами и их нагельным креплением</b>								
<b>А. С применением элементов заводского изготовления</b>								
3.1	Погружение шпунта вибрационными машинами	35/–	0,6	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0
3.2	То же, вдавливанием	20/–	1,0	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8
3.3	То же, вдавливанием в предварительно разрыхленный грунт	20/–	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6
3.4	То же, забивкой	18/–	0,4	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0
3.5	Погружение стальных элементов с заполнением пространства между ними различными щитами	12/0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	0,8	1,0
<b>Б. С изготовлением на строительной площадке ограждений в грунте</b>								
4.1	Устройство касательных буронабивных свай	28/0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8
4.2	Устройство касательных буронабивных свай с цементацией их контактных зон	28/0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
4.3	Устройство секущихся буронабивных свай	28/0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6
4.4	Устройство сплошных монолитных стен в грунте с применением механического грейфера	45/0,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6
4.5	То же с применением гидравлической фрезы	30/0,6	0,8	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6
4.6	Закрепление массива грунта посредством буросмесительной технологии (грунтобетонные сваи)	26/2,0	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,8
4.7	Закрепление массива грунта методами струйной цементации	20/2,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6
4.8	Погружение опускного колодца	70/6	0,6	0,8	0,8	1,0	0,6	0,4

С учетом анализа представленных в таблицах 1.2 и 1.3 показателей, автором были получены графические зависимости, определяющие рациональные области применения различных технологических решений ограждений котлованов и систем их креплений (рисунок 1.8). В таблице 1.3 представлены показатели эффективности комбинации различных способов устройства ограждений котлованов.

Таблица 1.2 – Анализ показателей современных способов устройства креплений ограждений котлованов

№	Наименование технологий	Ориентировочные размеры зоны влияния на окружающую территорию при устройстве котлована	Значения коэффициента $K_{пр}$		
			Оценка обеспечения устойчивости ограждения котлована	Показатели производительности труда	Экономическая эффективность
1	2	3	4	5	6
<b>А. Устройство креплений ограждений в открытых котлованах</b>					
5.1	Устройство грунтовых анкеров	$2H_k$	0,8	0,6	0,6
5.2	Консольные ограждения с поясами жесткости	$4H_k$	0,4-0,6	1,0	1,0
5.3	Временные распорные горизонт. крепления из стальных балок	$4H_k$	0,8	1,0	0,8
5.4	То же, промежуточными сваями-стойками	$4H_k$	0,8	0,8	0,8
5.5	Временные распорные горизонт. крепления из инвентарных рам	$4H_k$	0,8	1,0	1,0
5.6	Крепление ограждений тягами к анкерным стенкам из свай или шпунта	$4H_k$	0,4	0,80	0,8
5.7	Островной способ с грунтовыми бермами и подкосами, укрепленными в фундаментные плиты	$4H_k$	0,40–0,6	0,8	0,8
5.8	Закрепление грунта в примыкании к ограждению методами струйной цементации	$3H_k$	0,8	0,6	0,6
5.9	То же, создание сплошных горизонтальных диафрагм под дном котлована	$3H_k$	0,8	0,6	0,6
5.10	Устройство вертикальных контрфорсных элементов вдоль ограждения	$3H_k$	0,6	0,8	0,8
<b>Б. Устройство креплений ограждений в закрытых котлованах</b>					
6.1	По технологии top-down	$2H_k$	1,0	0,6	0,4
6.2	То же, с применением инвентарных стальных удерживающих ферм	$3H_k$	1,0	0,6	0,6
6.3	То же, в комбинации с устройством грунтовых берм по контуру ограждения	$3H_k$	1,0	0,6	0,6
6.4	Полузакрытый способ с бетонированием перекрытий по контуру ограждения (semi top-down)	$2H_k$	0,8	0,8	0,8

*Примечание:* размеры зон влияния устройства котлована с рассматриваемыми системами креплений ограждениями приведены согласно СП 22.13330;  $H_k$  – глубина котлована.

Таблица 1.3 – Показатели эффективности возможного совмещения различных технологий устройства ограждений котлованов и способ обеспечения их устойчивости

Технологии устройства ограждений котлована	Технологии устройства систем креплений ограждений котлованов								
	Устройство грунтовых анкеров	Распорные крепления из стальных балок	Крепление тягами к анкерным стенкам из свай или шпунта	Островной способ с грунтовыми бермами	Цементация прилегающего массива грунта	Создание грунтоцементной диафрагмы под дном котлована	Устройство контрфорсных элементов	По технологии top-down	
								Сплошное перекрытие (top-down)	Перекрытие по контуру (semi top-down)
Погружение стального шпунта	0,8	1,0	0,6	1,0	0,90	0,93	0,2–0,4	1,0	0,8
Погружение стальных элементов с заполнением пространства между ними различными щитами	0,4	0,8	0,4–0,6	0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2	0,2
Устройство ограждение из буронабивных свай	0,6–0,8	0,6	0,4	0,8	0,8	1,0	0,2–0,4	0,6	0,6
Устройство сплошных монолитных стен в грунте	0,8	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	1,0	1,0	1,0
Закрепление массива грунта посредством бурсмесительной технологии (грунтобетонные сваи)	0,8	0,2	0,2	0,6	0,2–0,4	0,4	0,8	0,6	0,4
Закрепление массива грунта методами струйной цементации	0,8	0,2	0,2	0,6	0,2–0,4	0,4	0,8	0,4–0,6	0,4

Представленный анализ позволил автору выявить различные технологические показатели, на основании которых следует проводить оценку эффективности указанных технологий для различных инженерно-геологических условий площадок строительства. Эти показатели перечислены ниже.

А. Показатели, определяющие возможность обеспечения проектных решений:

- геометрические показатели элементов;
- момент сопротивления поперечного сечения ограждения;
- изгибная жесткость погонного метра ограждения,  $\text{kH} \cdot \text{m}^2/\text{m}$  [118].

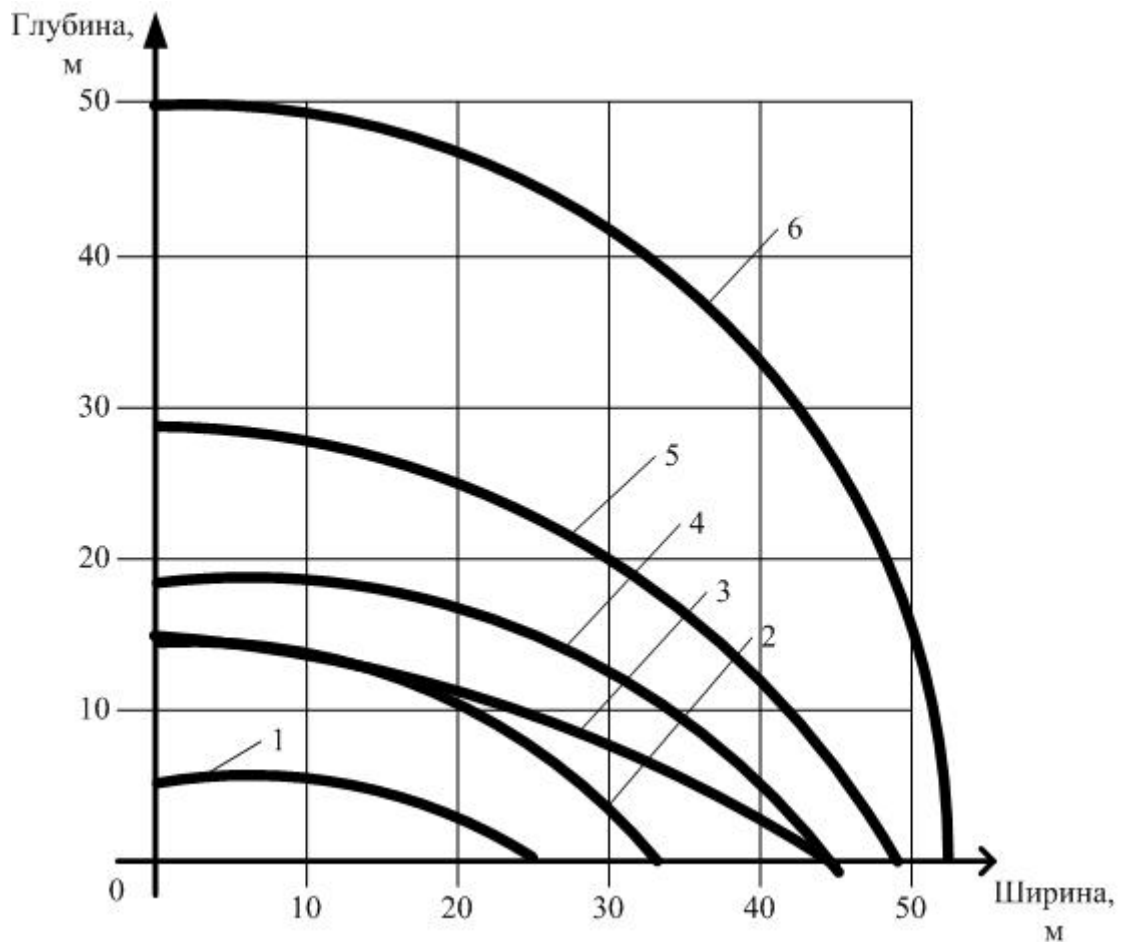


Рисунок 1.8 – Номограмма предельных параметров котлованов с различными технологическими вариантами устройства ограждений: 1, 2, 3 – соответственно с применением стального шпунта: консольные ограждения, с креплением стальными балками, с грунтовыми анкерами; 4 – секущиеся сваи с креплениями в виде горизонтальных стальных балок; 5 – устройство сплошных монолитных стен в грунте с креплениями перекрытиями (технология top-down); 6 – погружение монолитного опускающего колодца

Б. Показатели, определяющие безопасность реализации рассматриваемого способа для окружающей застройки при производстве работ в квартале существующей застройки:

- уровни загрязнения биосферы;
- границы опасных зон, возникающих при работе строительных машин;
- воздействие на напряженное состояние массива грунта и конструкций существующих зданий и сооружений.

В. Показатели качества работ:

- водонепроницаемость ограждения;

- техническая возможность заглубления в породы плотных грунтов;
- возможность оперативного производственного контроля качества.

Г. Показатели, определяющие эффективность реализации способов в условиях строительных площадок:

- трудоемкость и продолжительность работ;
- состав комплексной бригады;
- коэффициенты эффективности использования механизации.

Д. Показатели, определяющие эффективность реализации анализируемых способов в стесненных условиях строительных площадок:

- соотношение значений фактических и требуемых для производства работ (монтажа и доставки оборудования) площадей;
- показатели снижения производительности труда;
- техническая возможность производства работ в условиях наличия ограничений различного характера.

Е. Экономические показатели с учетом анализа структуры дополнительных затрат.

Таким образом, в настоящем разделе автором установлено многообразие существующих современных способов, позволяющих выполнять ограждение котлованов для различных условий площадок строительства. Исследования рациональных областей их применения представлены автором в следующих разделах.

### **1.3. Анализ тенденций в области разработки методологий выбора способов производства специальных работ в грунтах**

В двух предыдущих разделах автором было установлено, что при производстве специальных работ в грунтах существуют различные технологические решения, позволяющие выполнять конструкции примерно с одинаковыми конструктивными параметрами, но с различными трудозатратами, сроками работ, производительностью, стоимостью. Причем применение некоторых технологий может приводить к нарушению качества работ (потерям сплошности свай, водонепроницаемости ограждения или к недопустимым деформациям). При производстве работ в условиях окружающей застройки ошибочно выбранные технологические режимы ведут к нарушению НДС массива грунта, снижению несущей способности фундамента и недопустимым осадкам конструкций фундаментов существующих зданий. Причины, вызывающие такие явления, и научный анализ их последствий и путей предотвращения рассмотрены в работах Бадьина Г. М., Безволева С. Г., Богова С. Г., Готмана А. Л., Готман Н. З., Далматова Б. И., Дьякова И. П., Жусупбекова А. Ж., Знаменского В. В., Ильичева В. А., Караулова А. М., Конюшкова В. В., Короткого Д. А., Крутова В. И., Мангушева Р. А., Мирсаяпова И. Т., Невзорова А. Л., Никифоровой Н. С., Нуждина Л. В., Осокина А. И., Офихтера В. Г., Парамонова В. Н., Петрухина С. Г., Полищука А. И., Сахарова И. И., Сенина Н. И., Тер-Мартirosяна А. З., Тер-Мартirosяна З. Г., Уздина А. М., Улицкого В. М., Шашкина А. Г., Шумейко В. И., Шулятьева О. А., Эль-Моссалайми Й., Amman P., Aslan U., Breth H., Broms B. B., Burland J. B., Chen L., Cooke R., Gutward J., Hanisch J., Katsenbach R., Poulos H. G., Schmitt A., Simha J., Small J. C., Ta L. D., Turek J. и других ученых.

Кроме того, при устройстве конструкций фундаментов в кварталах массовой застройки при неэффективно обоснованных режимах соответствующих работ наблюдаются различные ситуации потери качества конструкций фундаментов, требующие дополнительных стоимостных и временных затрат, требующихся на их ликвидацию. Так, на основании анализа опыта работ автором установлены случаи



смещения погруженных свай и элементов ростверков преимущественно в направлении от динамического воздействия на грунт со стороны, например, копра или буровой установки. Такие смещения наиболее интенсивно проявляются, когда свайные работы выполняются вблизи откосов или различных технологических выемок. На ряде объектов также наблюдались смещения стволов готовых свай при разработке котлованов, вызванные действием бокового давления грунта на сваи в откосах котлованов (технологических выемок) [36].

Смещения свай приводят к появлению дополнительных усилий в их стволах, а при их совместной работе с конструкциями здания – к возникновению дополнительных эксцентриситетов и неравномерных осадок, что также существенно сказывается на ростверке и вертикальных элементах подземной части (стенах и колоннах). На рисунке 1.9 показаны характерные схемы, при использовании которых наблюдаются такие смещения. Эти данные получены автором при анализе исполнительной документации по устройству свайных фундаментов в слабых водонасыщенных грунтах, характерных для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Для компенсации негативных последствий смещения свай проводятся: погружение дублирующих элементов; дополнительное армирование ростверка; корректировка типа ростверка – устройство сплошных монолитных участков для отдельно стоящих и ленточных ростверков. Следует отметить, что в зонах деформационных швов зданий задача изменения конструкций фундаментов решается достаточно сложно. Такие работы приводят к дополнительным (и иногда значительным) затратам.

Автором установлено, что при обоснованном выборе параметров производства работ и правильном совмещении их с циклом разработки котлована возникновения указанных ситуаций потери качества работ можно избежать.

Учитывая важность рассматриваемого вопроса, следует отметить, что для решения указанных задач имеется много конкурентных технологий с различными показателями эффективности в конкретных инженерно-геологических условиях площадки при наличии близко расположенных зданий. При этом на практике выбор

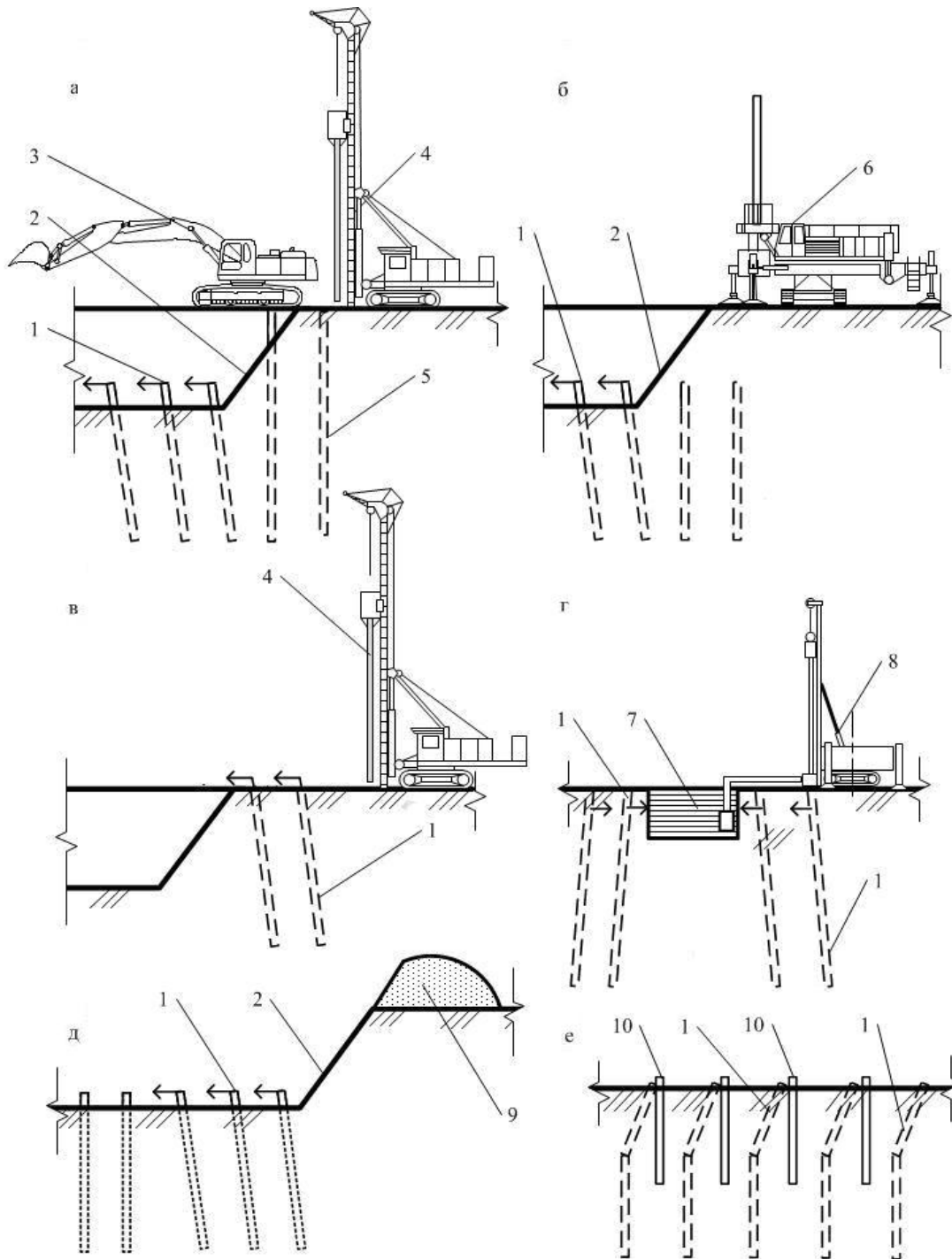


Рисунок 1.9 – Схемы характерных случаев смещения свай под действием бокового давления грунта (а–д) и схема погружения дублирующих свай (е): а, в – при совмещении работ по разработке котлована и устройству свай с поверхности грунта; б – то же при вдавливании и последующем допогружении свай до проектного уровня; г – при наличии приямка (зумпфа) для сбора глинистого раствора; д – при дополнительных технологических нагрузках на уровне бровки котлована. Условные обозначения: 1 – смещенная свая (стрелка указывает направление смещения); 2 – откос котлована; 3 – экскаватор; 4 – буровая установка; 5 – свая, погружаемая с поверхности грунта; б – установка вдавливания; 7 – приямок для глинистого раствора; 8 – буровая установка для устройства свай под глинистым раствором; 9 – участок складирования грунта или строительных материалов; 10 – дублирующая свая

технологий производится на основании сравнения не более чем двух критериев: стоимости и производительности. Такой подход может привести к аварийным ситуациям при строительстве в сложных грунтовых условиях и при наличии приемыкания к существующим зданиям. Кроме того, такая практика в корне противоречит федеральному закону Российской Федерации № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», которым установлено обязательное требование по обеспечению безопасности зданий и сооружений на стадиях изыскания, проектирования, строительства и эксплуатации.

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 выполнении работ в частности.

Анализ практического опыта устройства фундаментов и научных публикаций показал, что в настоящее время применяют широкую номенклатуру современных конкурентных технологий производства специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведение перемычек на акваториях, обустройство заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружение опускных колодцев). В определенных инженерно-геологических условиях строительных площадок эти технологии проявляют как положительные, так и отрицательные свойства, включая влияние на конструкции соседних зданий и сооружений. Однако в известных научных публикациях и нормативной литературе до сих пор не представлены методологические подходы к обоснованию параметров или выбору (разработки) эффективных способов производства специальных работ в грунтах, а также не исследованы вопросы создания обобщенного, относительно универсального научного подхода к достижению указанной цели для различных инженерно-геологических условий.

#### **1.4. Исследование областей применения современных методологий выбора способов осуществления технологических решений**

Выполненный анализ показывает необходимость разработки методики определения единого критерия, позволяющего с учетом различных показателей, характеризующих разные современные способы производства специальных работ в грунтах, выполнить сопоставление и анализ их эффективности для различных инженерно-геологических условий площадок строительства.

Выполнен критический анализ существующих методических подходов, что позволит выявить свойственные им недостатки и наметить пути решения поставленной задачи в создании методики, отвечающей необходимым условиям.

Оценку известных методик следует осуществлять с учетом принципов квалиметрии, разработанных Азгальдовым Г. Г. [5–7]. Развитие этого теоретического подхода также изложено в работах Болотина С. А., Глинчева А. В., Завадскаса Э.-К. К., Костина А. В., Крапивенского З. Н., Кураченко Ю. П., Лapidуса А. А., Лопатникова Л. И., Панова В. П., Садова В. В., Федорова М. В., Шпекторова Д. М. Указанными авторами введено определение термина «квалиметрия» как научной дисциплины, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции (от латинского *qualis* – «качество» и греческого определения *μετρέω* — «измеряю») [5]. Элементы этих исследований содержатся в нормативной методике ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения», положения которой актуальны и в настоящее время.

Современные подходы к оценке свойств различных инженерных систем с позиций квалиметрии изложены в работах Argotti Y., Baron C., Esteban P. (2018); Andreichicov A. V., Firsov Y. A., Zudinov A. A., Tabunov E. V., Andreichicova O. N., (2018); Rudenko V. (2018) [158, 160, 199].

Эти методические подходы были изложены в работах Байбурина А. Х. [12, 13], посвященных оценке качества и безопасности строительных технологий. В результате исследований им были предложены система показателей комплексной оценки качества гражданских зданий различных конструктивных систем

и методика оценки компетентности участников строительства, а также разработаны методологические основы оценки и регулирования точности технологических процессов с учетом значимости выявленных дефектов [12] и т. п.

С учетом этого подхода известные методы анализируются на соответствие определенным свойствам, которые представлены на рисунке 1.10 [5]:

- **нетрудоёмкость** (1) – методика не должна требовать больших затрат сил и средств на её использование;
- **оперативность** (2) при применении с возможностью использования на предпроектной стадии, на которой известны условия реализации способов;
- **улучшаемость** (3) – методики необходимо улучшать по мере появления новых параметров, опыта применения определенных способов и т. п.;
- **количественность** (4) – результат оценок должен иметь количественное выражение в числовых значениях для удобства дальнейшего анализа;
- **одинаковость** (5) в применении для анализа различных способов производства работ;
- **глобальность** (6) – необходимость оценки способов с позиций различных участников процесса строительства: инвесторов, заказчиков, производителей работ, муниципальных образований, эксплуатирующих территории и т. п.;
- **гибкость методики** (7) при её применении в различных инженерно-геологических условиях конкретных строительных площадок;
- **единственность** (8) при выборе критерия или подхода, на основании которых выполняют оптимизацию или анализ эффективности способов;
- **сравнимость** (9) – возможность оценки различных способов, характеризующихся различными показателями;
- **воспроизводимость** (10) – разрабатываемая методика должна давать одинаковые результаты вне зависимости от того, в каких условиях, когда и кем она проводится;
- **всесторонность** (11) как возможность учета всех важных качеств свойств и признаков, присущих различным способам;

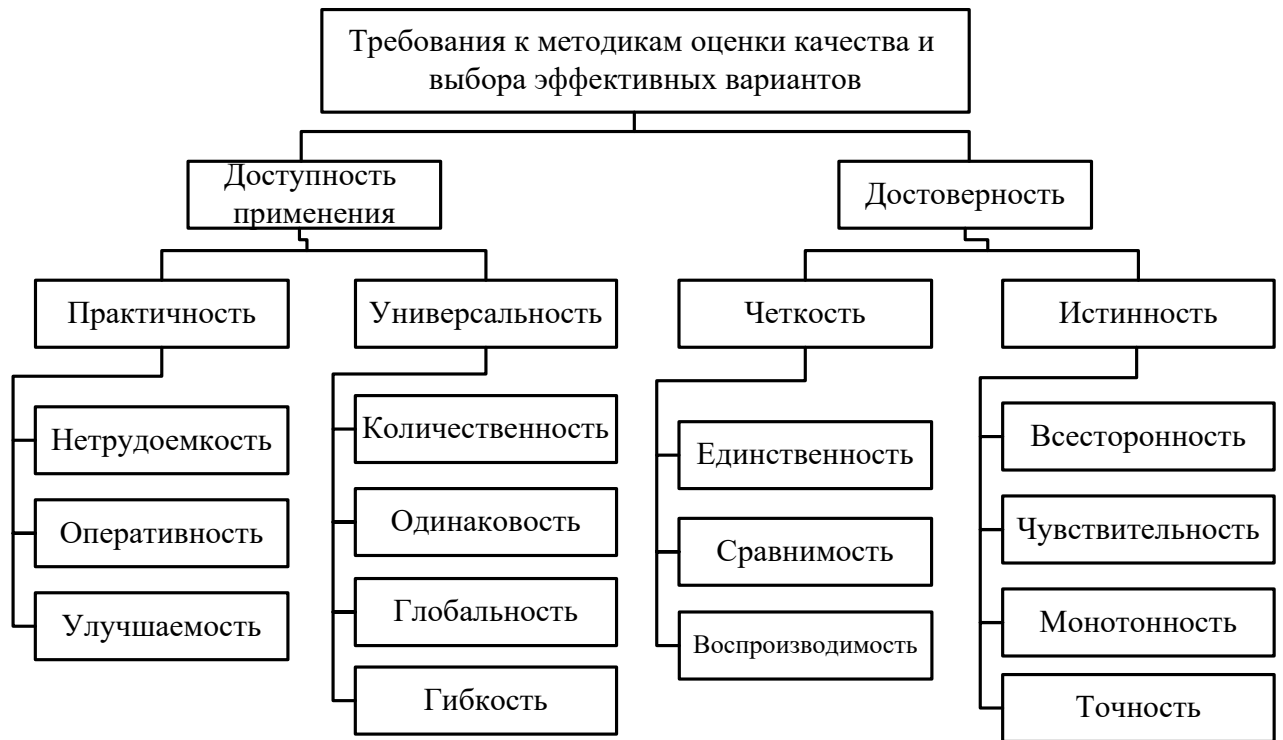


Рисунок 1.10 – Критерии, определяющие эффективность методик оценки способов производства специальных работ в грунтах

- **чувствительность** (12) результатов расчета к изменению значений показателей;
- **монотонность** (13) – изменения значений расчетного критерия при изменении отдельных показателей;
- **точность** (14) расчета критериев, достаточная для анализа и сравнения нескольких вариантов способов производства работ.

Далее приведены обзор и анализ рассмотренных свойств различных методических подходов, полученных на основании данных литературных и нормативных источников.

**Метод А.** Этот метод объединяет различные виды экспертных оценок, заключающихся в том, что группа экспертов (как правило, от 7 до 12 человек) оценивают предлагаемые им варианты способов производства работ. На основании разработанной опросной системы эксперты выставляют оценки или рейтинги разным вариантам. Далее они производят статистическую обработку результатов и получают лучшие варианты или их ранжированные ряды в порядке убывания

эффективности. Основные разновидности экспертных методов представлены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Анализ методик экспертных методов

№ п/п	Наименование метода	Сущность метода	Авторы, внесшие вклад в развитие методики
1	Дельфи	Сбор и анализ мнений экспертов (10–15 человек) посредством анкетирования. Допускаются анонимное ознакомление с анкетами и дальнейший пересмотр мнений экспертов при повторном анкетировании (всего три этапа)	Гордон Т., Долки Н., Халмер О.
2	ПАТТЕРН	Решаемая проблема подразделяется на узкие задачи, которым присваивается важность. Открытое обсуждение экспертами проблем	Девис Ч., Лопухина М. М.
3	Метод анализа иерархий (МАИ)	Построение иерархической структуры решаемой проблемы (цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор). Определение приоритетов в виде показателей важности построенной структуры на основании методики парных сравнений. Выбор альтернативного решения с максимальным значением приоритета	Абакаров А. Ш., Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н., Баскер Р. Г., Кернс К., Саати Т. Л., Сушков Ю. А. и др.
4	Мозговой штурм	Собрание экспертов с открытым высказыванием идей без их критического анализа. На последнем этапе – анализ полученных идей с их «отбраковкой»	Гордон У. Дж., Кудрявцев А. В., Осборн А., Стариков П. А.
5	Метод сценариев	Составление различных сценариев развития событий (эффекта) или анализ риска от реализации проекта или применения технологии. Прогнозирование в рамках каждого сценария	Рингланд Джилл, Саати М. А.
6	Экспертный опрос	Постановка задачи выявления проблемы. Выбор групп квалифицированных экспертов. Проведение опроса и анализ результатов. Ранжирование ответов и анализ результатов	Азгальдов Г. Г., Литвак Б. Г., Орлов А. И., Сидельников Ю. В.
7	Метод расстановки приоритетов	Методы определения и построения рядов ранжирования между различными анализируемыми факторами. Расчет показателей в этом случае производят методом парных сравнений	Блумберг В. А., Глущенко В. Ф.

Выполненный анализ современных зарубежных научных статей показал, что экспертные методы не утратили своей актуальности и широко применяются при выборе различных способов производства работ. Примеры таких исследова-

ний приводят в своих работах Yu S., Li X., Wang H., Zhang X., Chen S. (2020), Lu Y., Xu Y., Herrera-Viedma E., Han Y.(2021); Nouh Meshref A. S., Shehata A. (2020); Albert A., Pandit B., Patil Y., Louis J. (2020); Nouh Meshref A. S., Shehata A. (2020); Trillo-Cabello A. F., Carrillo-Castrillo J. A., Rubio-Romero J. C. (2021); Wu H., Qian Q. K., Straub A., Visscher H. (2021); Kumar Viswanathan S., Panwar A., Kar S., Lavingiya R., Jha K. N. (2020); Karji A., Namian M., Tafazzoli M. (2020); Lee H. J., Lim S. Y. (2020) [156, 179, 182, 184, 189, 194, 203, 211, 218].

К недостаткам методов следует отнести то, что эксперты одновременно могут оценивать способы не более чем по 7–10 технологическим показателям, причем вне анализа могут оставаться некоторые показатели (такие как комплексная оценка экологических и экономических данных; различные технологические особенности, проявляющиеся при производстве работ; продолжительность оценивания; потеря эффективного решения, отличающегося от мнения большинства; манипуляция мнениями экспертов в группе). В результаты рассматриваемый метод не удовлетворяет некоторым представленным выше критериям 7–10.

**Метод Б.** Сюда следует отнести различные модификации методов, основанные на расчетах сметных стоимостных показателей устройства фундаментов различными способами. В результате принимается тот способ производства работ, который имеет наименьшую стоимость.

Рассматриваемый метод довольно прост и эффективен. Его недостаток в том, что он нарушает требование критерия глобальности, так как не отвечает интересам оптимального развития общества. Например, самому привлекательному по стоимости способу могут соответствовать негативные экологические воздействия на окружающую среду, вплоть до разрушения конструкций соседней застройки. Кроме того, данный метод не учитывает все показатели способов, т. е. не является всесторонним. Он не соответствует указанным выше критериям 6, 11.

**Метод В.** Еще одной разновидностью экономического подхода является метод, изложенный в рекомендациях [82]. Выбор конструктивно-технологических решений устройства свайных фундаментов для инженерно-геологических усло-



вий с напластованиями слабых грунтов предлагается на основании критерия минимума приведенных затрат.

При выявлении более чем 5%-ной разницы в затратах выбор вариантов допускается выполнять сравнение только на основании значений сметной стоимости. Метод В имеет те же ограничения, что и метод Б.

**Метод Г.** Для усовершенствования метода Б предлагается проводить технико-экономическое сравнение вариантов способов производства работ в условиях стесненной застройки. При таких условиях есть вероятность возникновения различных деформаций конструкций, прилегающих к участку строительства застройки. Это обусловлено различными технологическими факторами в виде распространения в грунте динамических воздействий и т. п. В таких условиях рекомендуется выполнять оценку экономического ущерба от возможного повреждения существующих зданий. Такие подходы представлены в трудах Матвеевой Н. М. (1992), Обухова Г. В. (1992), Раяк Ф. В. (1992), Сотникова С. Н. (1990), Кофф Г. Л. (1990) и других авторов.

Статья расходов на устранение такого ущерба складывается из затрат на восстановительный ремонт повреждаемого здания (или зданий, которые могли получить повреждения в результате застройки смежных участков), а также из изменений в балансе расходов и доходов эксплуатационных организаций при возникновении повреждений сдаваемых в аренду зданий. При этом метод не позволяет выполнить многофакторную оценку нескольких вариантов производства работ. В этой связи рассматриваемый метод не удовлетворяет некоторым представленным выше критериям – 2, 7, 11.

**Метод Д.** Выбор оптимального варианта работ выполняется на основании нескольких частных критериев оптимальности, которые имеют разные измерения (разную размерность). Он имеет многоцелевой характер или представляет собой задачу с векторным критерием качества. Этот подход изложен в работах Андрушкявичюса А. Б., Апышкова Г. П., Астарука А. В., Бадьина Г. М., Вайгаускаса Э., Завадскаса Э.-К. К., Крюкялиса В. А., Пелдшуса Ф. Ф., Устинови Л. Д., Simon L., Fiedler K.

При такой оценке все частные критерии приводят в безразмерный вид по следующим формулам:

$$a_{ij} = x_{ij} / x_j^*, \quad (1.1)$$

где  $x_j^* = \max x_{ij}$ ;

$$a_{ij} = x_j^{\min} / x_{ij} = \min x_{ij} / x_{ij}, \quad \text{когда } 0 \leq a_{ij} \leq 1. \quad (1.2)$$

Формулу (1.1) применяют в том случае, когда увеличение рассматриваемого критерия ведет к увеличению обобщенного (комплексного) критерия, а формулу (1.2) – когда лучшему значению соответствует его минимум.

После перевода в безразмерные величины всех критериев вычисляют суммарный обобщенный критерий как взвешенное среднеарифметическое, причем полученные безразмерные значения критериев  $a_{ij}$  умножаются на значения частных критериев весомости. Таким образом, наилучшему способу будет соответствовать максимальное значение обобщенного критерия.

Существуют методы, основанные на расчете обобщенного критерия в виде функции желательности Харингтона. Для нормализации значений анализируемых критериев необходимо предварительно определить значения их максимальных и минимальных ограничений. Свертывание всех частных функций желательности  $d_i$  определяется как среднее геометрическое.

Однако применение указанного алгоритма нарушает свойство всесторонности (11), так как при оценке различных критериев в единой матрице выполнить их анализ с позиций весомости довольно сложно. Известно, что оптимальное число получаемых экспертным методом показателей весомости не превышает пяти-семи, так как при увеличении критериев понижается точность в их оценке, т. е. нарушается свойство (14).

**Метод Е.** Данный метод состоит в применении теории игр для оценки различных способов производства работ при отсутствии информации о важности различных критериев. Положения этой методики изложены в работах Бадьина Г. М., Вайгаускаса Э., Воробьёва Н. Н., Завадскаса Э.-К. К., Карлина С. А., Курно А., Крюкялиса В. А., Ласкера Э., Моргенштерна Э., фон Неймана Дж., Неша Дж. Ф., Петросян Л. А., Хёйзинги Й., Пелдшуса Ф. Ф., Цермело Э., Шелинга Т. [10]. При-

меры практического применения теория игр приведены в работах Wang M. Y., Li Y., Cheng Z., Zhong C., Ma W (2020); Luo L., Liang X., Fang C., Wu Z., Wang X., Wang Y. (2020); Li X., Wang C., Alashwal A., Bora S. (2020); Yu M., He M., Zhang D., Jia L. (2020); Guo S., Zhang P., Yang J., Guo S., Zhang P., Yang J. (2018); [175, 186, 190, 206, 217].

Анализируют несколько стратегий по применению технологических вариантов с критерием выбора в виде экономического эффекта. Для этого применяют метод теории игр двух лиц или игр против природы. Стратегии природы формируются как наборы целевых функций или показателей эффективности. Цена игры определяется как результат каждого варианта решений для той или иной каждой целевой функции (показателя эффективности). С учетом этих положений формируют расчетную матрицу следующего вида:

$$P = \begin{array}{c|cccc} & S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \hline S_{11} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ S_{12} & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ S_{1m} & a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{array} \quad (1.3)$$

где  $S_{11}$ – $S_{1m}$  – варианты стратеги проектировщика, технолога, заказчика и т. п.;  $S_{21}$ – $S_{1n}$  – целевые функции, определяющие эффективности стратегии проектировщика, технолога, заказчика и т. п.;  $a_{mn}$  – значения показателей.

Составленную таким образом матрицу решают с использованием методов конфликтных ситуаций при неопределенности, основанных на применении критериев Лапласа, Сэвиджа, Вальда или с учетом коэффициентов относительной важности решений по отдельным критериям [7, 10, 90].

В результате анализа систем уравнений (1.3) получают неравноценные выигрыши и противоречивые варианты решений для различных стратегий без учета изменения переменных в части чувствительности получаемых результатов. Метод не удовлетворяет критериям 11, 12, 14.

**Метод Ж** опирается на анализ информационно-поисковых систем или геоинформационных баз данных, основанных на оцифрованных картах города [74]. Такую информацию формируют исходя из анализа следующих документов: результатов материалов по испытанию элементов в грунте, проектной документации, журналов производства работ и т. п. Все эти данные отображают на мониторе ЭВМ в графической среде с привязкой к координатам и графическим объектам геоинформационной системы. Такая информация методом аналогий позволит назначать эффективные параметры конструктивно-технологических параметров свайных фундаментов и ограждений котлованов.

Данный метод не удовлетворяет критериям 1, 4, 6, 8–14.

**Метод З** основан на качественных оценках различных способов производства работ в различных условиях строительства [80, 107, 125, 137, 152]. Информация сводится различными авторами в таблицы (будучи основана или на анализе практического опыта работ, или на опыте научных источников по устройству фундаментов). Такие таблицы содержат различную качественную и количественную информацию, характерную для различных способов производства специальных работ [125, 135, 136]. Рекомендации по выбору этих способов применительно к различным инженерно-геологическим условиям строительства даются в виде оценок применения таких способов в различных условиях. Эти оценки проставляются в баллах или характеризоваться как «плохо», «хорошо» или «удовлетворительно».

Однако метод не удовлетворяет следующим приведенным выше критериям: количественность (4), одинаковость (5), глобальность (6), а также другим параметрам достоверности (8–14).

**Группа методов И.** Эти методы представлены в действующих нормативных документах, определяющих выбор типа фундаментов и подземной части сооружений. Данные положения изложены в актуальных нормативных документах СП 24.13330 «Свайные фундаменты» (раздел 7) и СП 22.13330 «Основания зданий и сооружений» (п. 5, 6), в которых выбор типов фундаментов выполняется по второй группе предельных состояний по деформациям на основании следующего условия:

$$S \leq S_u, \quad (1.3)$$

где  $S_u$  – предельное значение осадки фундамента (совместной деформации основания и сооружения), которое приводится в указанных нормативных документах;  $S$  – осадка основания фундамента (совместная деформация основания и сооружения).

При оценке возможности нового строительстве в стесненных условиях городской и промышленной застройки необходимо оценивать дополнительную осадку существующих зданий  $S_{ad}$ . Это значение рассчитывается с учетом значений дополнительной строительно-технологической осадки ( $S_{ad,t}$ ). Эта переменная названа Далматовым Б. И. осадкой расструктурирования, «развивающейся при нарушении природной структуры грунта во время производства работ» [58]. В данном издании в качестве основных причин развития такой осадки указываются, помимо прочего, уменьшение гидростатического давления при водоотливах из котлованов, динамические воздействия от перемещающихся машин, а также грубые нарушения технологической дисциплины, обусловленные подъемом грунта в котловане (выпуск «плывуна» в котлован из-под фундамента соседних домов). Все эти причины развития осадки чаще всего обусловлены ошибками при разработке котлованов.

Таким образом, различные варианты способов производства работ при устройстве свайных оснований и ограждений котлованов в стесненных городских условиях следует производить на основании расчета критерия  $S_{ad,t}$ . Иными словами, необходимо для каждого из рассматриваемых вариантов оценивать значения такой осадки и принимать к производству тот способ, для которого эти значения минимальны.

В настоящее время для решения таких задач используют специализированные вычислительные комплексы, разработанные на основе численных методов. В их развитие (с учетом использования математических моделей, описывающих состояние грунта, а также его применения при определении технологических осадок) внесли вклад следующие отечественные и зарубежные ученые: Ильичев В. А., Мангушев Р. А., Мирсяпов И. Т., Никифорова Н. С., Парамонов В. Н., Пономарев А. Б., Прегер А. Л., Путрухин В. П., Сахаров И. И., Тер-

Мартиросян А. З., Тер-Мартиросян З. Г., Улицкий В. М., Фадеев А. Б., Шашкин А. Г., Шашкин К. Г., Танака Т., Burland J. B., Chang C. Y., Drucker D., Duncan J. M., Gibson E., Henkel J., Jenike A. W., Konder R. L., Mroz Z., Pietruszczak S., Roscoe K. H., Shield R. T., Yang Z., Yoshimura S.

К преимуществам этого метода следует отнести его трудоемкость и требования к квалификации и опыту инженера, выполняющего расчеты. Кроме того, для составления математической модели необходимо проведение дополнительных дорогостоящих уникальных испытаний грунтов в лабораторных условиях. Установлено, что в таких моделях учесть воздействие технологических параметров на состояние НДС массива грунта достаточно сложно или невозможно [58].

Таким образом, метод не удовлетворяет критериям по трудоемкости (1), оперативности (2), гибкости (7) и всесторонности (11).

**Метод К.** Методологию описанного выше метода излагают в различных полуэмпирических методиках, моделирующих развитие осадок окружающей застройки в зависимости от применения различных способов работ. В соответствующих работах приводятся полуэмпирические методики, позволяющие без проведения дополнительных расчетов, предполагающих привлечение ЭВМ, рассчитать размеры зон влияния нового строительства, за пределами которого негативное воздействие на окружающую застройку пренебрежимо мало.

Мангушев Р. А. [75, 79, 81, 83], Никифорова Н. С. [89, 90], Сапин Д. А. [117], Гурский А. В. [57], Конюшков В. В., Дьяков И. С. [73], Шулятьев О. А. [153, 154] на основании выполненных исследований приводят линейные математические модели, которые с достаточной для практических целей точностью позволяют прогнозировать максимальные осадки существующих зданий  $S_{\phi}$  в зависимости от следующих параметров:

- некоторых технологических режимов производства специальных работ в грунтах;
- технического состояния конструкций существующих зданий;
- глубины котлована, глубины заложения фундаментов зданий;
- расстояния от зданий до котлована и т. п.

В указанных работах выполнен анализ различных методик оценки технологических осадок зданий и сооружений в зоне строительства при реализации различных способов производства работ. Однако учесть всё многообразие технологических факторов такие зависимости не позволяют.

Представленный метод не отвечает требованиям следующих критериев: улучшаемости (3), глобальности (6), всесторонности (11), чувствительности (12) и монотонности (13).

**Метод Л.** Методы оценки показателей организационно-технологической надежности (ОТН) технологических, организационных, управленческих и экономических решений изложены в трудах Васильева В. М., Гинзбурга А. В., Гусакова А. А., Лapidуса А. А. [70–72], Монфреда Ю. Б., Прыкина Б. В. и других исследователей. Эта методика основывается на ряде определений, которые приведены ниже.

*Технологическая надежность строительного производства* – способность строительных процессов сохранять свои параметры в заданных пределах при данных условиях производства. Она должна обеспечивать бесперебойное функционирование строительного процесса и выбор такого способа производства работ, который позволял бы строительному процессу функционировать с заданной интенсивностью и другими параметрами таким образом, чтобы отклонения, вызванные случайными производственными факторами, не превышали определенных пределов [70].

*Организационная надежность* – способность организационных решений по возведению объектов строительства с заданной вероятностью обеспечить получение запланированного результата или выполнения запланированных объемов работ в заданный срок в условиях случайных возмущений, присущих строительству. Так как большинство производственных факторов являются случайными, то количественные характеристики организационно-технологической надежности имеют вероятностный характер, поэтому их оценки получают на основе опыта и математической статистики [71, 72].

Автор настоящей диссертации считает, что при решении поставленных в диссертации задач создания методологии обоснования способов производства

специальных работ в грунтах опираться исключительно на указанные подходы недостаточно. Необходимо учитывать как различные технико-экономические показатели, так и особенности физических процессов воздействия технических средств на грунтовый массив, а также их влияние на конструкции окружающей застройки. Отсюда следует вывод, что показатели «интенсивности работ», которые зависят от случайных факторов и различных отказов в работе, не могут служить единственной целевой функцией при обосновании и выборе указанных способов.

Как следствие, представленные подходы не отвечают требованиям критериев 1, 2, 11.

Описанные выше методы и оценка их эффективности в виде соответствия представленным выше 14 критериям приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Показатели соответствия критериям квалиметрии существующих методик оценки способов производства специальных работ в грунтах

Обозначение метода	Наименование и сущность применяемых методов	Показатели соответствия критериям квалиметрии	
		Не удовлетворяют критериям	Кол-во не учитываемых критериев
1	2	3	4
А	Экспертных оценок	7–10	4
Б	Оценки сметной стоимости сравниваемых способов	6, 11	2
В	То же, на основании приведенных затрат	6, 11	2
Г	То же, с учетом расчета экономического ущерба существующей застройки	2, 7, 11	3
Д	Многоцелевого выбора по набору параметров или при решении задачи с векторным критерием качества	11, 14	2
Е	Применения методов теории игр	11, 12, 14	3
Ж	Использования ГИС-систем	1, 4, 6, 8–14	10
З	Дифференцированного анализа свойств способов	4, 5, 6, 8–14	10
И	По критерию минимальной технологической осадки фундаментов прилегающей застройки на основании методов МКЭ	1, 2, 7, 11	4
К	То же, с учетом полуэмпирических зависимостей	3, 6, 11–13	5
Л	Определение показателей организационно-технологической надёжности	1, 2, 11	3



Анализ представленного материала (с учетом данных табл. 1.11) показывает, что ни одна из современных методик не удовлетворяет требованиям квалиметрии. Как следствие, их нельзя считать пригодными для оценки эффективности способов производства специальных работ в грунтах.

### **1.5. Обоснование целесообразности и эффективности применения критерия технологичности для определения областей реализации способов производства спецработ в грунтах**

С учетом методических подходов, приведенных в разделе 1.4, автором было установлено, что выбор эффективных способов производства специальных работ в грунтах следует производить на основе расчета интегрального критерия технологичности. Это комплексная количественная характеристика разнородных свойств способов, позволяющая в единой оценочной шкале определять сравнительную эффективность их применения в различных инженерно-геологических условиях строительных площадок, включая стесненность городских территорий.

В подходах квалиметрической оценки качества такой показатель называют интегральным качеством [5, 6].

Интегральный показатель квалиметрии рассчитывают на основании совокупности показателей (свойств) по определенным правилам, упорядоченным в строгую иерархическую структуру. При этом каждый фактор, характеризующий рассматриваемый способ производства работ, представлен несколькими простыми показателями (как минимум двумя).

Кроме того, критерий технологичности представляет собой совокупность определенных групп показателей, которые должны формироваться с учетом их «потребительских» свойств. В этой иерархии обязательны взаимосвязи «человек – среда – способ производства работ», причем должны иметь место показатели экологичности способа.

Все показатели – как простые, так и групповые – следует учитывать в расчете согласно их значимости. Для этого вводят количественную характеристику значимости данного простого показателя среди других показателей свойств объекта.

В этой связи необходимо, чтобы каждый признак был четко выражен и абсолютных показателях с единой размерностью. Для каждой группы обобщенных показателей следует стремиться к наличию минимального количества показателей

(не более семи). Чем меньше в обобщенной группе простых показателей, тем проще оценивать предлагаемые варианты способов. С этой точки зрения наличие в группе обобщенных показателей большого количества свойств, имеющих разную смысловую нагрузку, означает необходимость введения в нее еще одного уровня (яруса) оценки, чтобы обеспечить правило наличия минимального количества свойств.

Как было обозначено выше, для расчета критерия технологичности следует применять следующие коэффициенты весомости:

- интегральные коэффициенты, определяющие весомость простых или дифференциальных показателей, входящих в одну обобщенную группу (при этом их весомость оценивает относительно друг друга в пределах группы);
- обобщенные коэффициенты, которые определяют выделение групп показателей в составе интегрального критерия. Показатели весомости каждого типа должны быть нормированные, т. е. их сумма должна равняться 1,0.

Установлено, что при расчете критерия технологичности рассматриваемых способов номенклатура анализируемых параметров в пределах групп и их коэффициенты весомости будут меняться. Эти изменения зависят прежде всего от следующего расположения участка строительства, для которого выполняется анализ относительно существующей городской застройки:

А. Участок строительства находится в квартале нового строительства, свободном от существующей застройки.

Б.1. То же, в квартале современной застройки в пределах 30-метровой зоны от существующих зданий и сооружений.

Б.2. То же, в примыкании к существующим зданиям и сооружениям I–II категорий технического состояния (СП 22.13330).

Б.3. То же, III–IV категорий технического состояния.

Для указанных групп автором была выполнена оценка конструктивных и технологических решений, содержащихся в проектной документации по устройству фундаментов и ограждений котлованов. Для этого был осуществлен соответствующий анализ для более чем 1000 объектов строительства с 2013 г.

Результаты таких исследований приведены на диаграммах рисунка 1.10, где все указания по производству работ, имеющиеся в проектной документации, сгруппированы в три смысловые группы. На рисунке представлены значения удельных весов упоминаний таких указаний, скомпонованных по территориальному признаку расположения объектов строительства. При этом сумма весов по каждому территориальному участку равна 1,0.

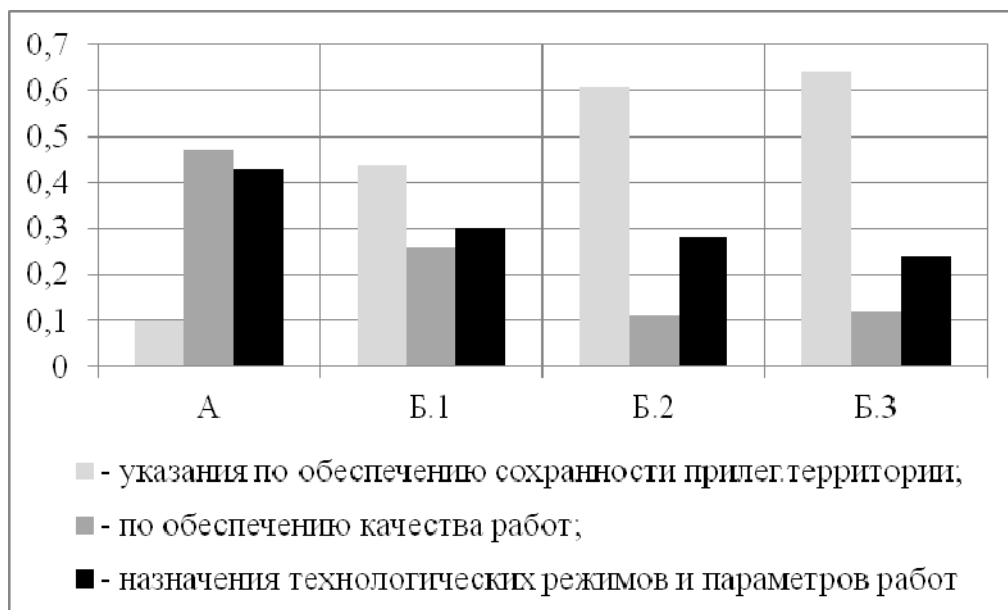


Рисунок 1.10 – Диаграммы распределения удельных весов различных групп технологических указаний, представленных в проектной документации по возведению свайных фундаментов, распределенные в зависимости от территориального расположения участка строительства: А, Б.1–Б.3 – обозначения типов удаления объектов строительства относительно существующей застройки

С учетом анализа представленных значений можно сделать следующие выводы:

А. На территориях, свободных от застройки при устройстве заглубленных конструкций в проектной документации, наибольшее внимание акцентируют на обеспечении качества и соблюдении технологических режимов и рабочих параметров. Значения весомости этих групп примерно одинаковы: 0,47 и 0,43. Указаний по обеспечению сохранности территорий практически не приводят (0,10). Таким образом, при массовой застройке свободных территорий необходимо выпол-

нить максимальный объем работ без потери качества, в том числе при обеспечении проектных значений несущей способности свай.

Б.1. При строительстве объектов различного назначения в кварталах современной застройки в проектной документации наибольшее значение придают вопросам обеспечения сохранности окружающей застройки (0,44), а значения весомости групп качества и соблюдения технологических режимов и параметров работ примерно одинаковы (0,26 и 0,30).

Б.2–Б.3. При производстве работ в непосредственном примыкании к существующим зданиям и сооружениям значения весомости указания по обеспечению сохранности окружающей застройки увеличивают (0,61–0,64). При этом соотношение значения весомости групп качества и соблюдения технологических режимов и параметров работ неодинаково: соответственно 0,11–0,12 против 0,28–0,24. Таким образом, наибольшее значение придают вопросам обеспечения технологической дисциплины. Это связано с тем, что при регулировании различных технологических режимов и параметров (усилий вдавления элементов; параметров бурения, ограничения производительности и последовательности устройства свай и т. п.) можно корректировать интенсивность технологических воздействий на массив грунта и конструкции существующих зданий и сооружений.

Представленные данные подтверждают утверждение, что при расчете критерия технологичности способов производства специальных работ в грунтах состав сравниваемых параметров и значения их весомости следует устанавливать в зависимости от расположения участка строительства, для которого выполняют указанный анализ.

Таким образом, было установлено, что оценку эффективности и разработки рациональных параметров способов производства специальных работ в грунтах следует производить на основе методики расчета и анализа критериев технологичности. Подходы к разработке такой методики изложены в научных основах квалиметрии как совокупности способов количественной оценки качества различных объектов, получаемой исходя из расчета показателя его интегрального качества [5, 6].

При этом, согласно указанной методологии, интегральный критерий является совокупностью групп свойств (обобщенных показателей). Каждую группу показателей составляют простые свойства.

К показателям, входящим в группу, применяют следующие правила [5, 6].

В каждой группе простые показатели должны иметь **общий признак** делений, характеризующий эту группу.

Структура критерия технологичности должна позволять его **корректировку**, заключающуюся в возможности как добавлять, так и исключать из него различные показатели в зависимости от указанных выше условий, в которых исследуются свойства способов производства специальных работ в грунтах.

Оценку технологичности способов следует выполнять не по конструктивным особенностям устраиваемых фундаментов или ограждений котлована, а по **функциональным свойствам**, характерным для различных способов.

**Не допускаются неоднозначные** формулировки различных технологических показателей.

В разных функциональных группах **не допускается одновременное существование тождественных или однозначных показателей**.

Формируемые группы свойств должны описывать или характеризовать рассматриваемый способ в любых условиях его применения. Причем данный способ должен **одновременно** характеризоваться этими показателями.

При построении структуры критерия технологичности следует стремиться к тому, чтобы он характеризовался **меньшим числом показателей в каждой группе**.

Общая структура критерия технологичности приведена на рисунке 1.11.

С учетом изложенного следует практически важный вывод, что при формировании интегрального критерия технологичности следует руководствоваться системными принципами. Это требует объединения и группирования различных простых показателей с учетом их внутренней взаимосвязи. При этом при постановке задач совершенствования различных способов следует стремиться к получению максимального значения критерия технологичности.

### Интегральный критерий технологичности



Рисунок 1.11 – Принципиальная структурная схема критерия технологичности

При исследовании его структуры следует учитывать, что различные показатели соотносятся в единой системе, с учетом взаимодействия между ними в виде существования многообразия структурных связей. Указанный подход можно представить в виде схемы показанной на рисунке 1.12 [12].

Задача расчета технологичности сводится к следующей математической модели:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 \{m_{11}(x_{11-1}, x_{11-2}, x_{11-3}), m_{12}(x_{12-1}, x_{12-2}), m_{13}(x_{13-1}, x_{13-2}, x_{13-3})\} \\ m_2 \{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\} \\ m_3 \{x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34}\} \end{array} \right\} \rightarrow J \{K_1, K_2, K_3\}. \quad (1.4)$$

С учетом анализа уникальных коэффициентов весомости матрицу можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{array}{l} m_1 \{k_{11}, k_{12}, k_{13}\} \\ m_2 \{k_{21}, k_{22}, k_{23}, k_{24}\} \\ m_3 \{k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34}\} \end{array} \right\} \rightarrow J \{K_1, K_2, K_3\}. \quad (1.5)$$

Данную математическую модель можно представить в виде дерева свойств, показанного на рисунке 1.13.

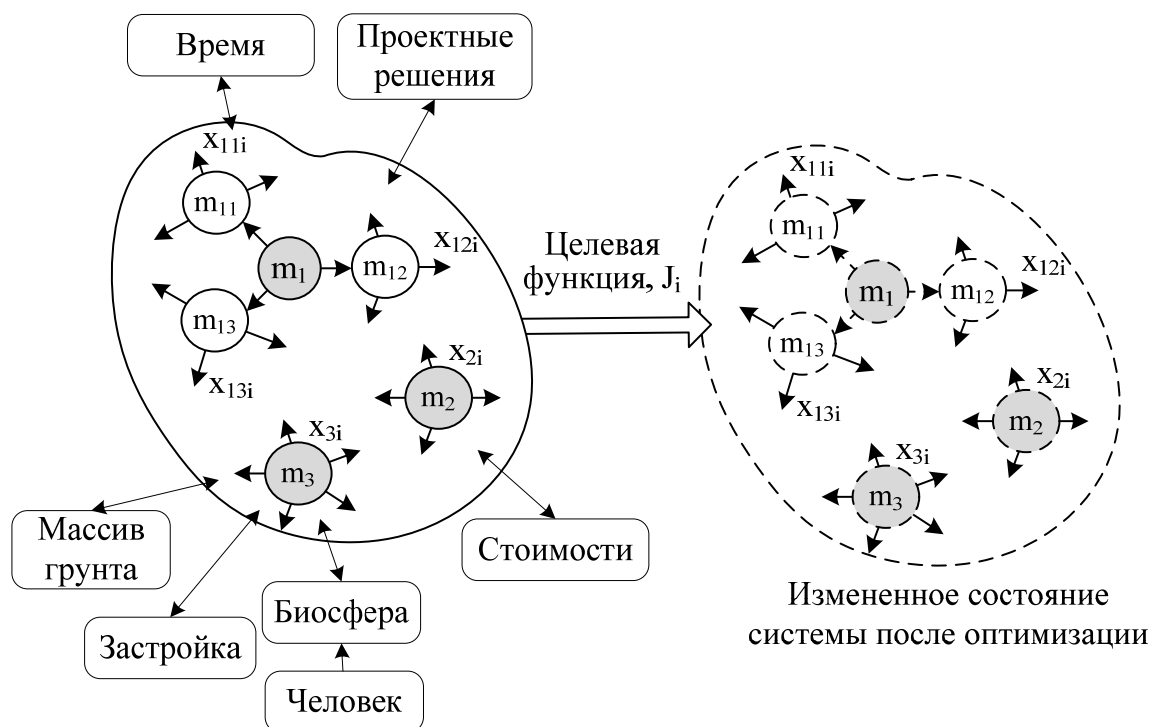


Рисунок 1.12 – Схема, определяющая внутренние и внешние связи при исследовании различных способов производства специальных работ в грунтах с позиций системного подхода

Из схем, изображенных на рисунках 1.12 и 1.13, следует, что способы производства специальных работ в грунтах следует рассматривать с учетом следующих факторов:

- системы уникальных простых показателей;
- взаимосвязи таких показателей в пределах обобщенных групп, а также взаимосвязи между этими группами;
- взаимодействия системы с окружающей средой, включая воздействие на человека. Следует отдельно оценивать показатели воздействия потенциально опасных производственных факторов системы на окружающую территорию;
- воздействия системы на окружающий массив грунта, а также их влияния на состояние конструкций застройки, прилегающих к территории строительства;
- развития системы во времени.



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

Рисунок 1.13 – Дерево системы показателей, формирующих критерий технологичности

Таким образом, критерий технологичности как характеристику системы можно выразить в виде функционала:

$$J_i = vF(m_1; m_2; m_3), \quad (1.6)$$

где  $m_1 = F(m_{11}; m_{12}; m_{13})$ ,  $m_2 = F(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$ ,  $m_3 = F(k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34})$  – представленные выше характеристики системы;  $v$  – коэффициент вето, который определяется с учетом соответствия рассматриваемого способа параметрам надежности и качества работ согласно следующему условию:

$$v = 0 \text{ (при } m_{3i} < m_3^{\min}\text{)}. \quad (1.7)$$

Этот коэффициент равен нулю, когда применение рассматриваемого способа для определенных условий производства работ может привести к недопустимой потере качества работ или к деформациям конструкций соседних зданий, сооружений, а также инженерных коммуникаций.

Формула (1.6) представляет собой математическое выражение, дающее количественную оценку всей представленной совокупности показателей по значению показателя технологичности. В процессе их выбора при изменении различных показателей задача будет сводиться к поиску экстремума значения  $J_i$  как целевой функции.

При этом задача совершенствования конструктивно-технологических решений будет заключаться в анализе изменчивости системы с учетом целевой функции, представляющей собой следующее математическое выражение:

$$F(m_1\{m_{11}(x_{11-1}, x_{11-2}, x_{11-3}), m_{12}(x_{12-1}, x_{12-2}), m_{13}(x_{13-1}, x_{13-2}, x_{13-3})\}; m_2\{x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}\}; m_3\{k_{31}, k_{32}, k_{33}, k_{34}\}) \rightarrow \text{extr}_{F \rightarrow \max} \rightarrow m_1^0; m_2^0; m_3^0, \quad (1.8)$$

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

Поставленная задача должна быть выполнена посредством нахождения функционала (1.8) при известных нормализованных значениях простых показателей и их коэффициентов весомости. При решении этого уравнения нужно учитывать критерии воздействия системы на окружающую среду, показатели качества устраиваемых элементы в грунте, а также стоимостные затраты при оценивании различных ресурсов, с учетом развития системы технологических показателей во времени.

## 1.6. Выводы по первой главе

В первой главе обосновываются актуальность и необходимость научно-методического подхода к многокритериальной оценке и выбору технологических параметров 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, а также погружение опускных колодцев), используемых в сложных инженерно-геологических условиях, при плотной застройке и в акваториях.

Решение данной задачи позволит правильно выбирать варианты реализации строительных процессов и оценивать их эффективность при выполнении работ. Для этого выявляются требования, предъявляемые к современным способам производства специальных работ в грунтах для различных инженерно-геологических условий, и направления развития методологии выбора их технологических параметров, а именно:

1. Выявлены технологические параметры, характерные для современных способов производства специальных работ в грунтах. Установлено, что эти параметры в разной степени интенсивности проявляются в конкретных условиях строительной площадки. Причем при необоснованном выборе технологических режимов развиваются различные дефекты в виде снижения несущей способности свай, а также потере устойчивости элементов ограждения и аварийных ситуаций, а в конечном итоге – к развитию деформаций конструкций соседних зданий и сооружений.

2. Проанализированы современная нормативно-техническая, методологическая база, а также научные труды в области обоснования и оптимизации технологических параметров. При этом установлено, что единого подхода для обоснования выбора способов производства специальных работ не существует. Показано, что для указанных целей необходимо выполнять расчет и анализ значений интегрального критерия технологичности как комплексной количественной характе-

ристики разнородных качеств этих способов. Таким образом, в единой оценочной шкале определяют сравнительную эффективность их применения в различных инженерно-геологических условиях строительных площадок, включая стесненность городских территорий.

3. Установлено, что расчеты критерия технологичности следует выполнять в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки, инженерно-геологических условий, требований обеспечения биосферной безопасности и конструктивных параметров. При этом для учета особенностей территориального расположения участка строительства приняты следующие категории:

- находится в квартале нового строительства, свободном от существующей застройки;
- то же, в квартале современной застройки в пределах 30-метровой зоны от существующих зданий и сооружений;
- то же, в примыкании к существующим зданиям и сооружениям различной категории технического состояния.

4. Показано, что расчеты критерия  $J_i$  следует выполнять с позиций системного подхода. Представлена математическая модель оптимизации различных способов и анализа изменчивости системы с учетом целевой функции – критерия технологичности. Решения полученного уравнения необходимо выполнять с учетом критериев воздействия системы на окружающую среду, показателей качества устраиваемых элементов в грунте, их несущей способности, безопасности окружающей застройки и стоимостных затрат.

Решением перечисленного комплекса проблем является разработка научно-методического подхода к определению критерия технологичности, позволяющего обосновывать выбор и выполнять совершенствование конструктивно-технологических решений различных способов производства специальных работ в грунтах.

## Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА КРИТЕРИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ

### 2.1. Разработка принципиальных основ теории расчета критерия технологичности

На первом этапе исследования был выполнен анализ различных конструктивно-технологических показателей, необходимый для расчета критерия технологичности. Автором установлено, что для создания методики его расчета следует применять подходы, разработанные Азгальдовым А. А. [5, 6] и Болотиным С. А. [18] при оценке строительных решений различных частей проекта с позиций квалиметрии (как комплексной оценке проектных решений).

Методологические основы квалиметрии в области количественной оценки качества различных объектов разрабатывались начиная с 1970 г. В работе [5] показано, что такая методика эффективна при оценке качества проектных решений различных строительных объектов. Причем термин «показатель» используется как синоним термина «количественная оценка». При этом вводится понятие интегрального показателя качества, который является сложным свойством объекта и определяется совокупностью различных факторов.

В рамках разработанной теоретической основы метода дополнительно вводятся следующие определения [5]:

- *коэффициент весомости показателя* – количественная характеристика значимости (или важности) данного показателя свойств среди других показателей;
- *показатель интегрального качества* – комплексная количественная характеристика интегрального качества, определенная с учетом выбранных показателей, а также соответствующих им коэффициентов весомости. Причем эти значения выражаются в безразмерной шкале и заключены в интервале от 0 до 1,0.

В главе 1 установлены различные показатели, характеризующие разные аспекты проявления факторов способов устройства свайных фундаментов и ограж-

дения котлованов. Их номенклатура получена на основании анализа научной и нормативной литературы, статей и отчетов о выполненных работах. Количество таких показателей довольно велико, причем многие из них дополняют друг друга или являются тождественными. Первичный анализ показал, что учет больших массивов как количественных, так и качественных показателей для различных исходных данных (инженерно-геологических условий участка) представляет собой трудно осуществимую задачу. При этом на основании методических подходов квалиметрии установлено, что оптимальное число свойств должно составлять от 3 до 7 [7]. При большем количестве анализируемых факторов точность оценки способа значительно снижается, особенно если при выявлении весомости каждого показателя прибегают к экспертным оценкам [7]. Если же в каждой группе имеется только два свойства, то точность оценки будет максимально высокой. При этом для сбора данных в рамках анализа всех представленных признаков от инженера потребуется довольно большой объем материальных и временных затрат. Задача представляемого диссертационного исследования состоит в создании методических подходов, которые можно было бы эффективно применять на практике. Для этого следует выполнить определенную «фильтрацию» представленных показателей и их сокращение, используя методологию квалиметрии.

Таким образом, для оценки технологичности различных способов в первую очередь необходимо построить так называемое дерево свойств, или структуру критерия. Затем для каждого обобщенного показателя (группы свойств) следует установить соответствующий простой или дифференциальный показатель. Причем для последнего действия надо стремиться к максимальному сокращению количества показателей.

С учетом вышеизложенного и анализа простых показателей, представленных в главе 1, принимаем следующие группы показателей, которые в дальнейшем будут учитываться при формировании структуры интегрального критерия технологичности: 1-я – производственные характеристики, 2-я – критерии надежности и качества, 3-я – технико-экономические показатели.

Для анализа и формирования таких групп показателей автором сформулированы следующие этапы исследований [7, 93].

## 1. Подготовительный этап.

### 1.1. Формирование экспертной группы

Задачи: определение количества экспертов, их выбор и определение показателей качества.

### 1.2. Определение номенклатуры показателей, определяющих критерий технологичности.

Задачи: определение количества и состава показателей, выделенные из их числа малозначимых. При оптимизации их количества использованы следующие подходы [5, 6]:

- **предпочтительность признака деления меньшей размерности при выборе групп свойств;**
- **оценка способов на основании подгрупп (поддеревьев);**
- **исключение одинаково выраженных показателей (свойств);**
- **уменьшение количества показателей за счет объединения тождественных;**
- **сокращение количества маловажных показателей, сумма коэффициентов весомости которых не превышает значения относительной погрешности  $\epsilon$ .**

### 1.3. Построение структурной схемы критерий технологичности для различных условий строительства.

## 2. Этап получения индивидуальных экспертных оценок.

### 2.1. Выбор процедуры проведения экспертных оценок.

Задачи: определение и обоснование оценочных шкал, разработка процедур открытого обсуждения и письменных обоснований – пояснительных записок, разъясняющих методику опросов.

### 2.2. Разработка метода получения информации от экспертов.

Задачи: разработка процедуры письменного обоснования и обсуждения, составление анкет для метода парных оценок или непосредственного оценивания для последующего расчета значений коэффициентов весомости.

### 2.3. Опрос экспертов.

Задачи: разработка методологии опроса (интервью) при работе экспертов через предварительное обоснование целей и задач опроса и объяснение методического подхода.

#### 3. Оценка результатов экспертного опроса.

Задачи: определение методов усреднения данных опросов, анализ согласованности результатов. Анализ результатов и (при необходимости) проведение повторных туров опросов.

Изложенный алгоритм позволяет говорить о том, что определение коэффициентов весомости обобщенных критериев технологичности производственной и технико-экономической групп, группы надежности и качества работ, а также простых показателей в их составе производится с учетом экспертных оценок. В этой связи задача набора экспертной группы с определением ее оптимального состава и показателей компетентности приобретает особую важность.

Анализ литературных источников позволил установить, что с ростом количества экспертов увеличиваются трудозатраты по оценке исследуемых показателей и время, затрачиваемое на обработку результатов. Причем с ростом количества экспертов в группы могут вовлекаться специалисты с более низкой квалификацией, что существенно влияет на качество результатов. В этой связи в нашем исследовании экспертная группа состоит из 12 человек [5, 7]. Это количество принято с учетом предварительного установления значения предельно допустимой относительной ошибки  $\epsilon_1 = \epsilon / S$ , где  $\epsilon$ ,  $S$  – соответственно значения абсолютной погрешности (ошибки) и среднеквадратичное отклонение оценки качества [7].

Зачастую выбор экспертов связан с их психологической совместимостью и профессиональными противоречиями в части взаимного неприятия, наличия свободного времени и заинтересованности в результатах экспертизы. Учитывают также фактор оплаты труда экспертов и т. п.

Их качественный выбор производится автором с учетом следующих требований [7]:



- компетентность, т. е. знание предмета исследования и наличие опыта соответствующих практических работ;
- заинтересованность в результатах экспертизы;
- деловитость, собранность, контактность при работе в группе;
- объективность при возможной корректировке собственного мнения;
- креативность, т. е. способность творчески решать задачи;
- наличие развитого интуитивного мышления;
- предикаторность, т. е. способность предсказывать будущее состояние исследуемого объекта;
- всесторонность при исследовании проблемы с различных точек зрения.

Оценка качества экспертов выполнена автором на основании следующих подходов [7]:

- самооценка в виде анкеты, где эксперты отмечают регулярность ознакомления с информационными источниками и степень знакомства с предметом оценки;
- коллективной оценки за простановки рангов внутри группы;
- статистическими методами на основе расчета отклонения индивидуальной оценки эксперта от коллективной (чем она меньше, тем выше качество эксперта).

С учетом изложенного, автором был выполнен подбор экспертной группы, характеристика которой представлена в таблице 2.1.

В последней строке указанной таблицы приведены значения коэффициента самооценки  $K_{САМ}$ , который определялся автором исходя из заполнения экспертами анкеты самооценки и с учетом их уровня доступа к информационным потокам и средства коммуникации [7, 91]. Он определяет информированность экспертов и степень их знакомства с различными технологическими аспектами специальных работ в интервале от 0 до 10. В проводимом исследовании значение коэффициента составило 7,17, что обеспечит достаточную точность результатов, полученных в ходе дальнейших исследований.

Таблица 2.1 – Характеристика специалистов, участвующих в экспертном опросе

Показатели качества экспертов	Порядковые номера экспертов												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Образование	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Высш.	Спец.	Высш.
Ученая степень	Д.т.н.	Д.т.н.	–	–	–	Д.т.н.	К.т.н.	–	–	–			К.т.н.
Трудовой стаж, лет	60	50	60	22	50	38	10	10	21	15	38	23	
Наличие публикаций в области исследования	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да	
То же, изобрет.	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	
Опыт разработки регламентирующей или нормативной литературы	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да	
Опыт практических работ	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет	
Специализация	Образование	Образование	Проектирование	Проектирование	Мониторинг	Образование	Мониторинг	Финансирование	Производство	Мониторинг	Производство	Инженерия	
Изучение специализированной научной литературы	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да	
То же, актуальной нормативной литературы	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	
Знакомство с современными технологиями (интернет, каталоги и т. п.)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Владение современными информационными технологиями	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	
Расчетный коэффициент самооценки эксперта (от 0 до 10), $K_{САМ}$	6	7	8	6	7	10	7	6	7	8	5	9	
Показатель информированности о квалификации экспертов в группе (от 0 до 1,00)	0,54	0,36	0,64	0,72	0,72	0,45	0,72	0,64	0,82	0,82	0,54	1,00	

Анализ данных таблицы 2.1 позволяет сделать ряд выводов о показателях качества экспертной группы, значения которых приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Показатели качества экспертной группы

Наименование показателя качества	Значение показателя	Примечание
Высшее образование	92 %	–
Ученая степень	42 %	Из них доктора техн. наук – 60 %
Трудовой стаж: свыше 30 лет	58 %	В области проводимого исследования
Наличие публикаций	67 %	То же
То же изобретений	33 %	»
Опыт в разработке нормативной литературы	58 %	»
Опыт практических работ	83 %	»
Специализация эксперта в области образования	25 %	»
То же, проектирования	17 %	»
То же, мониторинга	25 %	»
То же, производства работ	17 %	»
То же, финансов	8 %	»
То же, в составе производственных отделов	8 %	»
Изучение научной литературы по вопросам оцениваемых факторов	75 %	»
То же, актуальной нормативной литературы	75 %	»
Знакомство с современными специальными технологиями (интернет, каталоги и т. п.)	100 %	»
Владение современными информационными технологиями	83 %	»
Расчетный коэффициент самооценки группы	7,17	От 0 до 10 (лучшее значение)
Средний показатель информированности о квалификации и деятельности экспертов в группе	0,66	От 0 до 1,0 (лучшее значение)

Представленные в таблице 2.2 данные позволяют говорить о достаточно высоком качестве экспертной группы, включающей специалистов из различных областей организации, проектирования, обучения и производства специальных работ в грунтах.

На следующем этапе исследований автором был произведен выбор шкал измерения, используемых на разных этапах экспертных оценок, от которых будет зависеть дальнейшая методика оценки получаемых результатов [93]. В таблице 2.3 приведены шкалы оценивания, принятые автором.

Далее автором был произведен **выбор методики определения коэффициентов весомости** показателей (ранжирования).

Таблица 2.3 – Виды шкал оценивания и особенности их применения при экспертных опросах [93]

Тип шкалы	Определение шкалы	Используемая методика	Рассматриваемые признаки
Порядковая	Возможность ранжирования, оценка объектов в порядке возрастания и т. п. («лучше» – «хуже»)	Парных сравнений	Качественные
Отношений	Задаёт, во сколько раз один объект больше другого. Задано начало отсчета или допустимый интервал оценок (например, от 0 до 1,0)	Непосредственного оценивания с получением цифровых значений	То же

При достаточной подготовленности группы и небольшом количестве показателей (обычно менее пяти) применялся способ непосредственного оценивания, при котором эксперты сразу присваивали каждому рассматриваемому параметру значения коэффициентов весомости, чтобы их сумма была равна 1,0. Далее выполнялась оценка согласованности назначенных экспертами оценок на основании представленного алгоритма.

Полученные таким образом результаты оценивались на предмет согласованности мнений на основании расчета коэффициента вариации [7, 92]  $V_i$ . Это значение сравнивалось с допустимым ( $V_{\text{доп}}$ ), определяемым требуемой точностью оценки или доверительным интервалом, соответствующим уровню значимости (для указанных целей – 0,95).

Если такое значение меньше допустимого, то можно принять значение коэффициента весомости. В противном случае мнение экспертной группы не будет согласовано, что потребует проведения дополнительного анализа. При этом в ходе анализа могут быть сделаны следующие выводы:

- эксперты недостаточно проинформированы о цели экспертизы;
- эксперты не понимают сути анализируемых факторов из-за неточности постановки задачи или неверных определений;

- эксперты совершили арифметические ошибки, допущенные при непосредственном оценивании;
- в анкетах не учтены все факторы, требующие анализа;
- имеет место психологическое неприятие экспертов предмета опроса.

При значении анализируемых показателей более 5 экспертам психологически трудно присвоить коэффициенту весомости цифровое значение, из-за чего подобные оценки обладают значительной погрешностью. В этом случае следует учитывать утверждение: «Эксперт может сравнить два объекта, сказать, какой из двух лучше (метод парных сравнений), дать им оценки «хороший», «приемлемый», «плохой», упорядочить несколько объектов по привлекательности, но обычно не может ответить, во сколько раз или на сколько один объект лучше другого. Ответы эксперта обычно измерены в порядковой шкале – или же являются ранжировками, результатами парных сравнений и другими объектами нечисловой природы, но не числами» [91].

Для устранения указанных противоречий для поставленных задач применяют метод расстановки приоритетов, или парных сравнений (МРП) [16, 122]. Суть методики представлена на блок-схеме (рисунок 2.1) и заключается в следующем.

Решается задача «о лидере» при которой, как при спортивном парном состязании игроков-борцов ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) определяется результат их схватки парной (игры) с результатом – «выиграл», «проиграл» или «ничья».

Поиск решения ведется на основании построения матрицы вида

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{11} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

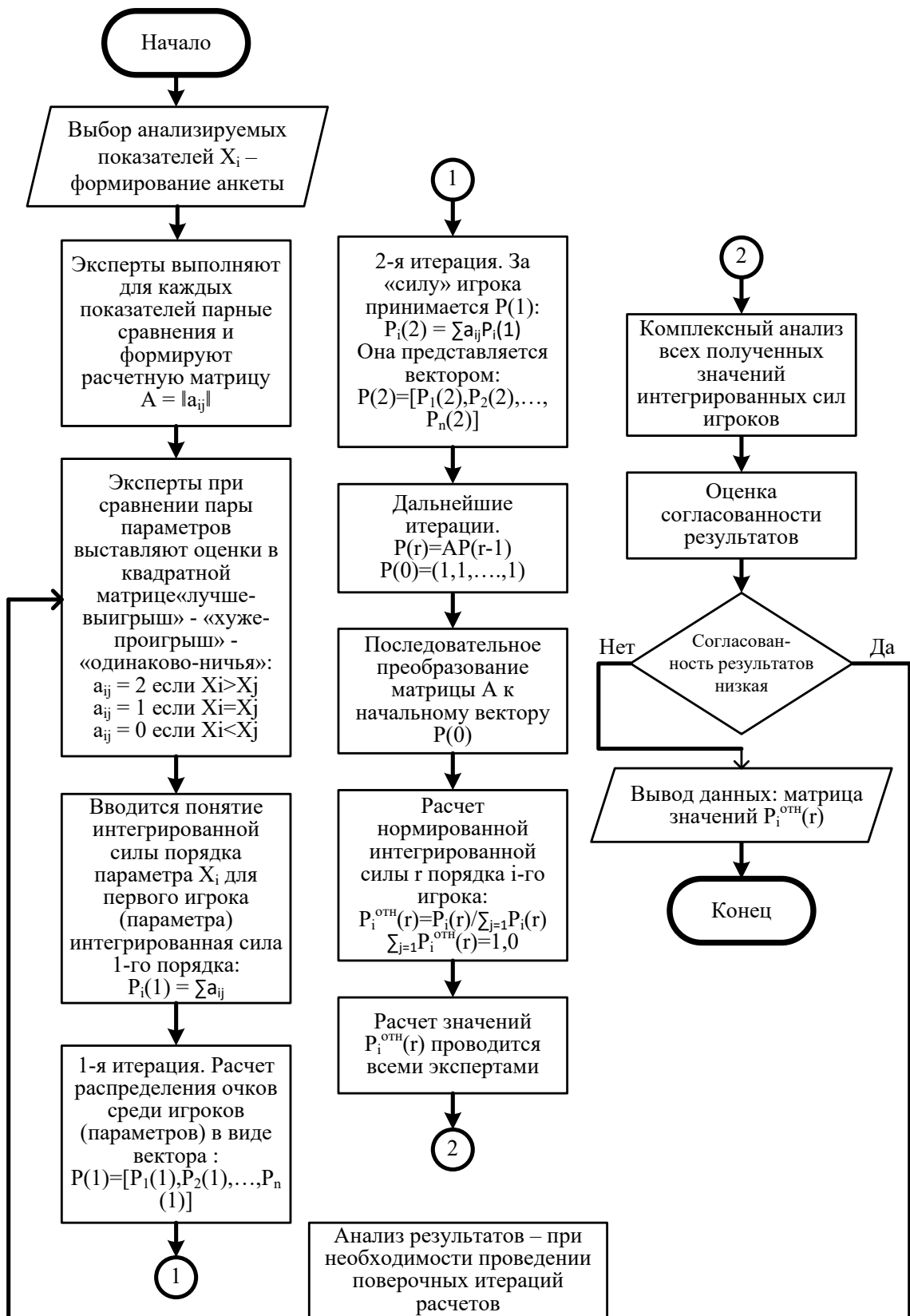


Рисунок 2.1 – Блок схема определения значений коэффициентов весомости на основании метода парных сравнений

В матрице в качестве количества  $n$  принимается количество сравниваемых показателей.

При этом в качестве значений матрицы  $a_{ij}$  принимаются следующие фиксированные результаты «игры» или очков: 0 – 1 – 2. Эти значения выставляет эксперт при анализе победы каждой пары игроков по следующему алгоритму [16]:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= 2, \text{ если } X_i > X_j \text{ означает выигрыш игрока } X_i \text{ (он лучше);} \\ a_{ij} &= 1, \text{ если } X_i = X_j \text{ ничейный исход;} \\ a_{ij} &= 0, \text{ если } X_i < X_j \text{ означает проигрыш игрока } X_i \text{ (он хуже) игроку } X_j. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В общем виде расчет нормированной «силы» игроков можно представить следующими формулами (такой подход позволяет учесть косвенные преимущества игроков) [16]:

$$P^{\text{отн}}(r) = (1 / \lambda(r)) A P^{\text{отн}}(r - 1); \quad (2.3)$$

$$\lambda(r) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij} P_i^{\text{отн}}(r - 1), \quad (2.4)$$

где  $r = 1, 2, \dots, n$ .

В следующих подразделах будут рассмотрены результаты практического применения представленных алгоритмов, на основании анализа которых должны быть выполнены расчеты коэффициентов весомости для простых показателей в структуре интегрального критерия технологичности.

## **2.2. Обоснование структуры показателей в составе обобщенного критерия производственной группы**

Ранее автором было установлено, что при расчете критерия технологичности для различных способов производства специальных работ в грунтах номенклатуру простых показателей начального (3-го) уровня следует рассматривать в зависимости от расположения исследуемого участка строительства. Причем набор таких показателей и значения их коэффициентов весомости в пределах 2-го уровня обобщенных показателей будут переменными в зависимости от расположения рассматриваемого участка строительства относительно существующей застройки.

Кроме того, автором установлено, что для исследования все характерные свойства способов были объединены в следующие группы: 1-я – производственная, 2-я – технико-экономических показателей, 3-я – критериев надежности и качества.

В структуре показателей производственной группы автором выделены следующие подгруппы:

- обеспечивающие возможность достижения проектных параметров фундаментов при реализации способа;
- основные или базовые технологические показатели. Их состав определяется конкретными условиями строительных площадок, на которых выполняют производство специальных работ, применяемыми технологиями или особыми требованиями, предъявляемыми участниками строительства.

Перечень представленных показателей должен быть одинаков для всех сравниваемых способов производства работ.

С учетом исследований, результаты которых представлены на рисунке 2.2, предлагается состав простых показателей в структуре производственной группы.

Следует отметить, что при пробных турах экспертных опросов эксперты затруднялись точно оценить такие показатели, что приводило к непониманию и необходимости уточнять представленный набор показателей. В результате было выполнено их сокращение и объединение, что позволило принять к дальнейшему исследованию следующую номенклатуру:



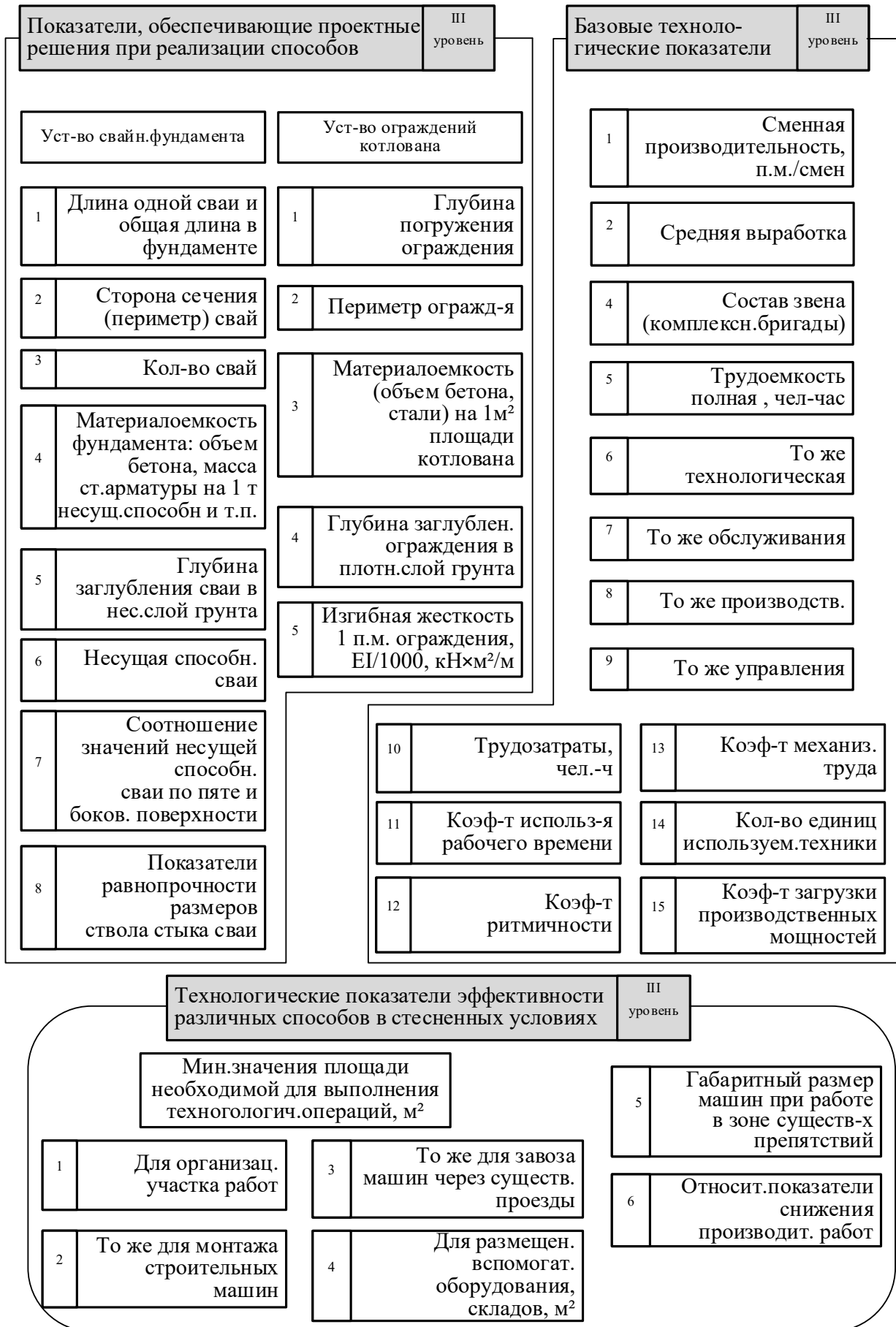


Рисунок 2.2 – Номенклатура простых показателей в структуре производственной группы

- трудоемкость производственная;
- сменная производительность;
- коэффициенты механизации труда, ритмичности, использования рабочего времени, загрузки производственных мощностей.

Коэффициенты весомости были получены автором на основе методов ранжирования приоритетов. Результаты таких исследований приведены в приложении. Для этого проводили экспертные опросы посредством парных сравнений на основании методики, изложенной в п. 2.1.

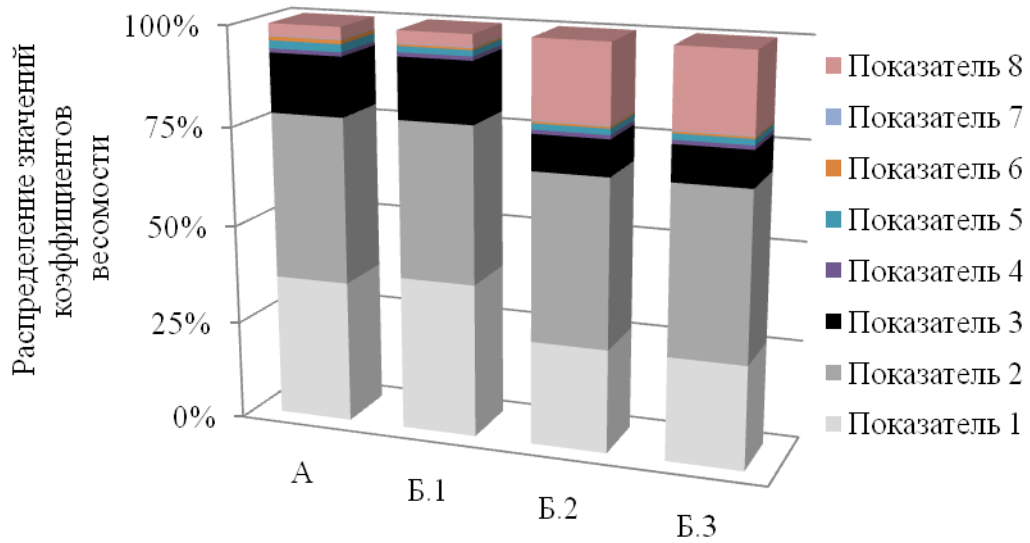
Анализ полученных значений коэффициентов вариации позволяет заключить, что согласованность мнений экспертов преимущественно высокая. По значимым показателям значения коэффициенты вариации не превышают 0,10–0,11. Для малозначимых показателей (показатель состава комплексной бригады) значения коэффициента вариации равны 0,247–0,311.

Как следствие, на рисунке 2.3 представлена диаграмма их распределения при реализации способов производства специальных работ в различных условиях производства работ.

Анализ значений, представленных на рисунке 2.3, *а*, позволяет заключить, что не все рассмотренные показатели следует учитывать в структуре критерия технологичности, так как их весомость в общей структуре критерия незначительна. Поэтому на основании методик, представленной в п. 2.1, была выполнена процедура сокращения следующих маловажных показателей: трудоемкости, сменной производительности, состава используемой техники. Таким образом, на рисунке 2.3, *б* представлена итоговая диаграмма распределения коэффициентов весомости, которые в дальнейшем будут использованы в составе критерия технологичности.

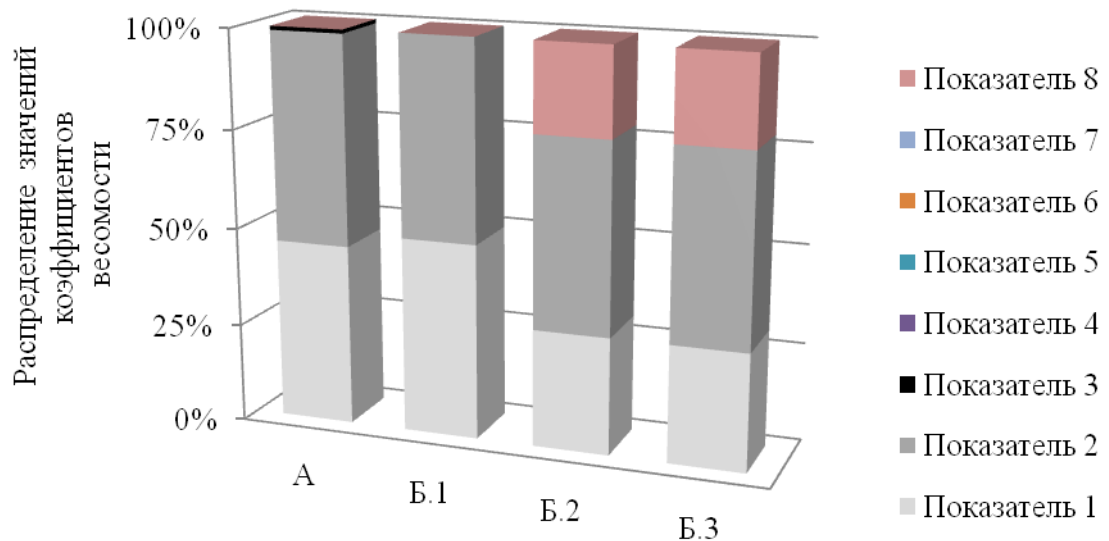
С учетом значений, представленных на рисунке 2.3 и в таблице 2.3, приведены значения коэффициентов весомости, полученных после сокращения маловажных показателей.

а)



Индекс, определяющий расположение участка строительства

б)



Индекс, определяющий расположение участка строительства

Рисунок 2.3 – Диаграмма распределения значения коэффициентов весомости базовых технологических показателей при реализации способов производства специальных работ в грунтах в различных условиях производства работ: *а* – с учетом всех анализируемых показателей; *б* – то же, после сокращения маловажных показателей. Показатели: 1 – трудоемкость производственная; 2 – сменная производительность; 3–6 – коэффициенты соответственно механизации труда, ритмичности, использования рабочего времени и загрузки производственных мощностей; 7 – количественный состав комплексной бригады; 8 – количество единиц используемой техники

Таблица 2.3 – Сводные значения коэффициентов весомости обобщенных показателей

№	Наименование показателя в порядке убывания значимости	Значения коэффициентов весомости в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки ( $K_i$ )			
		А	Б.1	Б.2	Б.3
1	Трудоемкость производственная (Тр)	0,464	0,496	0,297	0,297
2	Сменная производительность (Сп)	0,536	0,504	0,481	0,481
3	Количество единиц используемой техники	–	–	0,222	0,222
	Сумма	1,000	1,000	1,000	1,000

Значения, представленные в таблице 2.3, описываются следующими математическими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} K_i^{\text{Тр}} &= 0,284 + 0,008L - 0,00007L^2 \\ K_i^{\text{Сп}} &= 0,481L^{0,001L} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

где  $L$  – расстояние от участка строительства до существующей застройки.

Анализ таблицы 2.3 позволяет выявить следующие закономерности (с учетом распределения значений коэффициентов весомости базовых показателей):

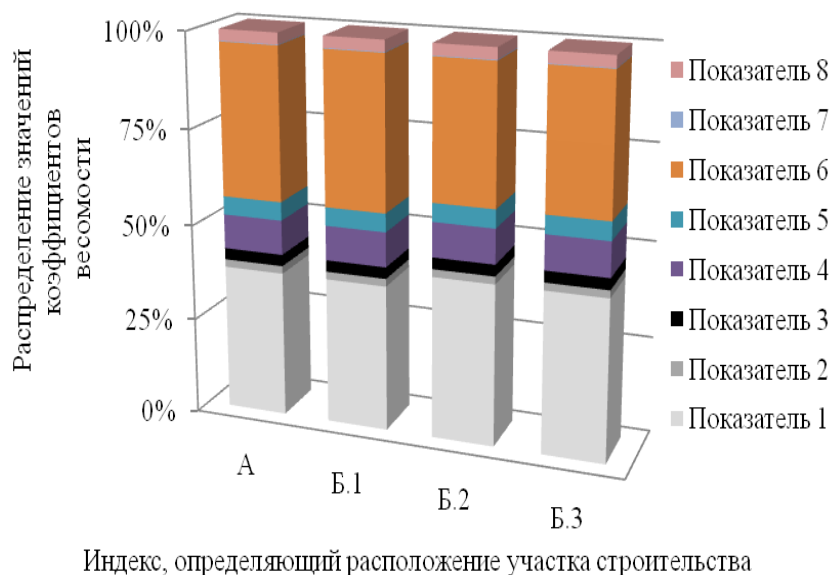
- при строительстве на участках, свободных от застройки, весомость показателей производственной трудоемкости ( $p = 0,464-0,496$ ) и сменной производительности примерно одинаковы ( $p = 0,536-0,504$ );
- в стесненных условиях дополнительно следует учитывать третий показатель – количество единиц используемой техники. При этом в порядке убывания значимости коэффициенты располагаются следующим образом: сменная производительность ( $p = 0,481$ ), производственная трудоемкость ( $p = 0,297$ ) и количество единиц используемой техники ( $p = 0,222$ ).

Для группы показателей обеспечения проектных параметров при реализации различных способов производства специальных работ было осуществлено **уменьшение количества показателей за счет объединения тождественных**.

На рис. 2.4, а представлены приведенные с учетом указанных преобразований результаты оценки значимости обозначенных параметров обеспечения проектных показателей при реализации различных современных способов устройства свайных фундаментов в различных условиях производства работ. Кроме того, при оценке по-

лученных результатов экспертных опросов было выполнено сокращение показателей за счет маловажных, для которых были получены минимальные значения коэффициентов весомости. Результаты такого анализа представлены на рис. 2.4, б.

а)



б)

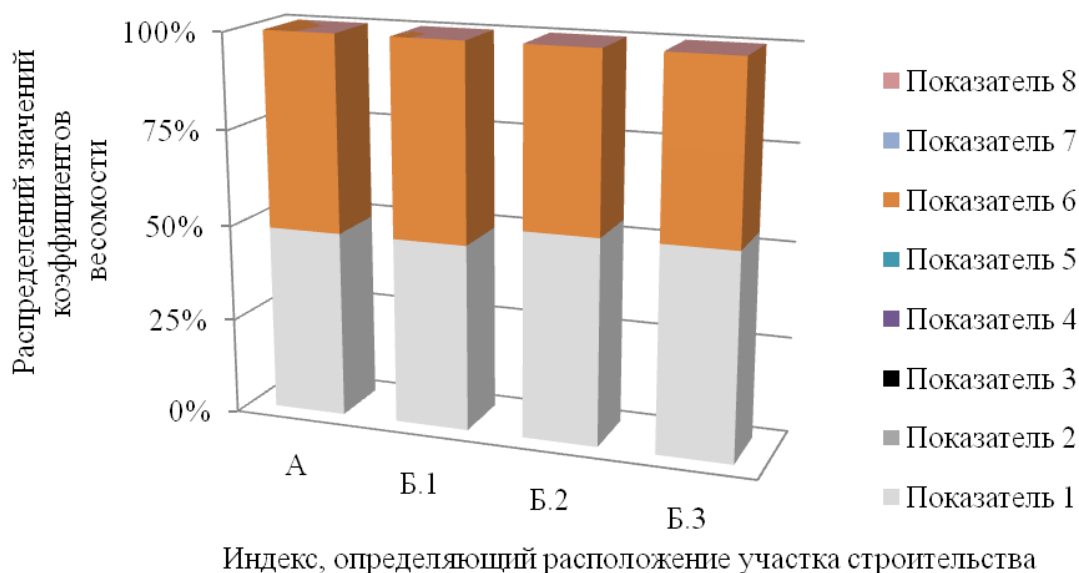


Рисунок 2.4 – Диаграмма распределения значения коэффициентов обеспечения проектных параметров устройства свайных фундаментов в различных условиях производства работ: а – с учетом всех анализируемых показателей; б – то же, после сокращения маловажных. Показатели: 1, 2 – длина и размер сечения; 3 – количество элементов; 4 – материалоемкость; 5 – показатели их заглубления в несущий слой грунта; 6 – удельная несущая способность; 7 – соотношение несущей способности под боковой поверхностью и под пятой свай; 8 – показатели равнопрочности их стволов

Исходя из анализа значений, представленных на рисунке 2.4, следует, что при устройстве свайных фундаментов в части оценки проектных параметров следует учитывать два показателя: длину элементов и их удельную несущую способность. Причем для участков, свободных от застройки, распределение значений их коэффициентов весоности примерно одинаково: соответственно 0,487 и 0,513.

При производстве работ в стесненных условиях растет весоность показателя длины элементов (0,538), так как увеличение этого показателя может приводить к соответствующему увеличению затрат.

На основании обработки значений, представленных на рисунке 2.4, получены уравнения, описывающие изменения коэффициента весоности для следующих показателей:

- длины элемента: 
$$K_i = 1 / (1,85 + 0,01L^{0,86}); \quad (2.6)$$

- несущей способности: 
$$K_i = 0,34(L + 18,92)^{0,10}. \quad (2.7)$$

Аналогичные результаты исследований автора структуры весоности показателей устройства ограждений котлованов показаны на рисунке 2.5.

Совместный анализ диаграмм, представленных на рисунке 2.5, позволяет заключить, что при оценке показателей устройства ограждений котлованов следует рассматривать два показателя: глубину погружения элемента ограждения и значение его изгибной жесткости одного погонного метра. Для участков, свободных от застройки, распределение значений их коэффициентов весоности примерно одинаково: соответственно 0,484 и 0,516. Причем следует оценивать значения требуемой глубины погружения элемента, так как этот показатель является основным при выборе комплекта оборудования.

При производстве работ в стесненных условиях растет весоность показателя длины элементов (0,505), так как его увеличение может приводить к соответствующему увеличению затрат и необходимости применения более затратных способов, требующих привлечения как специализированного оборудования, так и увеличения дополнительных площадей.

На основании обработки значений, представленных на рисунке 2.5, получены уравнения изменения коэффициента весоности по следующим показателям:

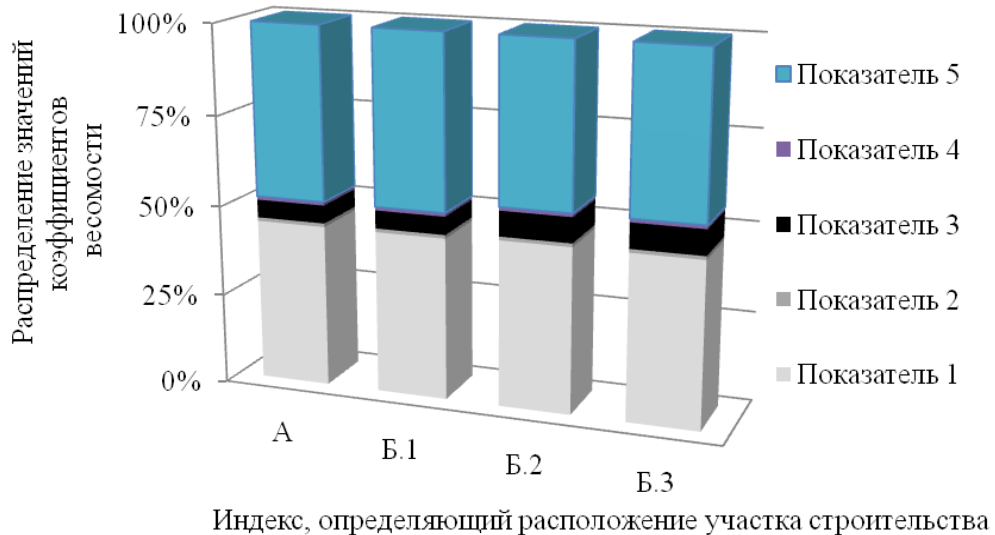
- длины элемента:

$$K_i = 1 / (1,97 + 0,01L^{0,63}); \quad (2.8)$$

- несущей способности:

$$K_i = 0,39(L + 37)^{0,07}. \quad (2.9)$$

a)



б)

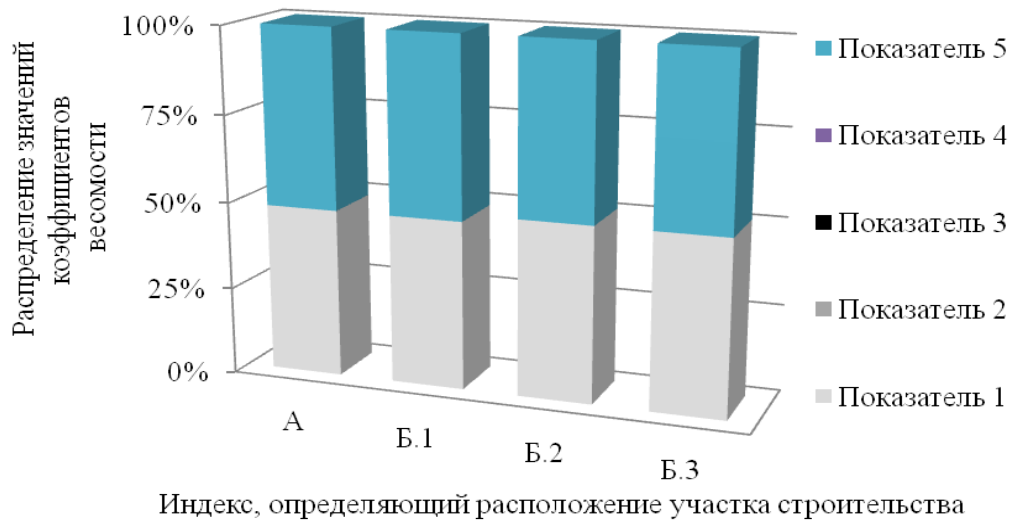


Рисунок 2.5 – Диаграмма распределения значения коэффициентов обеспечения проектных параметров устройства ограждений котлованов в различных условиях производства работ: а – с учетом всех анализируемых показателей; б – то же, после сокращения маловажных. Показатели: 1–4 – соответственно глубины погружения элементов ограждения, периметра, материалоемкости, глубины заделки ограждения в плотные породы; 5 – изгибная жесткость 1 погонного метра поперечного сечения элемента

При производстве специальных работ в стесненных условиях следует учитывать два основных фактора: обеспечение безопасности для конструкций окружающей застройки и техническую возможность реализации способов в пределах строительной площадки, характеризующейся различными препятствиями.

Для обоснования структуры показателей в условиях стесненной застройки на основании анализа опыта работ автором настоящей диссертации предложен алгоритм оценки показателей внешней и внутренней стесненности [33]. Такие показатели следует оценивать для конкретных условий работ с учетом характеристик современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов. Автором обоснована необходимость анализа структуры значения площадей, необходимых для организации технологического процесса, завоза и сборки оборудования и т. п. [33].

Результаты оценки указанных факторов в стесненных условиях работ в порядке убывания их значимости представлены в табл. 2.4. В этой таблице также приведены результаты сокращения маловажных показателей с минимальными значениями коэффициентов весомости.

Анализ значений коэффициентов вариации по значимым показателям, представленным в таблице 2.4, позволяет заключить, что согласованность мнений экспертов по основным показателям высокая: 0,066–0,030.

С учетом изложенного, можно расположить значения показателей в порядке убывания их значимости следующим образом: минимальные значения площадей, необходимые для производства работ; габаритные размеры ведущих машин, включая возможность устройства свайных элементов или элементов ограждения вблизи существующих конструкций; показатели увеличения трудозатрат в стесненных условиях.

На следующем этапе исследований автором устанавливались значения коэффициентов весомости в структуре обобщенного критерия производственной группы. Для трех анализируемых показателей (обеспечение проектных параметров; базовые показатели; показатели эффективности в стесненных условиях) применен метод непосредственной оценки. Результаты представлены на рисунке 2.6.



Таблица 2.4 – Значения весомости производственных факторов для стесненных условий работ

№	Наименование показателя в порядке убывания значимости	Первоначальные значения коэффициентов весомости	Значения коэффициентов весомости после исключения маловажных показателей	Коэффициент вариации
1	Минимальные значения площади участка работ	0,33	0,355	0,066
2	Требуемые значения габаритных размеров технологических проемов, необходимых для заезда оборудования	0,02	Исключен	0,167
3	Минимальные значения площадей, необходимых для монтажа машин и вспомогательного оборудования	0,05	Исключен	0,167
4	Габаритные размеры ведущих машин, в том числе при производстве работ у существующих препятствий	0,24	0,258	0,063
5	Относительные показатели увеличения трудоемкости для стесненных условий	0,36	0,387	0,030
	Общая сумма	1,000	1,000	–

На основе анализа значений коэффициентов весомости, приведенных в рисунке 2.6, можно сделать следующие выводы. При производстве специальных работ на территориях, свободных от застройки, наиболее значимы показатели, определяющие эффективность способа по критериям наименьших трудозатрат и наибольшей сменной производительности комплексной механизации ( $K = 0,72$ ). Значение коэффициента весомости показателя обеспечения проектных параметров равно 0,280.

Для условий производства работ в стесненных условиях следует учитывать следующие показатели, представленные в порядке убывания их значимости:

- эффективности работ в стесненных условиях ( $K_i = 0,42$ );
- базовые ( $K_i = 0,38$ );
- возможности обеспечения проектных параметров ( $K_i = 0,20$ ).

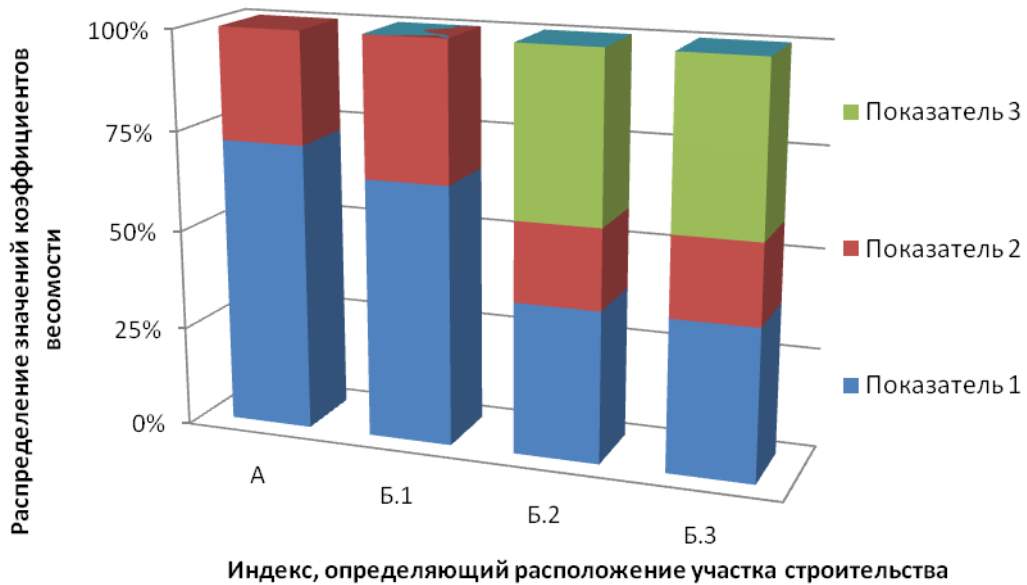


Рисунок 2.6 – Значения показателя весомости показателей в составе обобщенного критерия производственной группы. Показатели: 1 – базовые; 2 – возможности обеспечения проектных параметров; 3 – эффективности работ в стесненных условиях

Соответственно, в указанных условиях следует учитывать возможность производства работ в непосредственном примыкании к существующим конструкциям.

Изменение значений коэффициентов весомости, представленные на рисунке 2.6, описываются следующими выражениями:

- для базовых показателей:

$$K_i = 1 / (2,73 - 0,06L + 0,001L^2); \quad (2.10)$$

- проектных параметров:

$$K_i = 0,19 + 0,02L - 0,001L^2. \quad (2.11)$$

В последующих параграфах будет представлена методика исследования интегрального критерия технологичности по обобщенным критериям технико-экономической группы и показателям надежности и качества работ.

### 2.3. Исследование структуры показателей в составе обобщенного критерия технико-экономической группы

При оценке стоимости производства специальных работ в грунтах применяют следующие методы (согласно письму Минстроя РФ от 10.11.1992 № БФ-926/12 «О методических рекомендациях по определению стоимости строительства»):

- действующий традиционный (базисно-компенсационный);
- ресурсный и ресурсно-индексный.

Анализ соответствующих сборников единичных расценок показал, что они не учитывают всех технологических особенностей, возникающих в стесненных условиях и при устройстве элементов в геологических разрезах с неоднородными напластованиями пород. В результате расчеты, выполняемые на основании таких сборников, не позволяют сравнивать современные способы производства специальных работ.

В этой связи, опираясь на анализ практического опыта работ, автор привел структуру рассматриваемых затрат с учетом дополнительных расходов для различных способов производства специальных работ. В таблице 2.5 показана структура формирования стоимости устройство свайных фундаментов из элементов заводского изготовления.

Таблица 2.5 – Структура элементов затрат при устройстве фундаментов из свай заводского изготовления

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			В квартале нового строительства и современной застройки		В примыкании к существующим зданиям
			Участок свободен	В 30 м от зданий	
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	Погружение свай (забивка или вдавливанием, реже вибрационным воздействием)	пог. м	+	+	Только для вдавливания
2	Устройство сварных стыков свай	шт.	+	+	+

1	2	3	4	5	6
3	То же, ниже уровня стоянки машин (допогружение)	пог. м	+	+	+
4	Доставка техники на объект и ее вывоз	шт.	+	+	+
5	Подготовка основания для движения машин (укладка геотекстиля, щебеночная подготовка или кирпичный бой с выравниванием)	м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup>	+	+	+
6	Бурение (рыхление) лидерных скважин для погружения свай (применяют для снижения динамического воздействия или при наличии в геологическом разрезе плотных грунтов)	пог. м	-	+	+
7	Контроль качества работ: испытания свай (статическими и динамическими нагрузками или по усилию вдавливания, контроль сплошности)	шт.	+	+	+
8	Затраты на материалы (с доставкой, разгрузкой, перемещением и складированием, разравниванием подсыпки): сваи геотекстиль: устройство основания щебень или кирпичный бой электроды стальной лист прокатный гидроизоляционные составы	шт. м <sup>2</sup> м <sup>3</sup> кг т кг	+	+	+
9	Вырубка бетона свай при формировании их заделки в ростверк	шт./м <sup>3</sup>	+	+	+
10	Вывоз с объекта строительных отходов (бой железобетона)	м <sup>3</sup>	+	+	+
11	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	-	-	-	+
12	Электроснабжение для обеспечения работы установок вдавливания (80–100 кВт)	ед.	-	+	+

В таблице 2.6 приведен состав затрат при формировании стоимости устройства свайных фундаментов из буронабивных свай.

Таблица 2.6 – Структура элементов затрат при устройстве фундаментов из буронабивных свай

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	2	3	4	5	6
1	Устройство свай (бурение скважин с заполнением бетонной смесью и армированием)	пог. м	+	+	+
2	Устройство уширения ствола свай (механическим или динамическим способами)	ед.	+	+	+

1	2	3	4	5	6
3	Устройство системы подготовки и регенерации бурового раствора (для технологии бурения под глинистым раствором)	шт.	+	+	+
4	Доставка и вывоз техники на объект	компл.	+	+	+
5	Подготовка основания для движения машин (укладка геотекстиля, щебеночная подготовка с выравниванием)	м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup>	+	+	+
6	Лидерное рыхление грунта при устройстве свай вытеснения (для исключения подъема поверхности грунта)	пог. м	–	–	+
7	Контроль качества работ: испытания свай (статическими нагрузками, контроль сплошности и прочности бетона)	шт.	+	+	+
8	Затраты на материалы (с доставкой, разгрузкой, перемещением и складированием, разравниванием подсыпки): бетонная смесь арматура – каркасы свай с изготовлением комковатая глина – для бурового раствора геотекстиль – устройство основания щебень или кирпичный бой вода	м <sup>3</sup> т м <sup>3</sup> м <sup>2</sup> м <sup>3</sup> л	+	+	+
9	Вырубка бетона свай при формировании их заделки в ростверк	шт./м <sup>3</sup>	+	+	+
10	Вывоз с объекта строительных отходов (грунт с утилизацией на спецпредприятиях, извлеченный из скважин)	м <sup>3</sup>	+	+	+
11	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	–	–	–	+
12	Прогрев ствола свай при отрицательных температурах	шт.	+	+	+

Анализ структуры затрат, приведенных в таблицах 2.5 и 2.6, позволяет сделать следующие выводы. Структура затрат при формировании стоимости работ по устройству свайных фундаментов зависит от принятой технологии и включает в себя дополнительные расходы при устройстве основания для движения машин, контроле качества работ, подготовке оголовков свай для устройства ростверка дополнительные технологические операции в целях исключения сопротивления плотных слоев грунта и т. п. Причем характерные виды затрат не представлены в проектной документации, что затрудняет процесс формирования стоимости работ без соответствующей практической подготовки специалиста.

Кроме того, указанная структура затрат зависит от расположения участка строительства относительно существующей застройки, а также наличия в преде-

лах геологического разреза напластований плотных грунтов. Так, при наличии на строительной площадке ограничений по сокращению воздействий на структуру грунта и т. п. следует учитывать затраты по дополнительному лидерному рыхлению грунта, проведению соответствующего геотехнического мониторинга, усилению существующих конструкций, созданию в грунте защитных экранов и исключению режимов с динамическим воздействием (замена режима забивка на вдавливание или вибрационный).

Далее рассмотрена структура затрат при устройстве конструкций ограждений в грунте, необходимых для обеспечения устойчивости ограждений котлованов. В таблице 2.7 приведен состав затрат на формирование стоимости при устройстве ограждений из стального шпунта.

Таблица 2.7 – Структура элементов затрат при устройстве ограждений котлованов из стального шпунта

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	Погружение шпунта (способом забивки, вдавливания или вибрационным)	т	+	+	Вдавливание или вибрация
2	Устройство направляющего кондуктора	ед.	+	+	+
3	Монтаж системы подмыва	ед.	+	+	-
4	Устройство лидерной траншеи или рыхление грунта	шт.	-	-	+
5	Устройство и погружение угловых элементов	т	+	+	+
6	Сборка и крепление обвязочной балки	пог. м	+	+	+
7	Извлечение шпунта	т	+	+	+
8	Затраты на материалы (с доставкой, разгрузкой, перемещением и складированием): шпунт стальной профиль окрасочная гидроизоляция вода	т	+	+	+
т					
т					
л					
9	Вывоз с объекта извлеченного шпунта и стальных элементов крепления	т	+	+	+
10	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	–	–	–	+
11	Предварительная антикоррозионная обработка поверхности шпунта	м <sup>2</sup>	+	+	+
12	Обработка замков гидроизоляционными составами	пог. м	+	+	+
13	Наращивание и стыковка шпунта в условиях строительной площадки в кондукторах	ед.	+	+	+

В таблице 2.7 приведен полный перечень затрат, возникающих при устройстве шпунтовых ограждений. Их состав определяют с учетом конкретных условий на строительной площадке. Например, при наличии в геологических разрезах напластований плотных пород в зависимости от глубины их залегания предусматривают дополнительные мероприятия, направленные на снижение сопротивления грунта (предварительное рыхление грунта или погружение шпунта с подмывом). Кроме того, для снижения сил трения в замковых элементах выполняют их обработку антифрикционными составами. При устройстве ограждения в примыкании к существующим конструкциям применяют режим вдавливания или высокочастотного безрезонансного вибропогружения. В таблице 2.8 приведен состав затрат при определении стоимости при устройстве ограждений котлованов из буронабивных свай.

Таблица 2.8 – Структура элементов затрат при устройстве ограждений котлованов из буронабивных свай

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	2	3	4	5	6
1	Устройство свай (бурение скважин с заполнением бетонной смесью и армированием)	пог. м	+	+	+
2	Устройство направляющей форшахты	пог. м	+	+	+
3	Устройство системы подготовки и регенерации бурового раствора (для технологии бурения под глинистым раствором)	шт.	+	+	+
4	Доставка техники на объект и ее вывоз	компл.	+	+	+
5	Инъекционная цементация контактных зон соприкосновения свай	пог. м	–	+	+
6	Подготовка основания для движения машин (укладка геотекстиля, щебеночная подготовка с выравниванием)	м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup>	+	+	+
7	Контроль качества работ: испытания свай (контроль сплошности и прочности бетона)	шт.	+	+	+
8	Бетонирование обвязочной балки по оголовкам свай	пог. м	+	+	+
9	Затраты на материалы (с доставкой, разгрузкой, перемещением и складированием, разравниванием подсыпки): бетонная смесь арматурные каркасы свай комковая глина для бурового раствора	м <sup>3</sup> т м <sup>3</sup>	+	+	+

1	2	3	4	5	6
9	геотекстиль: устройство основания щебень или кирпичный бой щиты опалубки вода	м <sup>2</sup> м <sup>3</sup> м <sup>2</sup> л	+	+	+
10	Вырубка бетона свай при их заделке в рост- верк	шт./м <sup>3</sup>			
11	Вывоз с объекта строительных отходов (грунт, извлеченный из скважин, с утилиза- цией на спецпредприятиях)	м <sup>3</sup>	+	+	+
12	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	–	–	–	+
13	Прогрев ствола свай при отрицательных температурах	шт.	+	+	+

При формировании затрат, приведенных в таблице 2.17, следует учитывать, что при устройстве ограждений котлованов из свай в водонасыщенных грунтах следует учитывать работы по устройству дополнительной гидроизоляции контактных зон между сваями, выполняемой по технологии струйной цементации.

В таблице 2.9 приведена структура затрат в стоимости при устройстве ограждений котлованов по технологии «стена в грунте».

Таблица 2.9 – Структура элементов затрат при устройстве ограждений котлованов «стена в грунте»

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	2	3	4	5	6
1	Устройство траншейных элементов стены в грунте (устройство траншеи грейфером под глинистым раствором, установка ограничителей, установка армирующего каркаса и заполнение бетонной смесью (ВПТ), демонтаж ограничителей)	м <sup>3</sup>	+	+	+
2	Устройство направляющей форшахты	пог. м	+	+	+
3	Устройство системы подготовки, подачи и регенерации бурового раствора (для технологии бурения под глинистым раствором)	шт.	+	+	+
4	Доставка техники на объект и ее вывоз	компл.	+	+	+
5	Установка арматурного цеха	шт.	+	+	+
6	Подготовка основания для движения машин (укладка геотекстиля, щебеночная подготовка с выравниванием)	м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup>	+	+	+



1	2	3	4	5	6
7	Контроль качества работ (сплошности и прочности бетона)	шт.	+	+	+
8	Бетонирование обвязочной балки	пог. м	+	+	+
9	затраты на материалы (с доставкой): бетонная смесь арматурные каркасы свай с изготовлением комковая глина для бурового раствора геотекстиль: устройство основания щебень или кирпичный бой вода	м <sup>3</sup> т м <sup>3</sup> м <sup>2</sup> м <sup>3</sup> л	+	+	+
10	Вывоз с объекта строительных отходов (грунт, извлеченный из скважин, с утилизацией на спецпредприятиях)	м <sup>3</sup>	+	+	+
11	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	–	–	+	+
12	Прогрев элементов стены при отрицательных температурах	шт.	+	+	+

В таблице 2.19 приведена структура затрат, определяющая расчет стоимости при устройстве ограждений котлованов по технологии цементации грунта Jet grouting.

Таблица 2.10 – Структура элементов затрат при устройстве ограждений котлованов методом цементации грунта Jet grouting

№	Наименование элементов затрат, учитываемых при формировании стоимости	Ед. изм.	Учет структуры затрат в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки		
			А	Б.1	Б.2 и Б.3
1	Устройство элементов цементации в грунте (проходка скважины, струйная цементация при режимах одно-, двух- и трехкомпонентной подачи раствора)	м <sup>3</sup>	+	+	+
2	Устройство завода для приготовления цементного раствора	шт.	+	+	+
3	Доставка техники на объект и ее вывоз	компл.	+	+	+
4	Контроль качества работ (сплошности грунто-цементного массива)	шт.	+	+	+
5	Затраты на материалы (с доставкой, разгрузкой, перемещением и складированием): цемент (0,8 т/пог. м) вода арматура (при необходимости)	т л т	+	+	+
6	Вывоз с объекта строительных отходов (буровой шлам, извлеченный из скважин)	м <sup>3</sup>	+	+	+
7	Геотехнический мониторинг окружающей территории на период работ	–	–	+	+

Анализ приведенных в разделе данных говорит о том, что при формировании стоимости работ по устройству ограждений котлованов из элементов в грунте, формируемых из бетонной смеси или грунтоцемента, затраты будут определяться особенностью технологических операций. Причем такая структура будет преимущественно постоянна вне зависимости от расположения участка строительства. Исключения составят затраты на проведение геотехнического мониторинга, который необходимо проводить в примыкании к застройке.

Исследования, представленные в настоящем подразделе, свидетельствуют о том, что при учете показателя стоимости специальных работ следует принимать во внимание не только затраты на устройство свай или ограждений в грунте, но и структуру сопутствующих затрат, сумма которых может достигать 40–50 % от общей стоимости работ.

Для различных современных способов производства специальных работ цикла автором установлены такие затраты, что позволяют объективно определить показатели технико-экономической группы, необходимые для расчета интегрального критерия технологичности.

## 2.4. Разработка методики определения показателей надежности и качества выполнения работ

Ранее автором было показано, что проводить сравнительный анализ технологий специальных работ в грунтах – как устройства фундаментов, так и ограждений котлованов – неправомерно без учета показателей надежности и качества работ.

Исследования автора позволяют заключить, что такую оценку следует проводить на основе анализа следующих факторов:

- Обеспечение биосферной (экологической), включая промышленную безопасность в процессе производства работ. Эти факторы следует учитывать в контексте их негативных воздействий на биосферу (с учетом классификации, представленной в ГОСТ Р 14.03–2005 «Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация»):

- на атмосферу (выделяемые при работе газы и пыль, ионизирующее излучение);

- на гидросферу и литосферу (загрязнение территории отходами производства – преимущественно в виде бурового шлама, некондиционных бетонных смесей, фрагментов вырубаемого железобетона);

- на биотические факторы, приводящие к нарушению привычной жизнедеятельности населения (шумовые и динамические воздействия; сюда же следует отнести факторы промышленной безопасности: потенциально опасные факторы, действующие на строительных площадках, возникающие при работе машин и механизмов, требующие ограничить доступ жителей на селитебные территории; ограничение в использовании внутриквартальных проездов и т. п.).

- Влияние технологических параметров обеспечения качества бетонных элементов, набирающих прочность в слабых грунтах. Соответственно, при устройстве элементов с формированием бетонного ствола в грунте при различных технологических режимах будут наблюдаться различные дефекты в виде нарушения сплошности ствола и т. п.

- Влияние технологических параметров на безопасность окружающей застройки (развитие недопустимых значений осадок конструкций фундаментов зданий и сооружений). Анализ представленных факторов приведен автором в работах [25, 26, 28, 30, 34–37, 39, 40].

Причем такую качественную информацию следует учитывать при комплексной оценке способов оптимизации параметров в структуре интегрального критерия технологичности. При этом автором установлено, что в современных условиях не существует методик, позволяющих оценить такие показатели в условиях постоянно пополняющейся информации относительно данных показателей надежности и качества современных технологий.

Отсюда следует практически важный вывод о том, что необходима разработка методики оценки представленных факторов на основании обработки различной (преимущественно качественной) информации.

В главе 1 автором были сформулированы требования к такой методике, которые позволили разработать ее с учетом подходов, предложенных Гмошинским В. Г. [56] в рамках теории инженерного прогнозирования развития технологий строительного производства. Данная методика позволяет выполнять оценку инженерно-технической значимости соответствующих новых конструктивно-технологических решений по коэффициенту полноты, определяющему вероятность их внедрения в производство, их потенциальный технический уровень, степень новизны и т. п. Предлагаемые особенности анализируются и оцениваются по пятибалльной системе с помощью генеральных определительных таблиц (ГОТ). На основании выставляемых таким образом оценок рассчитывается коэффициент полноты, изменяющийся в пределах от 0,2 до 1,0. При этом чем ближе этот коэффициент к единице, тем больший потенциальный технический уровень имеет предлагаемое технологическое решение.

Однако алгоритмы Гмошинского В. Г. [56] разработаны для оценки конкретных технологических способов производства работ и не позволяют учитывать в расчетах их особенности в различных инженерно-геологических условиях, что потребует разработать в рамках поставленных задач уникальную методику

оценки показателей надежности и качества технологий устройства свайных фундаментов и ограждающих конструкций котлованов в различных инженерно-геологических условиях строительства.

Все анализируемые технологии необходимо оценивать по набору присущих им качественных особенностей и основных количественных характеристик, определяющих возможность использования в различных условиях строительных площадок. При этом функция  $\varphi(i)$ , нормирующая весомость каждой из характеристик, в абсолютном виде определяется по формуле [56]

$$\varphi(i) = i / (2^{i-1}), \quad (2.12)$$

где  $i$  – номер характеристики в общей ранжированной последовательности.

Относительное значение этой функции, нормирующее весомость  $\varphi(i)$ , определяется в виде отношения весомости данной характеристики к сумме весомости всех анализируемых характеристик, входящих в ранжированную последовательность, и определяется следующей зависимостью [53]:

$$\varphi_0(i) = \frac{\varphi(i)}{\sum_{i=1}^n \varphi(i)}, \quad (2.13)$$

где  $n$  – число анализируемых показателей или характеристики присущих рассматриваемой технологии.

При этом максимальное число рассматриваемых характеристик  $n_{\max} = 10$ , поскольку дальнейшее их увеличение приводит к снижению весомости, что делает их вклад в анализ эффективности применения технологии незначительным [56].

С помощью полученных таким образом значений коэффициентов весомости и на основании специально разработанных ГОТ необходимо анализировать любые качественные характеристики технологий, включая критерии надежности в количественных показателях в безразмерной форме от 0 до 1. Они представляет собой набор анализируемых характеристик, расположенных в ранжированном порядке убывания значимости для определения указанных показателей. Каждой строке характеристик присваиваются баллы и определяющие их значимость функции весомости. В результате каждая технология, рассматриваемая с позиций

анализа ее характерных признаков для конкретных инженерно-геологических условий строительной площадки, получает свой балл. Чем больше его значение относительно единицы, тем больше положительный эффект и меньше риск от использования технологии.

Для составления соответствующих ГОТ выполнено следующее:

- определен набор специальных требований и характеристик, предъявляемых к технологиям в зависимости от рассматриваемых условий строительных площадок;
- определены качества технологий по интенсивности их воздействия на окружающую среду.
- выполнено нормирование весоности характеристик по формулам (2.12), (2.13). Осуществлено нормирование весоности позиций, входящих в состав характеристик технологий; при этом минимальный балл  $j_{\max} = 1$ , а максимальный – равен порядку матриц характеристик  $n$  ( $j_{\max} = n = 5$ ).

Для получения достаточной достоверности ГОТ представлены в виде квадратной матрицы, строки которой отображают оценки анализируемых технологий в виде, выставляемых баллов в пределах от 1 до 5. Окончательная скорректированная оценка  $j_{\text{OK}}$  получается в результате умножения базисного значения на функцию, нормирующую весоность характеристик [56]:

$$j_{\text{OK}} = j_i \cdot \varphi(i). \quad (2.14)$$

Далее, с учетом полученных расчетных значений оценок  $j_{\text{OK}}$ , определяется коэффициент эффективности применения  $K_{\text{пр}}$ , характеризующий вероятностный эффект от применения рассматриваемой технологии. Этот коэффициент определяется по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{q}{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} j \cdot \varphi(i)}{n \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i)}, \quad (2.15)$$

где  $q$ ,  $Q$  – соответственно фактическая и максимально возможная суммы оценок рассматриваемой технологии. При этом максимальная сумма оценок при  $n = 5$  равна:

$$Q = 5 \sum_{i=1}^{i=5} \varphi(i) = 5 \cdot 3,56 = 17,8.$$

Коэффициент  $K_{пр}$ , рассчитываемый по формуле (2.15), позволяет перевести качественную информацию, характеризующую технологию, в безразмерную количественную величину, удобную для дальнейшего анализа. Аттестационная шкала значений коэффициентов эффективности, в соответствии с которой можно определить перспективность применения и оценить воздействие на окружающую среду рассматриваемых технологий в различных условиях строительных площадок, представлена в таблице 2.11.

Алгоритм расчета показателей, реализующий математическую модель в виде формул (2.12)–(2.15), приведен на рисунке 2.7.

Таблица 2.11 – Аттестационная шкала оценки перспективности применения технологий

Коэффициент эффективности применения $K_{пр}$	Оценочные показатели перспектив применения технологии	Примечание
1,0–0,80	Весьма перспективна	$K_{пр} = 1$ при балле «5» по всем параметрам
0,79–0,60	Перспективна	$K_{пр} = 0,8$ при балле «4» по всем параметрам
0,59–0,40	Малоперспективна; возможна значительная потеря качества или отрицательные последствия для окружающей застройки, состояния грунтов и т. п.	$K_{пр} = 0,6$ при балле «3» по всем параметрам
0,20–0,40	Неперспективна, применение не рекомендуется	$K_{пр} = 0,4$ при балле «2» по всем параметрам

Если по всем рассматриваемым характеристикам технологии выставлен балл «отлично», то коэффициент  $K_{пр} = 1,0(5 \cdot 5 / 25 = 1)$  и сама технология имеют большие перспективы применения. К этой категории перспективности применения относятся технологии, по которым получен балл «хорошо»; в этом случае коэффициент  $K_{пр} = 5 \times 4 / 25 = 0,8$ . В результате получаем диапазон изменения коэффициента от 0,8 до 1,00 включительно, при котором технологии относятся к весьма перспективным. На стыковочных участках значения коэффициента уменьшается на 0,01.

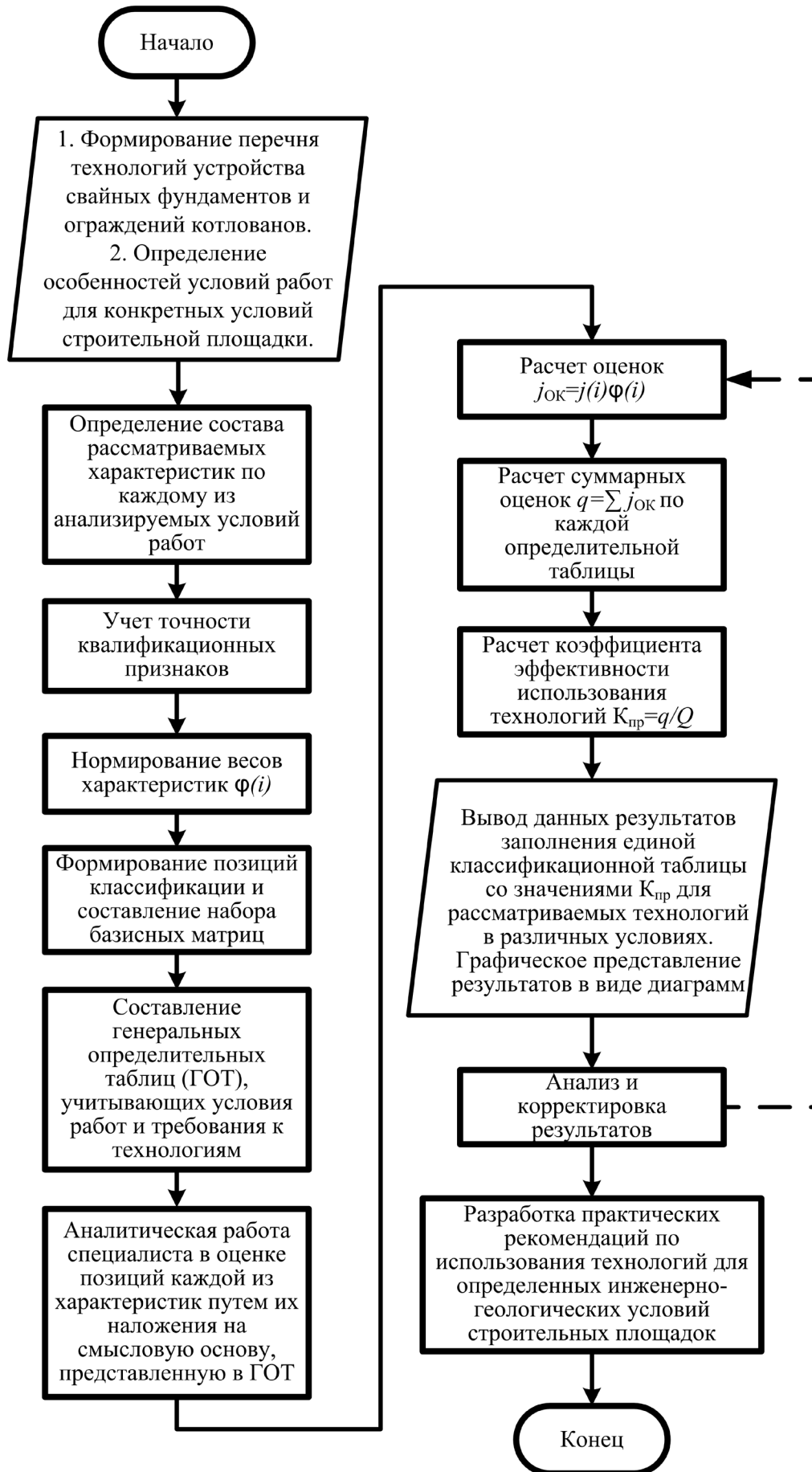


Рисунок 2.7 –  
Блок схема определения эффективности применения технологий устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов



С учетом изложенного в таблице 2.12 была представлена ГОТ, определяющая соответствие технологий условиям обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ.

Таблица 2.12 – ГОТ соответствия технологий условиям обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ

Код (шифр)	Наименование характеристик, $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные $j$	Расчетные (окончательные) $j_{ок}$
$p_1$	Технология не удовлетворяет условиям экологической и промышленной безопасности	1	0
$p_2$	Производство работ сопровождается шумовыми (более 10 дБ) и ударными воздействиями в грунте. Применяются динамические воздействия для уширения сечения элементов в грунте	2	2
$p_3$	В ходе работ возникает постоянная необходимость в утилизации отходов в виде бурового шлама, извлекаемого грунта и т. п. Производство работ сопровождается вибрационными воздействиями (частотой до 30 Гц), распространяющимися в массиве грунта	3	0
$p_4$	При производстве работ возникают дополнительные ограничения жизнедеятельности граждан (перекрытие дорог, частичное выселение, ограждение существующих проемов и т. п.). Применяется режим высокочастотного вибрационного воздействия (свыше 30 Гц)	4	0
$p_5$	Технология обеспечивает приемлемый уровень безопасности: бесшумность и отсутствие вредного воздействия на соседние здания, грунты, окружающую среду, жителей (отсутствие сотрясения, подмывов, загрязнений территории, воздуха, воды и т. п.)	5	0
–		Итого	2
–		Сумма всех оценок (итога) $q$	2
–		Возможный максимум оценок $Q$	5
–		Коэффициент эффективности использования $q/Q$	0,4

Характеристики способов, представленные в таблице 2.22, расположены с учетом снижения негативных воздействий «сверху вниз». С учетом данных таблиц 2.20–2.21, к негативным воздействиям отнесены шумовые и ударные воздействия, динамические возмущения, генерируемые в грунте, засорение территорий строительства отходами и т. п.

В таблицах 2.26 и 2.27 представлены ГОТ для оценки влияния технологических параметров обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями слабых водонасы-

щенных грунтов, а также плотных пород, препятствующих выполнению элементов с достижением опорного слоя.

Таблица 2.13 – ГОТ обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями слабых водонасыщенных грунтов

Код (шифр)	Наименование характеристик, $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные $j$	Расчетные (окончательные) $j_{ок}$
$p_1$	Скважина для буровой сваи (элемента ограждения) образуется желонками или ковшебурами; при этом специальные мероприятия, служащие для удержания ствола скважины до момента подачи бетонной смеси, не проводятся. Сваи с уширениями ствола выполняются по технологии РИТ, а ограждения – закреплением массива грунта методами цементации или смешивания	1	0
$p_2$	Буровые сваи, изготавливаемые проходными шнеками. Ограждения котлованов, выполняемые из касательных буровых свай	2	2
$p_3$	Устройство буровых свай с заполнением стволов скважин водой или под защитой обсадных труб. Ограждения котлованов, выполняемые из секущихся свай, а также из касательных свай с цементацией их контактных зон. Траншейные стены в грунты, устраиваемые гидравлическими фрезами	3	0
$p_4$	Набивные технологии изготовления свай. Устройство буровых свай с формированием их стволов в полимерных оболочках, с заполнением скважин глинистым раствором. Ограждения «стена в грунте», устраиваемые грейферами	4	0
$p_5$	Элементы в грунте устраиваются с применением готовых элементов (заводских), включая БНС в ж/б оболочках или стальных трубах. Ограждения – «стена в грунте» из сборных элементов	5	0
–		Итого	2
–		Сумма всех оценок (итого) $q$	2
–		Возможный максимум оценок $Q$	5
–		Коэффициент эффективности использования $q/Q$	0,4

Характеристики способов, представленные в таблице 2.13, расположены с учетом улучшения показателей качества работ в геологических разрезах с напластованиями слабых водонасыщенных грунтов «сверху вниз». Соответственно, в верхней части? таблицы приведены способы (технологические режимы), для которых выявлены нарушения качества ствола элемента в указанных условиях. Это преимущественно буровые режимы с извлечением грунта на поверхность с последующим заполнением скважины бетонной смесью. Для таких

способов характерно отсутствие мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости ствола скважин или их дополнительной обработки динамическими воздействиями. Соответственно, лучшим значением показателя качества будут обладать режимы погружения в грунт элементов заводского изготовления. Аналогичные исследования режимов в условиях залегания в геологическом разрезе плотных пород представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – ГОТ обеспечения устройства элементов свай и ограждений котлованов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями плотных грунтов

Код (шифр)	Наименование характеристик $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные $j$	Расчетные (окончательные) $j_{ок}$
$p_1$	В условиях наличия плотных грунтов следует отказаться от рассматриваемой технологии	1	0
$p_2$	Для устройства элементов необходимо применять лидерное бурение грунтов в пределах слоя. Диаметр бурения равен диагонали сваи	2	2
$p_3$	То же. Достаточный диаметр бурения меньше диагонали сечения элемента на 10–15 %	3	0
$p_4$	Технология обеспечивает устройство элементов через слои плотных грунтов мощностью до 4 м. Режим погружения с подмывом	4	0
$p_5$	Технология обеспечивает устройство элементов через слои плотных грунтов без дополнительных технологических операций	5	0
–		Итого	2
–		Сумма всех оценок (итога) $q$	2
–		Возможный максимум оценок $Q$	5
–		Коэффициент эффективности использования $q/Q$	0,4

Характеристики способов, представленные в таблице 2.14, расположены с учетом повышения возможности устройства или погружения элементов в геологических разрезах с напластованиями плотных грунтов «сверху вниз». Соответственно, в таких условиях наиболее эффективны режимы устройства буровых свай с извлечением породы на поверхность «сверху».

В таблице 2.15 представлены ГОТ для оценки уровня влияния различных технологических параметров, характерных для анализируемых способов, на безопасность для окружающей застройки, включая осадки конструкций ближайших зданий и сооружений.

Таблица 2.15 – ГОТ уровня влияния различных технологических параметров, характерных для анализируемых способов, на безопасность для окружающей застройки

Код (шифр)	Наименование характеристик $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные $j$	Расчетные (окончательные) $j_{ок}$
$p_1$	При погружении элементов в грунт генерируются ударные волны возмущения. (То же с подмывом.) Устройство буровых свай осуществляется полыми проходными шнеками	1	0
$p_2$	Для уширения бетонного ствола применяют динамические воздействия (РИТ и т. п.). При разработке грунта используют методы свободного сброса буровых снарядов на забой. Применяют режимы с креплением ствола выработки и удалением грунта шнеком, фрезами или желонками	2	2
$p_3$	При устройстве элементов возможно извлечение на поверхность объема грунта, значительно превышающего расчетный объем, что приводит к просадкам поверхности и деформациям существующих конструкций	3	0
$p_4$	Используются агрегаты большой массы, создающие дополнительное давление на основание и конструкции существующих зданий. При вибрационном погружении элементов применяют высокочастотные режимы. Для закрепления грунта используют режимы струйной цементации	4	0
$p_5$	Технологии не свойственны основные факторы, отрицательно влияющие на конструкции существ. зданий. Гарантируется их безопасность при соблюдении технологической дисциплины. При изготовлении свай малого диаметра скважины заполняют глинистым раствором или «обсаживают» обсадными трубами. При вдавливании элементов или буровых труб применяют лидерное рыхление грунта	5	0
–		Итого	2
–		Сумма всех оценок (итого) $q$	2
–		Возможный максимум оценок $Q$	5
–		Коэффициент эффективности использования $q/Q$	0,4

В таблице 2.16 представлены ГОТ для оценки уровня влияния технологических режимов на изменение НДС массива грунта.

Таблица 2.16 – ГОТ для оценки уровня влияния технологических режимов на изменение НДС массива грунта

Код (шифр)	Наименование характеристик $\varphi(i)$	Оценки	
		Базисные $j$	Расчетные (окончательные) $j_{ок}$
$p_1$	При погружении (устройстве) элементов в грунте генерируются ударные возмущения. Режим погружения элементов – с подмывом	1	0
$p_2$	Элементы устраиваются с различными уширениями ствола при динамических воздействиях (взрывы, РИТ и т. п.). При забивке свай или буровых труб применяют лидерное рыхление грунта шнеком	2	2
$p_3$	При производстве работ возможно извлечение на поверхность объема грунта, значительно превышающего расчетный объем свай (диаметры более 550–600 мм). Происходит вибрационное воздействие (частотой до 30 Гц) на грунт при погружении элементов	3	0
$p_4$	Для способа характерны процессы перемещения грунта (погружение свайных элементов, вытеснение грунта буровыми трубами). Применяются агрегаты большой массы, создающие дополнительное давление на основание и конструкции существующих зданий. Используется режим струйной цементации массива грунта	4	0
$p_5$	Технологии существенно не влияют на изменение НДС массива грунта. При вдавливании свай или буровых труб применяют лидерное рыхление грунта без его удаления на поверхность	5	0
–		Итого	2
–		Сумма всех оценок (итога) $q$	2
–		Возможный максимум оценок $Q$	5
–		Коэффициент эффективности использования $q/Q$	0,4

Анализ данных таблиц 2.15–2.16 показывает, что наиболее негативные режимы по критерию воздействия на НДС массива грунта и по влиянию на окружающую застройку характеризуются различными динамическими воздействиями, генерируемыми в толще породы. Соответственно, к «отрицательным» отнесены режимы, характеризующиеся устройством скважин с незакрепленным стволом и извлечением грунта на поверхность. В таких условиях наблюдают просадки поверхности грунта в зонах производства работ и деформации конструкций фундаментов соседних зданий и сооружений.

Следует отметить, что на практике в зависимости от особенностей конкретных строительных площадок следует рассматривать различные комбинации представленных выше факторов. Например, когда при обеспечении качества элементов необходимо гарантировать минимальные изменения напряженно-деформируемого состояния массива грунта, следует учитывать наличие в пределах геологического разреза прослоев слабых или плотных пород.

Для этого – согласно расчетной модели, представленной в формулах (2.12), (2.15) и алгоритму, изображенному на рисунке 2.7, – следует комбинировать различный набор свойств, анализируемых различными ГОТ. Далее определяют оценки по каждой из таблиц с учетом их коэффициентов весомости и рассчитывают их суммы по следующей формуле:

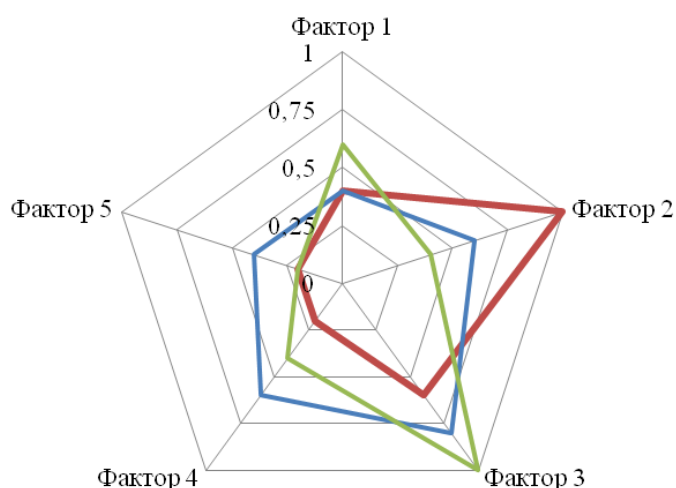
$$q = \sum_{i=1}^{i=N} j_{ок}, \quad (2.16)$$

где  $N$  – количество исследуемых факторов или анализируемых таблиц;  $j_{ок}$  – значение скорректированной оценки, определяемое по формуле (2.7).

Таким образом, итоговый коэффициент эффективности технологии определяется по формуле (2.15), где в числителе подставляется значение, полученное по формуле (2.14). Это позволяет решить задачу комплексной оценки всех факторов, присущих рассматриваемым способам, для конкретных условий строительных площадок.

Анализ различных технологических режимов для конкретных условий строительства и расчеты, выполненные по формулам (2.12)–(2.15), позволяют оценить для каждого способа факторы надежности и качества работ и представить их в виде лепестковых диаграмм. Такая диаграмма, отражающая особенности способа погружения элементов заводского изготовления, приведена на рисунке 2.8. На нем по каждой оси откладываются значения коэффициента эффективности применения  $K_{ГП}$ .

а)

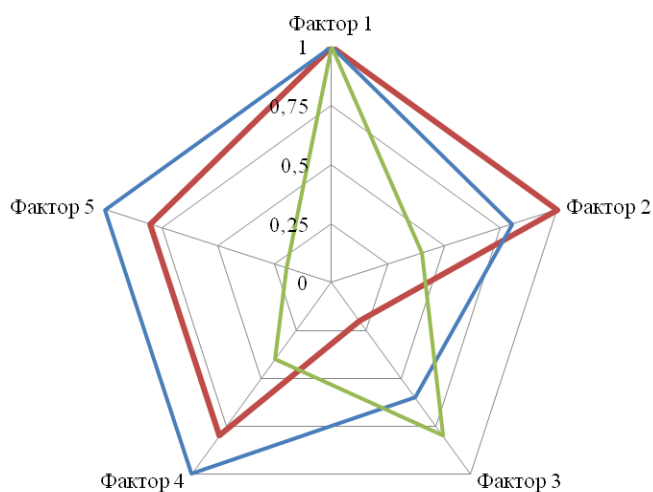


Условные обозначения:

- красный граф – забивка элементов;
- синий – тоже с предварительным рыхлением грунта шнеками;
- зеленый – тоже с подмывом

1 – факторы обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ; 2 – то же, обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями слабых водонасыщенных грунтов; 3 – то же, плотных грунтов; 4 – то же, влияния на безопасность для окружающей застройки; 5 – то же, влияния на изменение НДС массива грунта

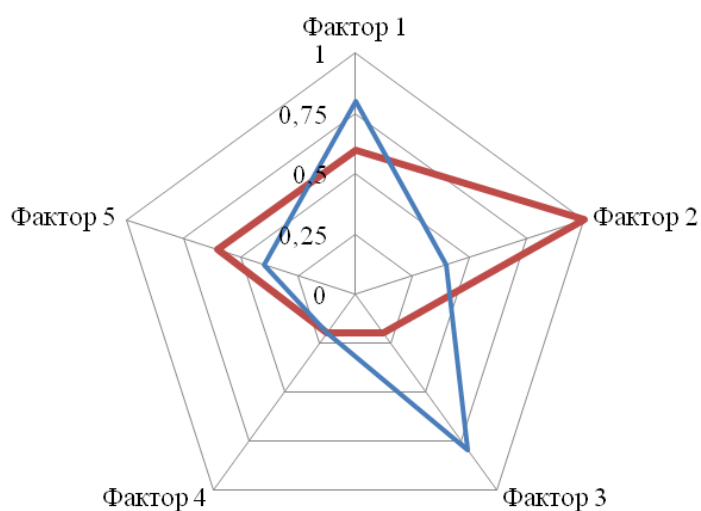
б)



Условные обозначения:

- красный граф – вдавливание элементов;
- синий – то же, с предварительным рыхлением грунта шнеками;
- зеленый – то же, с подмывом

в)



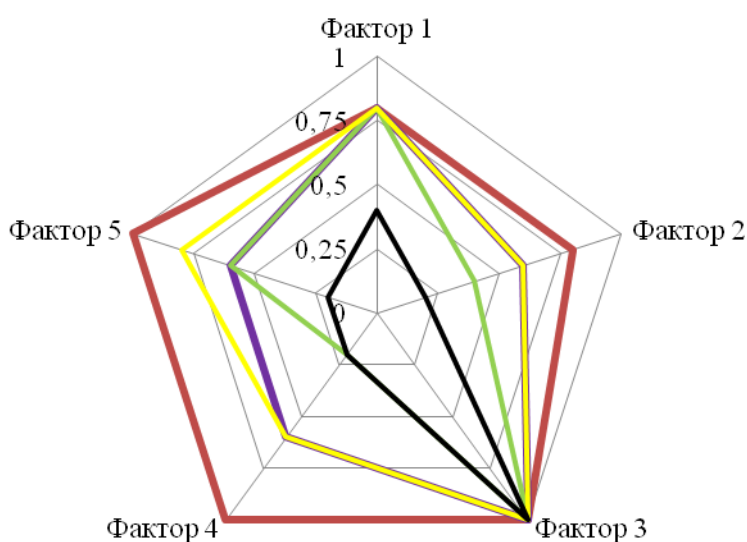
Условные обозначения:

- красный граф – вибрационное погружение элементов;
- синий – то же, с лидерным рыхлением или бурением грунта шнеками;
- зеленый – то же, с подмывом

Рисунок 2.8 – Лепестковая диаграмма оценки различных факторов на основании значения коэффициента эффективности применения для способов погружения элементов заводского изготовления для соответственно забивки (а), вдавливания (б) и вибрационного погружения (в)

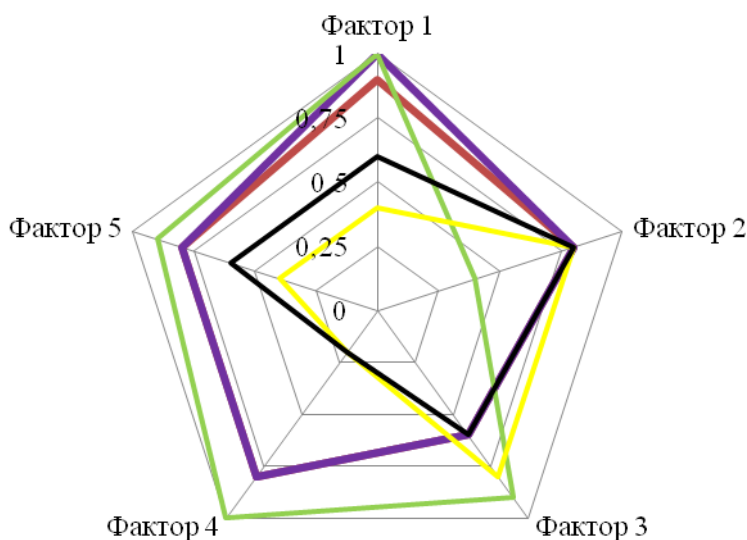
На лепестковых диаграммах рисунка 2.9 представлены распределения значений коэффициентов эффективности различных факторов для современных буронабивных способов изготовления элементов в грунте.

а)



Условные обозначения:  
 – красный граф – изготовление буровых свай под глинистым раствором;  
 – желтый – то же, с двойным вращением буровых элементов;  
 – зеленый – то же, проходным шнеком;  
 – фиолетовый – то же, изготовление свай под защитой обсадных труб (диаметром >600 мм);  
 – черный – то же, с обработкой бетонной смеси ствола свай РИТ

б)



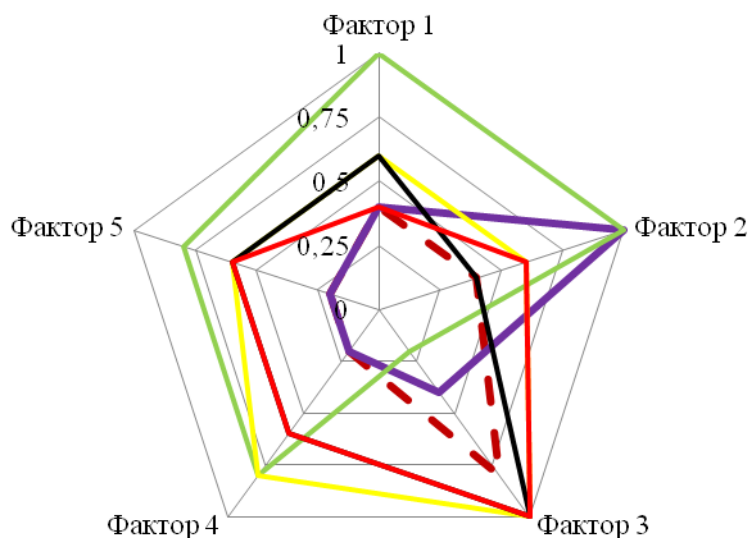
Условные обозначения:  
 – фиолетовый граф – изготовление при погружении труб с теряемым наконечником (Фундекс);  
 – зеленый – то же, с предварительным рыхлением грунта;  
 – красный – то же, вытеснением;  
 – желтый – то же, с забивкой труб;  
 – черный – то же, виброштампованных элементов

Рисунок 2.9 – Лепестковая диаграмма оценки различных факторов на основании значения коэффициента эффективности применения для буронабивных способов устройства свай: для изготовления свай с извлечением на поверхность грунта (а) и без извлечения (б). Обозначения анализируемых факторов те же, что и на рисунке 2.8



На диаграммах, представленных на рисунке 2.10, показано распределение значений коэффициентов различных факторов для современных способов устройства и изготовления ограждений котлованов.

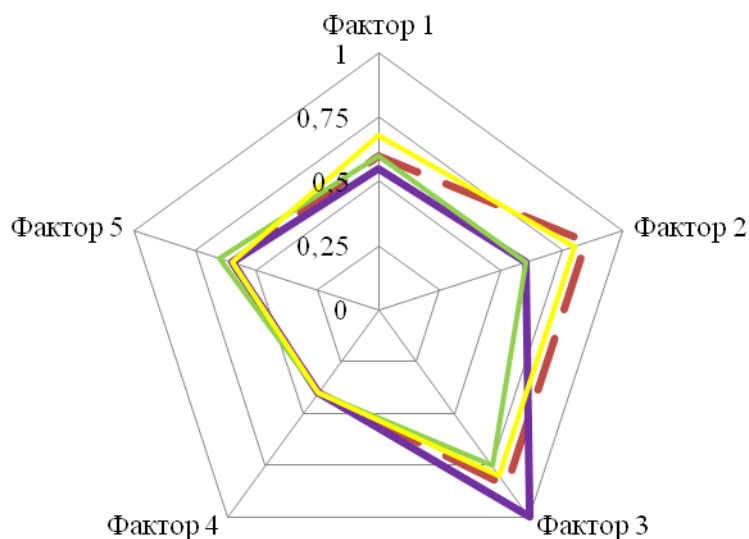
а)



Условные обозначения:

- зеленый граф – вдавливание стального шпунта;
- фиолетовый – то же, вибрационное погружение;
- коричневый пунктир – погружение стальных профилей с заполнением забирки между ними;
- желтый – буросекущие сваи;
- черный – касательные сваи;
- красный – то же, со струйной цементацией контактных зон свай

б)



Условные обозначения:

- коричневый пунктир – устройство траншейной монолитной стены в грунте механическими грейферами;
- фиолетовый – то же, гидравлическими фрезами;
- зеленый – традиционный способ заглубления монолитного опускного колодца;
- желтый – то же, в глиняной рубашке

Рисунок 2.10 – Лепестковая диаграмма оценки различных факторов на основании значения коэффициента эффективности применения для современных способов изготовления ограждений котлованов: *а* – при погружении стального шпунта, изготовлении ограждений буровых свай и стальными элементами с забиркой между ними; *б* – при изготовлении траншейных монолитных стен в грунте и опускных колодцев. Обозначения анализируемых факторов те же, что и на рисунке 2.8

Представленные диаграммы позволяют выполнять качественный анализ и предварительно оценить рациональные области применения способов устройства свай для конкретных условий строительных площадок. Причем для таких условий следует определять состав факторов, по которым в дальнейшем на основании рисунков 2.8–2.10 следует оценивать сравнительную эффективность указанных способов.

Качественный анализ представленных на рисунке значений приведен автором в подразделе 1.4. Их следует учитывать при расчете интегрального критерия технологичности для различных способов производства специальных работ.

По аналогии с показателями производственной группы, эти расчеты выполнялись в зависимости от расположения участка строительства относительно окружающей застройки. Для этого проводились экспертные опросы методом парных сравнений, результаты которых представлены в приложении; в таблице 2.17 приведены их итоговые результаты.

Таблица 2.17 – Значения коэффициентов весомости показателей надежности и качества работ

№	Наименование показателя	Наименование значения коэффициента весомости в составе обобщенного показателя для различных условий в зависимости от расположения участка строительства			
		А	Б.1	Б.2	Б.3
1	2	3	4	5	6
1	Обеспечение экологической и промышленной безопасности в процессе работ	0,30	0,25	0,2	0,25
2	Влияние технологических параметров обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями слабых водонасыщенных грунтов. То же, с напластованиями плотных пород, препятствующих выполнению элементов до проектного уровня	0,40	0,20	0,1	0,15

Окончание таблицы 2.17

1	2	3	4	5	6
3	Влияние на безопасность для окружающей застройки, включая осадки конструкций ближайших зданий и сооружений	–	0,4	0,7	0,6
4	Влияние технологических режимов на изменение НДС массива грунта	0,30	0,15	–	–
	Общая сумма	1,000	1,000	1,000	1,000

В приложении также приведены показатели оценки мнений экспертов. Кроме того, там дана оценка согласованности мнений экспертов на основании расчета значений коэффициента вариации.

Графическая интерпретации данных таблицы 2.17 представлена на рисунке 2.11 в виде диаграммы.

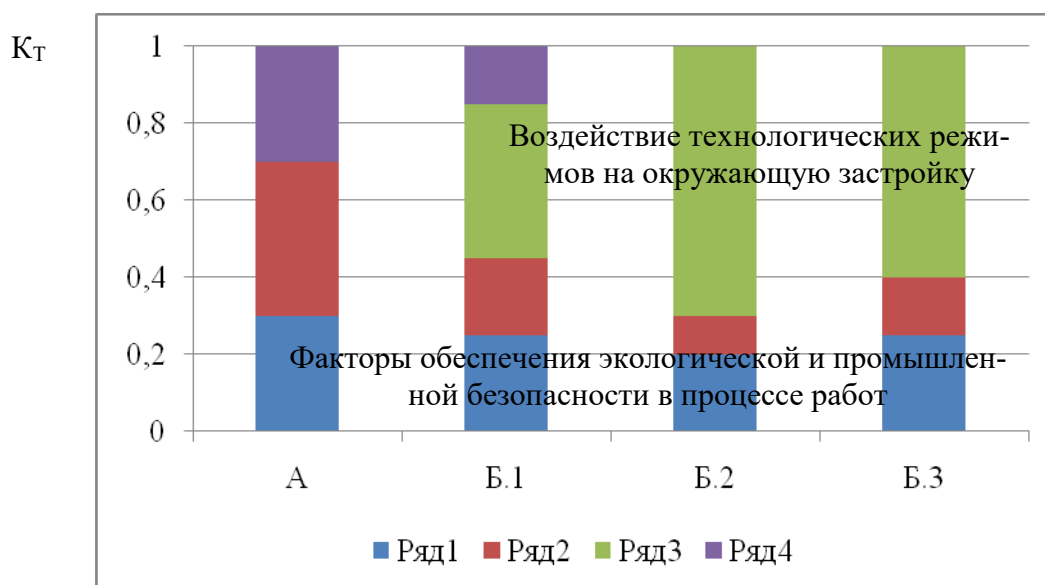


Рисунок 2.11 – Значения коэффициентов весомости ( $K_T$ ) показателей надежности и качества работ:

- Ряд 1: Обеспечение экологической и промышленной безопасности в процессе работ
- Ряд 2: То же, качества ствола элементов
- Ряд 3: То же, различных технологических параметров на безопасность для окружающей застройки, включая осадки конструкций ближайших зданий и сооружений
- Ряд 4: Влияние технологических режимов на изменение НДС массива грунта

На основании анализа значений таблицы 2.17 и рисунка 2.11 можно сделать следующие выводы по поводу изменения структуры показателя надежности и качества в зависимости от расположения участка строительства.

На участках, свободных от застройки, наибольшую весомость имеют факторы, определяющие возможность устройства элементов в различных инженерно-геологических условиях ( $p = 0,4$ ). Далее равномерно распределяется весомость факторов, определяющих изменения свойств НДС массива грунта и экологической безопасности ( $p = 0,3$ ).

Для условий строительства на участках, расположенных вблизи застроенных территорий, дополнительно к перечисленным факторам следует учитывать показатель влияния технологических режимов на состояние окружающей застройки ( $p = 0,4$ ). Причем значение его весомости по сравнению с другими факторами максимальное.

При строительстве на участках, непосредственно примыкающих к существующим зданиям и сооружениям и имеющих III категорию технического состояния (не удовлетворительное), было получено максимальное значение коэффициента весомости показателя, определяющее воздействие технологических режимов работ на состояние этих зданий ( $p = 0,7$ ). Это объясняется тем, что на практике при нарушении технологической дисциплины возникают аварийные ситуации, связанные с развитием недопустимых деформаций существующих конструкций. Соответственно, при анализе общей структуры интегрального показателя технологичности способы, имеющие значения показателей надежности и качества менее 0,6, можно применять только после обязательной опытной проверки. Значение коэффициента весомости показателя, определяющего экологическую безопасность, равно 0,2. Как следствие, для показателей, определяющих возможность обеспечения качества в различных инженерно-геологических условиях, значение этого показателя равно 0,1.

Для аналогичных условий производства работ близи зданий и сооружений, имеющих I и II категорию технического состояния (нормальное и удовлетвори-

тельное), коэффициенты весомости для этих же показателей распределяются следующим образом: 0,60–0,25 и 0,15.

На основании математической обработки значений коэффициентов весомости, представленных на рисунке 2.11, автором были получены следующие выражения:

- для показателей обеспечение экологической и промышленной безопасности:

$$K_i = (95,14 - 0,85L)^{-1/3,28}; \quad (2.17)$$

- то же, качества ствола элементов:

$$K_i = 0,16 - 0,01L - 0,001L^2; \quad (2.18)$$

- то же, влияния на безопасность для окружающей застройки:

$$K_i = 0,63 - 0,01L; \quad (2.19)$$

- то же, влияния на изменение НДС массива грунта:

$$K_i = -0,03 + 0,001L + 0,001L^2. \quad (2.20)$$

Полученные автором алгоритмы и математические модели позволяют получать показатели надежности и качества работ, необходимые при расчете интегрального критерия технологичности. Новая методика является достаточно гибкой и универсальной, подходя для различных способов производства специальных работ и инженерно-геологических условий. Кроме того, она позволяет использовать полученные автором определительные таблицы для оценки режимов различных технологий, включая их комбинации.

## 2.5. Математическая модель расчета критерия технологичности и ее реализация в программном комплексе

В предыдущих подразделах автором были представлены исследования структуры и разработка методики расчета значений коэффициентов весомости простых показателей, входящих в следующие группы обобщенных критериев: производственной, технико-экономической, надежности и качества работ.

Исследования и расчеты предложено выполнять в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки, для которого выполняется анализ технологических режимов способов специальных работ в грунтах.

Чтобы обеспечить возможность расчета интегрального критерия технологичности, необходимо выявить значения коэффициентов обобщенных критериев для представленных условий. Результаты указанных исследований приведены в таблице 2.18; они были получены на основании методов расстановки приоритетов. Для этого проводились экспертные опросы методом парных сравнений, описание которого приведено в подразделе 2.1.

Таблица 2.18 – Значения коэффициентов весомости обобщенных показателей в составе интегрального критерия технологичности

№	Наименование обобщенного показателя	Наименование значения коэффициента весомости в составе обобщенного показателя для различных условий в зависимости от расположения участка строительства			
		А	Б.1	Б.2	Б.3
1	Производственный	0,40	0,35	0,20	0,25
2	Технико-экономический	0,45	0,40	0,10	0,15
3	Надежности и качества работ	0,15	0,25	0,70	0,60
	Общая сумма	1,00	1,00	1,00	1,00

Оценка согласованности результатов экспертного опроса на основании анализа значений коэффициентов вариации представлена в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Показатели оценки согласованности мнений экспертов

№	Наименование обобщенного показателя	Значения коэффициента вариации для различных показателей в зависимости от расположения участка строительства			
		А	Б.1	Б.2	Б.3
1	Производственный	0,02	0,10	0,24	0,19
2	Технико-экономический	0,04	0,11	0,25	0,25
3	Надежности и качества работ	0,10	0,09	0,08	0,09

На основе данных таблицы 2.18 и 2.19 и с учетом рекомендаций подпункта 2.1 следует, что согласованность мнений экспертов в ходе проведения указанного тура опроса преимущественно средняя, так как значения коэффициентов вариации не превышают 0,25.

Причем для участков, расположенных на свободных от застройки территориях, согласованность мнений экспертов относительно распределения коэффициентов весомости (оцениваемых в пределах 0,02–0,11) анализируемых показателей средняя или выше средней.

Касательно показателей надежности и качества работ полученная согласованность мнений экспертов выше средней, а значения коэффициента вариации находятся в пределах от 0,08 до 0,10.

Для показателей производственной и технико-экономической группы при строительстве в условиях примыкания к существующим конструкциям зданий и сооружений согласованность мнений при экспертных опросах средняя при распределении коэффициента вариации в пределах от 0,19 до 0,25.

Графическая интерпретации данных таблицы 2.18 представлена на рисунке 2.12 в виде диаграммы распределения соответствующих коэффициентов весомости.

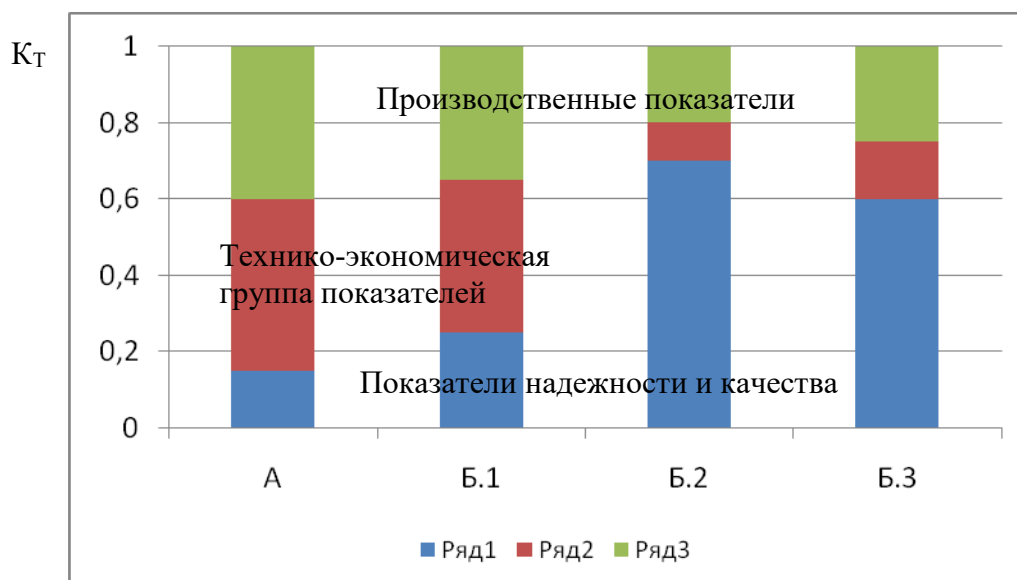


Рисунок 2.12 – Значения коэффициентов весомости обобщенных групп показателей:

- Ряд 1: показатели надежности и качества работ
- Ряд 2: технико-экономическая группа показателей
- Ряд 3: производственная группа показателей

На основе математической обработки данных, представленных в таблице 2.18, автором были получены следующие выражения, описывающие изменения значений соответствующих коэффициентов весомости:

- производственных показателей:

$$K_i = 0,24L^{0,004L}; \quad (2.21)$$

- то же, технико-экономических:

$$K_i = 1 / (7,59 - 0,30L + 0,004L^2); \quad (2.22)$$

- то же, надежности и качества работ:

$$K_i = 0,603 - 0,015L. \quad (2.23)$$

Совместный анализ данных, представленных в таблице 2.18 и на рисунке 2.12, позволяют сделать следующие выводы, имеющие важное практическое значение.

Выполненные исследования подтверждают выдвинутый ранее тезис об оценке эффективности технологических режимов в зависимости от расположения рассматриваемого участка строительства относительно существующей застройки.



Так, для участков, располагаемых в «свободных» кварталах, предпочтение следует отдавать технологиям с наибольшими значениями показателей производственной и технико-экономической групп, для которых значения коэффициента весомости равны соответственно 0,40 и 0,45. Таким образом, решающими факторами становятся стоимость выполнения работ и показатели трудозатрат, сроков выполнения работ и т. п.

При «смещении» расположения участка работ в направлении к селитебной территории существенно меняется структура интегрального показателя. Наблюдается характерное увеличение значения показателя надежности и качества работ. Его значение в кварталах новой застройки равно 0,25, а при производстве работ в непосредственной близости от зданий, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, может достигать до 0,70. Это объясняется тем, что различные технологические режимы могут характеризоваться факторами, отрицательно сказывающимися на состоянии конструкций зданий, что в свою очередь может привести как к их деформациям, так и к возникновению аварийных ситуаций. Накопленный опыт строительства на слабых грунтах позволяет заключить, что такие негативные последствия действительно наблюдаются при неправильно выбранных технологических режимах [25, 26].

Соответственно, при производстве работ в таких условиях значения коэффициентов весомости для производственных показателей находятся в интервалах от 0,2 до 0,25, а при строительстве в кварталах сложившейся застройки – вплоть до 0,35. Для технико-экономических показателей значения коэффициентов весомости распределяются следующим образом: 0,10 – 0,15 – 0,40.

С учетом указанных изменений коэффициента отсюда следует, что при выборе технологических режимов решающим фактором для технологий будет их соответствие минимальным воздействиям на биосферу как по критериям загрязнения атмосферы и грунта, так и распространения динамических воздействий в виде шума и передаваемых на грунт основания вибраций, возможных процессов подработки грунта в незакрепленных выработках и т. п.

Представленные в главе исследования позволили получить значения коэффициентов обобщенных критериев в структуре интегрального критерия технологичности. Это позволяет комплексно оценивать различные технологические режимы на основании указанного критерия.

Анализ полученных результатов позволил разработать программный комплекс, реализующий на практике полученный алгоритм. В результате для различных способов производства специальных работ следует выполнить расчет интегрального показателя технологичности. Как следствие, была разработана программа для ЭВМ «Сравнительный анализ эффективности способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности», на которую автором было получено свидетельство о регистрации от Федеральной службы по интеллектуальной собственности № 2015660159 (дата внесения в реестр программ для ЭВМ – 14.12.2015).

В нем расчет критериев технологичности проводится по алгоритму, представленному на рисунке 2.13.

После всех расчетов пользователю представляется заключительная форма, в которой через сравнение полученных результатов выводится промежуточный результат расчетов. После ввода значений коэффициентов весомости показателей производится завершающий расчет; далее делается вывод о наиболее рациональном методе или соответствующих ранжированных рядов.

Представленный программный комплекс позволяет выполнять указанные расчеты для анализа различных вариантов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов. Аналогов таких решений в настоящее время не существует.

В настоящем подразделе представлены исследования автора в области структуры интегрального критерия технологичности, состоящего из следующих групп обобщенных критериев: производственной, технико-экономической, надежности и качества работ. В ходе проведения экспертных опросов были получены значения коэффициентов весомости этих групп для различных условий строительства.

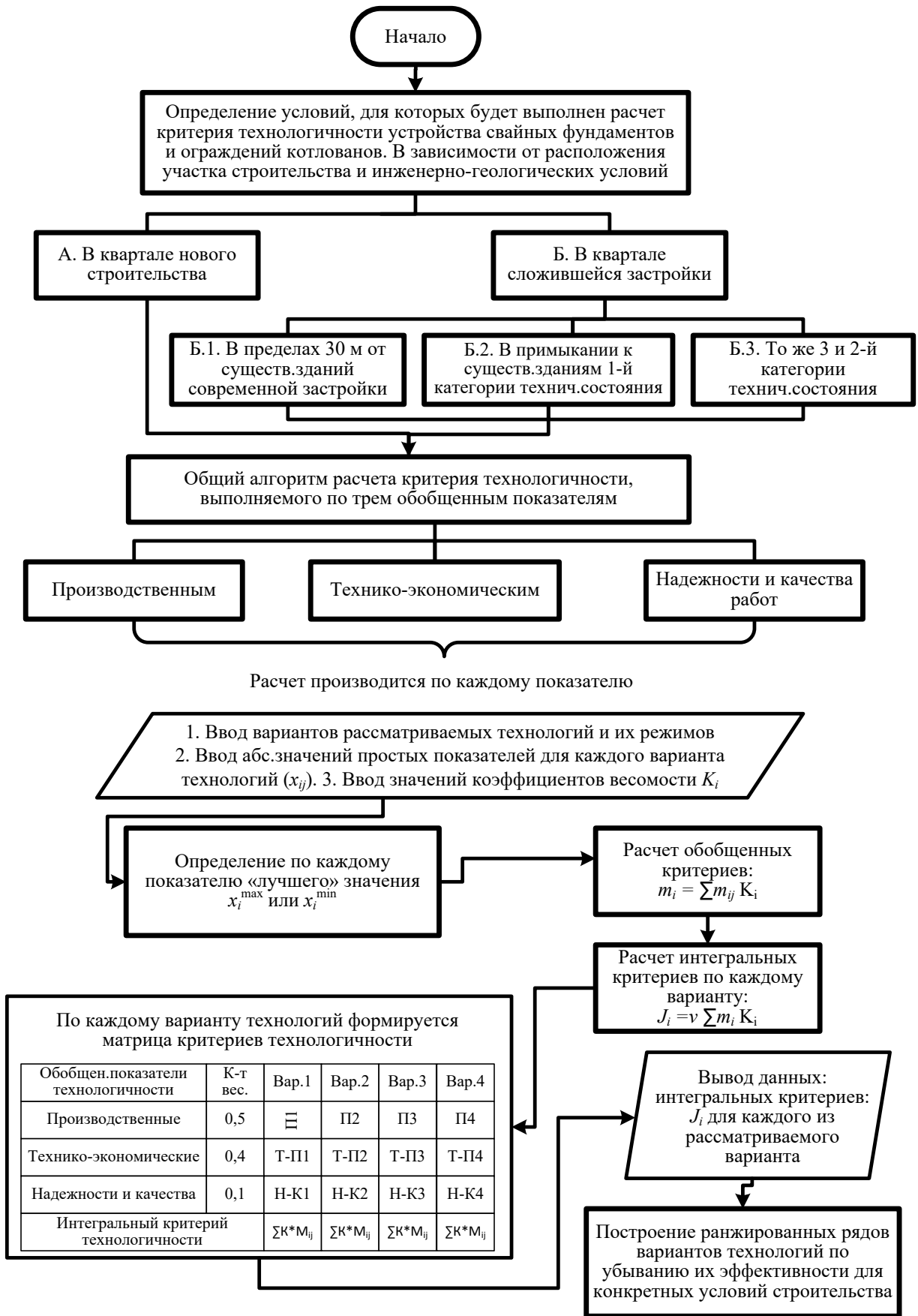


Рисунок 2.13 – Алгоритм расчета критерия технологичности для различных инженерно-геологических условий, реализованный в программном комплексе

Выполненные исследования позволили разработать алгоритм расчета интегрального критерия, реализованного в программе для ЭВМ. Представленный программный комплекс позволяет рядовому инженеру без привлечения внешней экспертизы для разных инженерно-геологических условий строительства выполнять анализ различных технологических режимов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов.

## 2.6. Выводы по второй главе

По результатам исследований, представленных во второй главе, можно сделать следующие выводы:

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

В квартале современной застройки показатели можно расположить в следующем порядке согласно убыванию их значимости: технико-экономические ( $p = 0,45-0,40$ ), производственные ( $p = 0,40-0,35$ ), надежности и качества работ ( $p = 0,65-0,35$ ).

Соответственно, в ситуациях примыкания к существующим зданиям и сооружениям показатели расположены следующим образом: надежности и качества работ ( $p = 0,70-0,60$ ); производственные ( $p = 0,20-0,25$ ), технико-экономические ( $p = 0,10-0,15$ ).

- Для расчета показателей надежности и качества работ в составе интегрального критерия технологичности была разработана методика их количественного анализа посредством генеральных определительных таблиц. На ее основании нами получен алгоритм количественной оценки качественных показателей способов производства специальных работ в грунтах для различных условий их реализации.

В результате для различных способов были разработаны таблицы, позволяющие определить количественные значения по следующим группам факторов:

а) соответствия условиям обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ;

б) обеспечения качества ствола элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями слабых водонасыщенных грунтов;

в) обеспечения качеств элементов в инженерно-геологических разрезах, характеризующихся напластованиями плотных грунтов;

г) влияния различных технологических параметров, характерных для анализируемых способов, на безопасность окружающей застройки;

д) оценки уровня влияния технологических режимов на изменение НДС массива грунта.

- На базе выполненных исследований была разработана и формализована математическая модель оптимизации параметров эффективных способов производства специальных работ. При этом поставленная задача была решена путем анализа изменчивости системы с учетом целевой функции – критерия технологичности. Эти положения реализованы в алгоритме, на основании которого был разработан программный комплекс по расчету критерия технологичности для различных инженерно-геологических условий строительства (свидетельство о регистрации № 2015660159 от 14.12.2015). Результаты его практического применения представлены в разработанных нормативно-технических документах.

## **Глава 3. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

### **3.1. Выбор направлений совершенствования способов устройства свайных фундаментов**

В первой главе автором были сформулированы методические основы оптимизации и совершенствования конструктивно-технологических решений способов устройства свайных фундаментов. Поставленная задача при изменении различных показателей будет сводиться к поиску экстремума значения целевой функции – критерия  $J_i$ .

Причем поставленная задача должна быть выполнена через нахождение функционала (1.20) при известных нормализованных значениях простых показателей и их коэффициентов весомости. Такое решение должно учитывать критерии воздействия системы на окружающую среду, показатели качества устраиваемых элементы в грунте, стоимостные затраты при оценке различных ресурсов, а также развитие системы технологических показателей во времени. Посредством расчетов и анализа значений критерия технологичности выполнено обоснование рациональных областей применения современных технологий изготовления и устройства свай в зависимости от различных параметров, включая инженерно-геологические особенности конкретных площадок строительства.

С учетом полученных результатов были выявлены области применения современных способов устройства фундаментов. Кроме того, автором был изучен соответствующий опыт практических работ на строительных площадках, где неоправданное использование технологических режимов привело к снижению качества работ, затягиванию их сроков, дополнительным затратам, а также к недопустимым деформациям конструкций фундаментов существующих зданий [72–76, 94, 107, 109, 116–119, 123, 132–140, 147, 153].

На основе таких исследований определены факторы, влияющие на качество фундаментов, и выделены следующие граничные условия или области совершен-

ствования и оптимизации конструктивно-технологических параметров современных способов устройства свайных фундаментов, выводимые исходя из расчетов критерия технологичности:

1. При выборе способов необходимо обосновывать значения несущей способности элементов в грунте. Для достижения требуемых значений этого параметра в геологических условиях неоднородных напластований грунтов важно обеспечить достаточную длину элементов из условия необходимого обеспечения заделки в плотные породы.

2. При производстве работ в различных инженерно-геологических разрезах следует обеспечивать качество стволов свай, а также достаточное заглубление элементов в слои плотных грунтов.

3. При производстве работ в кварталах существующей застройки следует учитывать показатели технической возможности производства работ в стесненных условиях. При этом особую важность приобретает анализ критериев технологичности способов при производстве работ в условиях примыкания к существующим конструкциям зданий, имеющих разную степень технического состояния.

Следующий фактор, который следует рассматривать для указанных условий, – это обеспечение биосферной (экологической) безопасности. Сюда же входит и промышленная безопасность в процессе производства работ с учетом влияния технологических воздействий на безопасность окружающей застройки (развитие недопустимых значений осадок конструкций фундаментов зданий и сооружений).

В этой связи на рисунке 3.1 представлены графики изменения коэффициентов весомости ( $K_T$ ) представленных факторов в зависимости от удаления анализируемого участка строительства от существующей застройки. Они получены автором на основании методических основ, представленных в главе 2.

Анализ представленных зависимостей позволяет заключить, что значимость указанных факторов при анализе и оптимизации способов устройства свайных фундаментов зависит от расположения исследуемых участков строительства относительно застроенных территорий. При этом весомость факторов, характери-



зующих биосферную безопасность способов, будет уменьшаться по мере удаленности участка от таких территорий. Вместе с тем значения коэффициентов весо-мости факторов обеспечения конструктивных параметров элементов будут мак-симальны при производстве работ на незастроенных участках. Это обосновано тем, что на таких территориях можно свободно использовать технологические режимы, характеризующиеся максимальными значениями шумовых и динамиче-ских воздействий, распространяющихся в грунте.

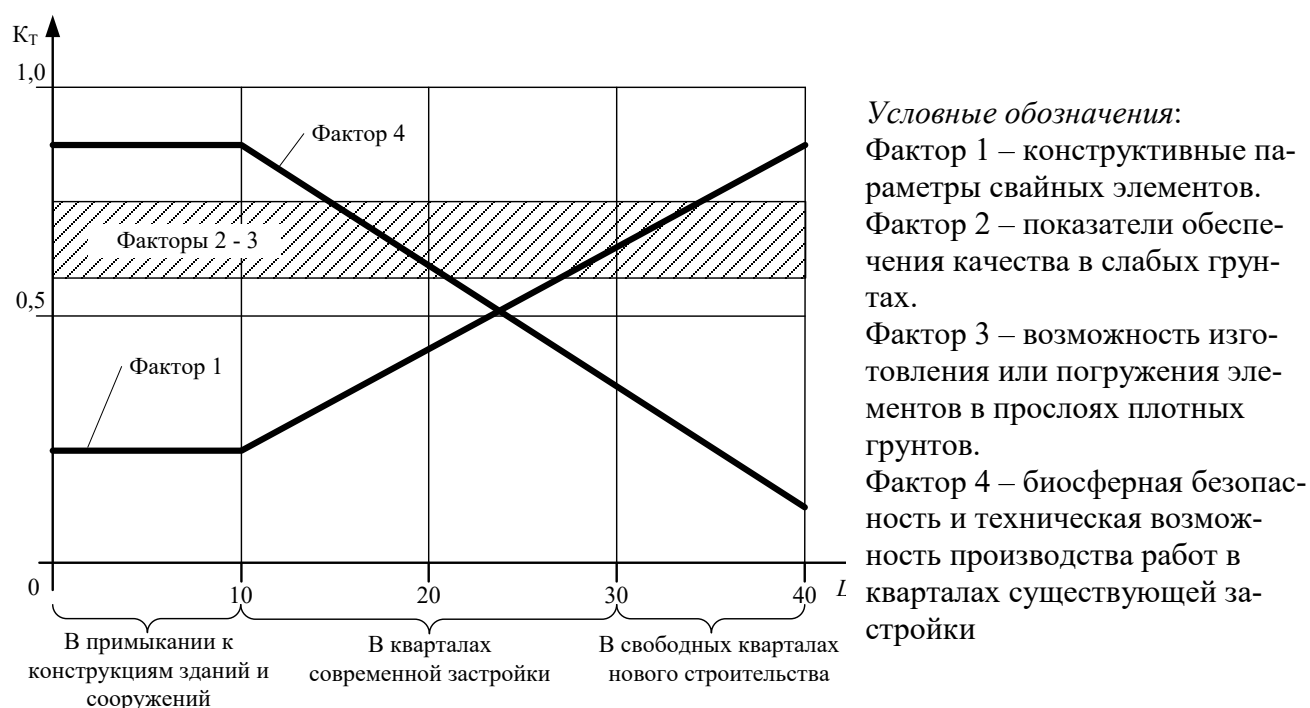


Рисунок 3.1 – Зависимости изменения коэффициентов весо-мости ( $K_T$ ) различных факторов, определяющих эффективность способов устройства свайных фундаментов в зависимости от удаления анализируемого участка строительства относительно существующей застройки ( $L_{ЗАСТР}$ )

Весомость факторов, определяющих показатели качества элементов в грунте, почти не зависят от расположения участка строительства.

С учетом полученных выводов и на основании методических основ выявления причинно-следственных связей (построение диаграммы Исикавы, Парето и т. п.) автором обоснованы конструктивно-технологические параметры, влияю-

щие на указанные факторы [92]. Их выбор следует выполнять на основании математической модели, представленной в подразделе 1.5.

Пример построения такой диаграммы выявления причинно-следственных связей по фактору обеспечения качества свайных элементов при производстве работ в геологических разрезах с прослоями слабых водонасыщенных грунтах приведен на рисунке 3.2.

Для каждого из представленных на рисунке 3.2 показателей «второго» порядка (указаны в квадратных скобках) на основании анализа литературных источников, опыта работ и опроса экспертов автором получены оценки их значимости по 10-балльной шкале.

Разработанная диаграмма является универсальной для анализа показателей качества способов погружения элементов заводского изготовления и изготовления буронабивных свай. Ее анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. По показателям заводской готовности качество свай будет с большей вероятностью обеспечено при применении элементов заводской готовности.
2. Для буронабивных режимов следует оптимизировать параметры подачи бетонной смеси в скважину и ухода за ней. Известно, что при неправильно подобранных режимах заполнения бетонной смесью скважины возможны ее расслоение и сегрегация с оседанием более тяжелого заполнителя на дно. При этом показатели формирования скважин не должны вызывать нарушение структуры межсвайного массива грунта и тем самым снижать его боковое сопротивление или же препятствовать при его уплотнении погружению бурового инструмента.
3. Подбор параметров материалов бетонных смесей приобретает особую значимость при устройстве буронабивных свай.
4. Условия производства работ практически не влияют на показатели сплошности стволов свай.
5. При формировании бригад персоналом следует уделять внимание наличию соответствующего опыта работ, а также обеспечению производственной дисциплины.

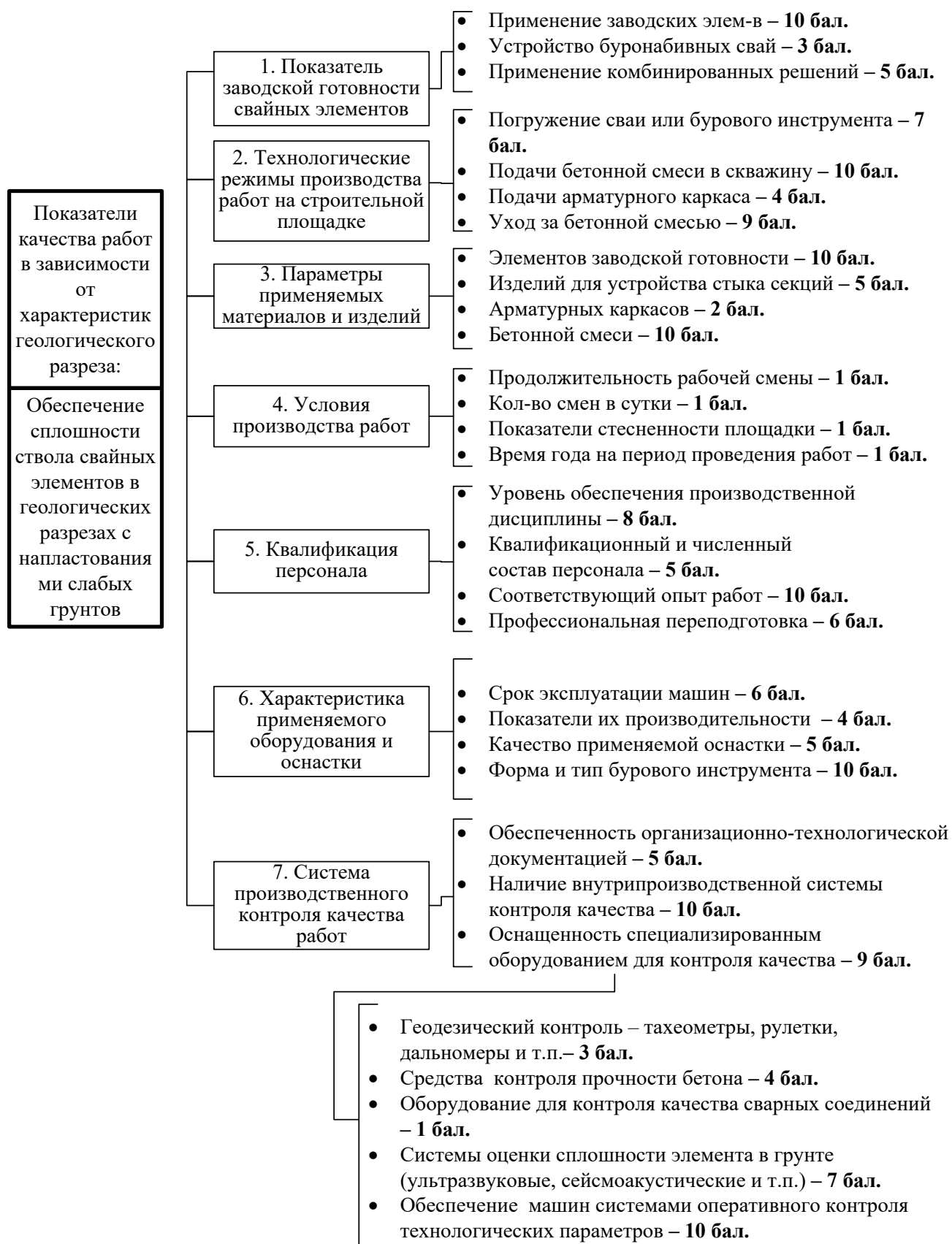


Рисунок 3.2 – Диаграмма определения причинно-следственных связей влияния различных технологических показателей на обеспечение качества свайных элементов в слабых водонасыщенных грунтах

6. При изготовлении буронабивных свай следует контролировать соответствие конструкции рабочего органа характеристикам пород в пределах геологического разреза.

7. При аудите организационной структуры предприятия, выполняющего соответствующие работы, следует проверять наличие внутрипроизводственной системы контроля качества, заключающейся в том числе в оперативном анализе производственных параметров.

На основании представленных результатов дальнейшие исследования позволили автору расположить представленные факторы в порядке уменьшения их значимости следующим образом: фактор 1 ( $K_T = 0,30$ ); фактор 2 ( $K_T = 0,25$ ); фактор 3 ( $K_T = 0,20$ ); фактор 7 ( $K_T = 0,10$ ); фактор 6 ( $K_T = 0,05$ ); фактор 5 ( $K_T = 0,05$ ); фактор 4 ( $K_T = 0,05$ ).

При дальнейшем анализе и оптимизации факторы 4–7 можно не учитывать как малозначимые.

С учетом изложенного автором определены факторы, подлежащие оптимизации при определении возможности изготовления или погружения элементов в прослоях плотных грунтов, в разной степени препятствующих погружению через них свай или бурового инструмента.

Установлено, что для указанных условий следует совершенствовать технологические параметры погружения свайных элементов или бурового инструмента. Причем в первом случае необходимо обеспечить снижение лобового сопротивления плотной породы, которые дополнительно позволили бы обеспечить сохранность ствола свай при приложении к нему статического усилия, ударного импульса или вибрационного воздействия. Остальные факторы, приведенные на рисунке 3.2, при исследовании эффективности способов для указанных условий показали свою малую значимость.

На рисунке 3.3 приведена структурная схема, определяющая внутренние и внешние связи выявленных факторов, которая построена с учетом проведенных автором исследований.

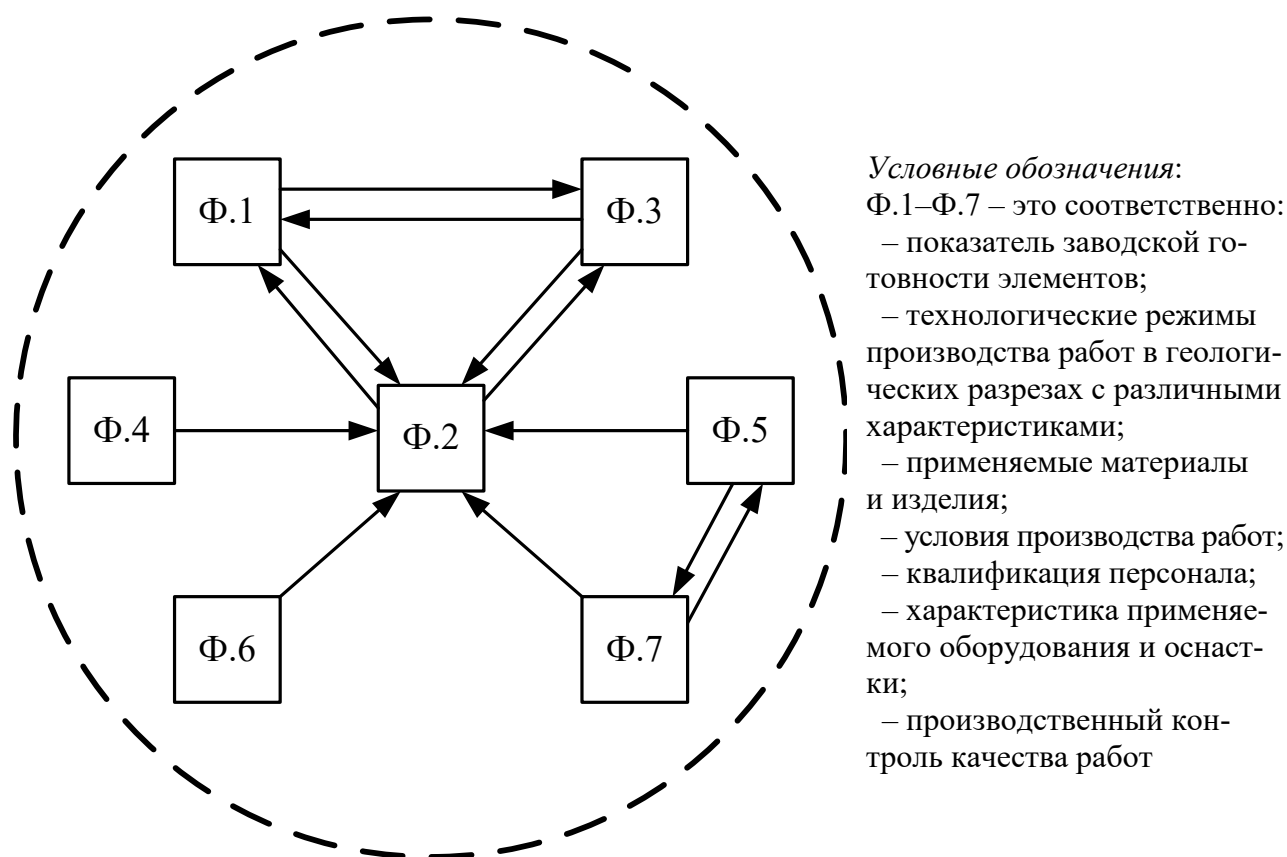


Рисунок 3.3 – Структурная схема, определяющая внутренние и внешние связи различных конструктивно-технологических факторов

Приведенная схема использована автором в целях обоснования и оптимизации технологических параметров для различных условий функционирования системы. Анализ представленных структурных связей позволяет заключить, что основным, подлежащим оптимизации фактором является второй, который определяет параметры технологических режимов производства работ. Такую оптимизацию следует выполнять на основании расчета критерия технологичности. По результатам расчетов в указанном программном комплексе автором были представлены практические рекомендации по определению рациональных областей применения современных способов.

С учетом представленных методических подходов в следующем подразделе будут представлены исследования, направленные на оптимизацию различных способов устройства свайных фундаментов в зависимости от применяемых технологических режимов и конкретных условий строительных площадок.

### **3.2. Обоснование областей применения способов производства работ на основании значений критерия технологичности**

Автором обоснованы следующие направления совершенствования и оптимизации конструктивно-технологических параметров современных способов устройства свайных фундаментов:

1. По параметрам расчетных нагрузок, передаваемым на элементы в грунте, с учетом обеспечения их конструктивных параметров (таких как длина форма поперечного сечения и т. п.).

2. По показателям обеспечения качества и сплошности ствола элемента при наличии в геологическом разрезе слабых водонасыщенных грунтов.

3. Достижение необходимого заглубления свай в прослой плотных грунтов с сопротивлением, превышающим погружающие способности технических средств.

4. Обеспечение технической возможности производства работ в стесненных условиях строительных площадках. Особую важность приобретает сравнительный анализ значений критериев технологичности при производстве работ в условиях примыкания к существующим конструкциям зданий, имеющих разную степень технического состояния.

На основании разработанных алгоритмов расчета критериев технологичности, реализованных в программном комплексе, были построены графические зависимости, позволяющие определять рациональные области применения современных технологий изготовления и устройства свай для различных инженерно-геологических условий.

Такие зависимости, представленные на рисунке 3.4, отображают изменения критерия технологичности современных способов в зависимости от расположения участка строительства относительно существующей застройки.

На основании соответствующей статистической обработки графиков в таблице 3.1 представлены математические выражения, с достаточной для прак-

тики точностью описывающие изменение критерия технологичности в зависимости от расстояния  $L$ .

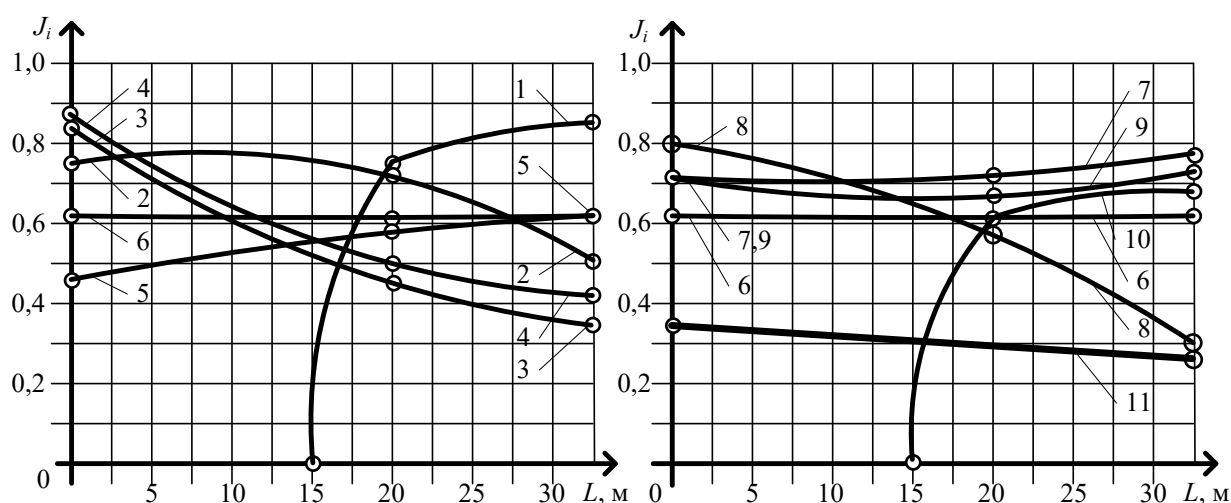


Рисунок 3.4 – Изменение критерия  $J_i$  в зависимости от удаления ( $L$ ) участка строительства относительно существующей застройки для следующих технологий: 1 – забивка свай заводского изготовления; 2 – то же, вдавливание в целик; 3 – то же, в разрыхленный грунт; 4 – устройство буровых свай с промывкой ствола скважин глинистым раствором; 5 – то же, проходными шнеками; 6 – то же, за счет бурения шнеком в обсадной трубе; 7 – набивные сваи с теряемым наконечником в целик; 8 – то же, в предварительно разрыхленный грунт; 9 – то же, с вытеснением грунта; 10 – то же, с забивкой обсадных труб; 11 – устройство буровых свай в обсадных трубах (диаметром свыше 600 мм)

Таблица 3.1 – Математические зависимости, описывающие изменения критерия  $J_i$  способов производства работ в зависимости от удаления участка строительства относительно существующей застройки

Способы производства работ	Вид математической зависимости
1	2
Забивка свай заводского изготовления	$J_i = (0,74L - 7,13) / (1 - 0,17L + 0,01L^2)$
То же, вдавливание в целик	$J_i = 0,75 + 0,01L - 0,001L^2$
То же, в предварительно пробуренные скважины	$J_i = 0,84 \cdot 0,97^L$
Устройство буровых свай с промывкой ствола скважин глинистым раствором	$J_i = 0,87 \cdot 0,97^L$
То же, проходными шнеками	$J_i = 0,46 + 0,005L$
То же, вращением шнека в обсадной трубе	$J_i = 0,62 - 0,001L$
Набивные сваи с теряемым наконечником	$J_i = 0,70 + 0,002L$
То же, в разрыхленный грунт	$J_i = 0,82 - 0,02L$

1	2
То же, с вытеснением грунта	$J_i = (170,9 - 3,21L)^{-0,07}$
То же, с забивкой буровых труб и теряемым наконечником	$J_i = (0,42L - 6,33)/(1 - 0,18L + 0,01L^2)$
Устройство буровых свай в обсадных трубах (диаметром свыше 600 мм)	$J_i = 0,35 - 0,01L$

Из рассмотрения таблицы 3.1 и рисунка 3.4 следует, что в кварталах нового строительства, свободных от жилой застройки, преимущество следует отдавать забивным способам погружения свай заводского изготовления ( $J_i = 0,85$ ). Кроме того, с учетом изменения критерия  $J_i$  можно сделать следующие выводы относительно определения сравнительной эффективности различных технологических параметров:

- вдавливание свай заводского изготовления, в том числе в разрыхленный грунт, применять в таких условиях неэффективно ( $J_i = 0,35$  и  $0,5$ );
- эффективны различные параметры устройства набивных свай без извлечения грунта с теряемым башмаком, а также свай вытеснения ( $J_i = 0,68-0,78$ );
- буровые сваи, устраиваемые двойным шнеком в обсадной трубе и проходными шнеками с промывкой ствола скважин глинистым раствором, имеют следующие значения критерия:  $0,62$ ;  $0,62$  и  $0,42$ . Следует отметить, что они эффективны в условиях их применения в геологических разрезах с напластованиями плотных пород ( $J_i = 0,8$ ).

С уменьшением значений расстояния  $L$ , а именно «приближением» участка строительства к существующей застройке, меняется структура сравнительной эффективности применения технологий. Это связано прежде всего с действующими ограничениями уровней динамических воздействий в грунте и шума. Таким образом, значения критерия  $J_i$  для соответствующих технологий равны нулю за счет применения критерия вето  $v = 0$ .

На основании указанных расчетов рассмотренные способы можно расположить в следующем порядке согласно убыванию их эффективности:



- буровая технология с промывкой ствола скважин глинистым раствором ( $J_i = 0,88$ );
- вдавливание свай заводского изготовления в разрыхленный грунт ( $J_i = 0,85$ );
- набивные технологии с теряемым башмаком с предварительным разрыхлением грунта ( $J_i = 0,80$ );
  - вдавливание свай заводского изготовления в целик ( $J_i = 0,75$ );
  - набивные технологии с теряемым башмаком в целик ( $J_i = 0,71$ );
  - буровая технология с двойным шнеком обсадной трубы ( $J_i = 0,61$ );
  - буровая технология с образованием скважины проходными шнеками ( $J_i = 0,45$ );
  - то же, в обсадных трубах (диаметром свыше 600 мм) ( $J_i = 0,35$ ).

Полученные значения  $J_i$ , с учетом анализа опыта работ, позволяют сделать ряд практически важных выводов. При погружении свай заводского изготовления или буровых труб происходит подъем грунта, приводящий к подъему существующих конструкций; при этом применение предварительного рыхления грунта шнеком позволяет минимизировать этот процесс. В результате для вдавливания свай значения критерия увеличивается с 0,75 до 0,85, а для набивных технологий – соответственно с 0,71 до 0,80.

Результаты исследования эффективности способов производства работ в условиях напластований слабых водонасыщенных грунтов представлены на диаграммах рисунка 3.5. Они позволяют оценить изменение эффективности различных технологических параметров в условиях, при которых необходимо обеспечить качество ствола элемента в виде обеспечения его сплошности без существенной потери производительности и увеличения затрат.

Из анализа рисунка 3.5 следует, что для этих условий работ оптимальны параметры, характеризующиеся погружением элементов заводского изготовления, которые гарантируют заводское качество свай в грунте и достаточные показатели производственной и технико-экономической эффективности ( $J_i = 0,82–0,88$ ).



Рисунок 3.5 – Диаграммы изменения критерия технологичности различных способов изготовления и устройства свай в условиях напластований слабых водонасыщенных грунтов: 1 – забивка свай заводского изготовления; 2 – то же, вдавливание; 3 – то же, вибрационное погружение; 4 – устройство буровых свай с промывкой ствола скважин глинистым раствором; 5 – то же, проходными шнеками; 6 – то же, за счет бурения шнеком в обсадной трубе; 7 – то же, при устройстве свай под защитой обсадных труб; 8 – то же, с уширением ствола по разрядно-импульсной технологии РИТ; 9 – устройство набивных свай с теряемым наконечником и вкручиванием обсадных труб; 10 – то же вытеснением без наконечника; 11 – то же, с забивкой буровых труб; 12 – то же, при вибрационном их погружении

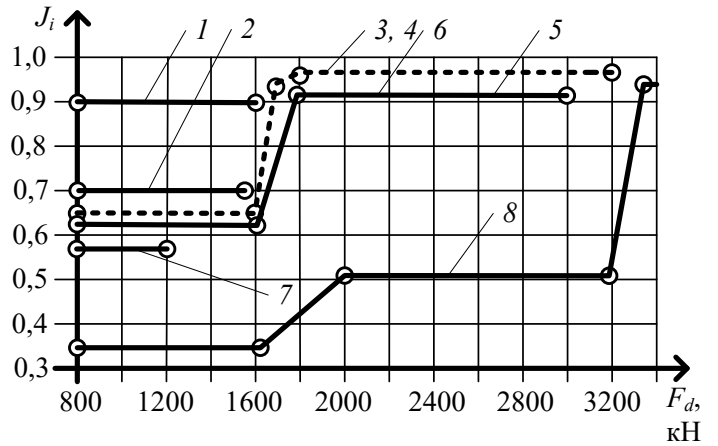


Рисунок 3.6 – Изменение критерия технологичности в зависимости от расчетных нагрузок на сваи: 1 – забивка свай заводского изготовления; 2 – то же, вдавливание; 3, 4 – устройство набивных свай с теряемым наконечником и без него; 5, 9 – устройство буровых свай соответственно проходными шнеками за счет бурения шнека в обсадной трубе; 7 – то же, с промывкой скважин глинистым раствором; 8 – устройство буровых свай в обсадных трубах.  $J_i$  – критерий технологичности;  $N$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, кН

Для буронабивных способов оптимизацию следует проводить по параметрам обеспечения качества формирования ствола скважины и ее заполнения бетонной смесью. Таким образом, анализ диаграмм рисунка 3.5 говорит о том, что буровые технологии с извлечением грунта на поверхность имеют минимальную сравнительную эффективность по причине возможной потери качества ствола

свай в указанных условиях ( $J_i = 0,50-0,68$ ). Максимальное значение критерия  $J_i = 0,68$  для способа устройства свай с промывкой ствола скважин глинистого раствора обеспечивается подачей жесткой бетонной смеси на забой методом ВПТ.

Для способа устройства свай под защитой обсадных труб диаметром свыше 600 мм установлено значение критерия  $J_i = 0,50$ . Следует отметить, что такой способ позволяет получить достаточную сплошность ствола элемента при подаче жесткой бетонной смеси к забою по бетонолитным трубам с последующим виброуплотнением. Указанное значение критерия обосновывается малыми значениями производственных показателей и высокой стоимостью работ. Вместе с тем дополнительные исследования показали, что сравнительная эффективность способа повышается при расчетных нагрузках на элемент свыше 3000 кН.

В таблице 3.2 приведено ранжированное распределение значений критерия  $J_i$  способов при заглублении свай в породы плотных грунтов.

Исследования эффективности различных способов, основанные на расчетах критерия технологичности в зависимости от значений расчетных нагрузок, передаваемых на элемент, представлены на рисунке 3.6.

На основе математической обработки кривых, представленных на рисунке 3.6, автором были получены следующие выражения, описывающие изменения значений критериев  $J_i$ :

- для способов изготовления свай вытеснением:

$$J_i = -0,83 + 0,22 \times \ln N; \quad (3.1)$$

- то же, проходными шнеками:

$$J_i = 1 / (5,09 - 0,49 \times \ln N); \quad (3.2)$$

- то же, с промывкой ствола скважин глинистым раствором:

$$J_i = 1 / (-0,0005N + 2,81); \quad (3.3)$$

- то же, в обсадных трубах:

$$J_i = 1 / (-0,0006N + 3,65). \quad (3.4)$$

Анализ представленных графиков показывает, что до значений нагрузок в 1600–1800 кН эффективно применение свай заводского изготовления для забивки ( $J_i = 0,90$ ) и вдавливания ( $J_i = 0,70$ ). В пределах значений нагрузок

1600–2800 (3000) кН возрастает эффективность применения способов устройства набивных свай и буровых, изготавливаемых преимущественно шнеками. Соответственно, значения критерия технологичности равны 0,96 и 0,92. Для значений нагрузок более 3200 кН эффективны параметры изготовления буровых свай в обсадных трубах.

Таблица 3.2 – Значения критерия  $J_i$  при заглублении свай в породы плотных грунтов

Способ	Значения критерия $J_i$	Примечание
Устройство буровых свай проходными шнеками	1,0	–
То же, двойным вращением шнека в обсадной трубе	0,94	–
Забивка свай заводского изготовления в целик	0,87	Применяют режим рыхление грунта шнеками
Устройство буровых свай с промывкой ствола скважин глинистым раствором	0,85	–
Изготовление набивных свай с забивкой буровых труб и теряемым наконечником	0,80	–
Устройство буровых свай в обсадных трубах (диаметром свыше 600 мм)	0,75	–
Изготовление набивных свай вытеснения без наконечника	0,74	–
То же, с завинчиванием буровых труб и теряемым наконечником	0,72	–
Вдавливание свай в целик	0,60	Применяют режим предварительного рыхление грунта шнеками
То же, вибрационное заглубление	0,56	–
Изготовление набивных свай с вибрационным заглублением буровых труб и теряемым наконечником	0,50	–

Как было показано в разделе 3.1, оптимизацию параметров способов по критерию  $J_i$  следует проводить с учетом технической возможности изготовления свайных элементов максимальной длины (свыше 20–30 м). Результаты таких исследований имеют практическую значимость при определении рациональных областей применения в геологических разрезах с напластованиями пластичных глинистых пород.

Результаты расчетов значений  $J_i$  для таких условий при погружении элементов заводского изготовления приведены на рисунке 3.7.

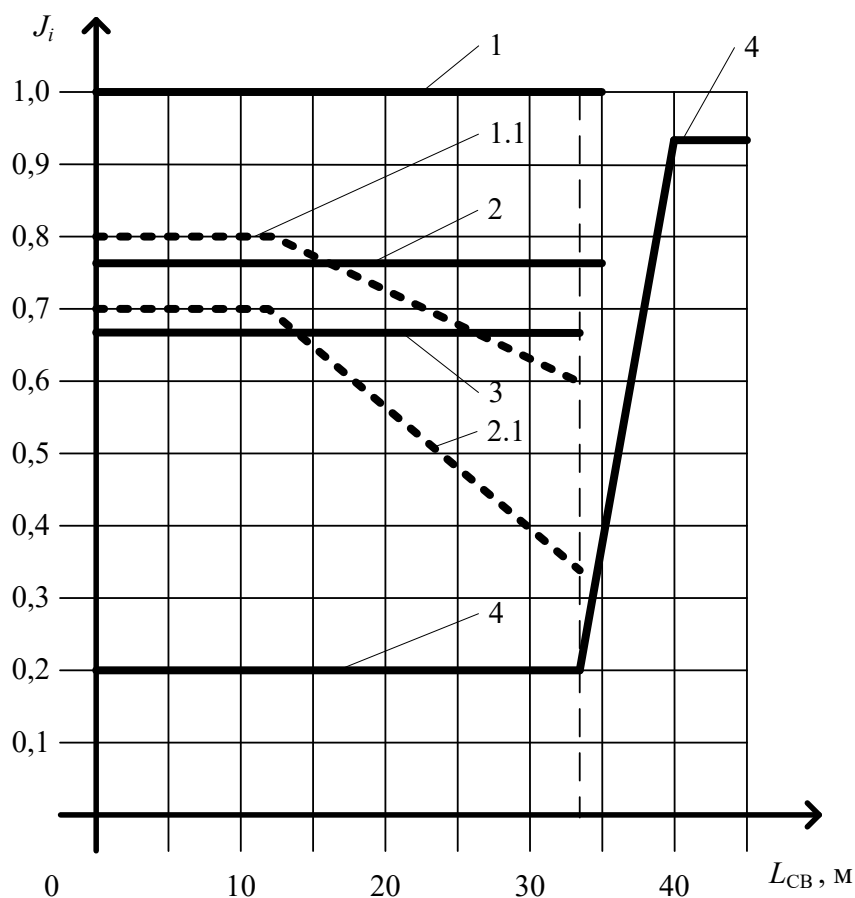


Рисунок 3.7 – Графики изменения критерия  $J_i$  в зависимости от длины погружаемых элементов заводского изготовления  $L_{CB}$ : 1, 1.1 – соответственно забивка свай заводского изготовления в целик и разрыхленный грунт; 2, 2.1 – соответственно вдавливание свай в целик грунта и в предварительно разрыхленный грунт; 3 – вибрационное погружение свай; 4 – устройство комбинированных элементов в железобетонных оболочках с извлечением грунта грейферами и с последующим заполнением бетонной смесью

На основе математической обработки кривых, представленных на рис 3.7, автором были получены следующие выражения, описывающие изменения значений  $J_i$ :

- для способов забивки свай в скважины:

$$J_i = 0,79 + 0,006L_{CB} - 0,004L_{CB}^2; \quad (3.5)$$

- то же, вдавливания:

$$J_i = 0,69 + 0,01L_{CB} - 0,007L_{CB}^2; \quad (3.6)$$

- то же, при изготовлении комбинированных элементов:

$$J_i = 0,24 - 0,04L_{CB} - 0,001L_{CB}^2. \quad (3.7)$$

Анализ значений критерия  $J_i$ , приведенных на рисунке 3.7, позволяет расположить современные способы в порядке убывания их эффективности:

- Забивка при длине секционных элементов до 32 м ( $J_i = 1,0$ ). Существует опыт погружения свай длиной до 40 м квадратным сечением 400×400 мм в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

- То же, в предварительно пробуренные скважины шнеком диаметром 300–350 мм ( $J_i = 0,8$ ). Характерный «излом» графика при глубине бурения 12–15 м объясняется тем, что для обеспечения указанных параметров требуется применение более мощных гидравлических буровых установок. Такой режим используется при необходимости погружения свай сквозь толщу плотных грунтов или для снижения интенсивности динамических воздействий, распространяющихся в толще грунта.

- Вдавливание статической нагрузкой ( $J_i = 0,7–0,8$ ).

- Вибрационное погружение техническими средствами, смонтированными на базе крана, экскаватора, копра или буровой установки ( $J_i = 0,6–0,7$ ).

- Вдавливание статической нагрузкой в скважины с предварительно разрыхленным грунтом ( $J_i = 0,6–0,7$ ). В отличие от забивного режима, рыхление грунта дополнительно применяется при производстве работ вплотную к существующим конструкциям для снижения интенсивности бокового давления грунта, а также при его сопротивлении, превышающем значения усилия вдавливания, развиваемого установками.

- Способ устройства элементов в железобетонных оболочках диаметрами до 2000–2500 мм, погружаемых вибрационным способом с извлечением грунта из внутренней полости грейферами с последующим заполнением бетонной смесью. Он эффективен для длины элементов свыше 40 м для задач возведения опор повышенной несущей способности ( $J_i = 0,9–1,0$ ) [49].

Результаты аналогичных расчетов в зависимости от длины изготавливаемых в условиях строительных площадок буронабивных элементов приведены на рисунке 3.8.

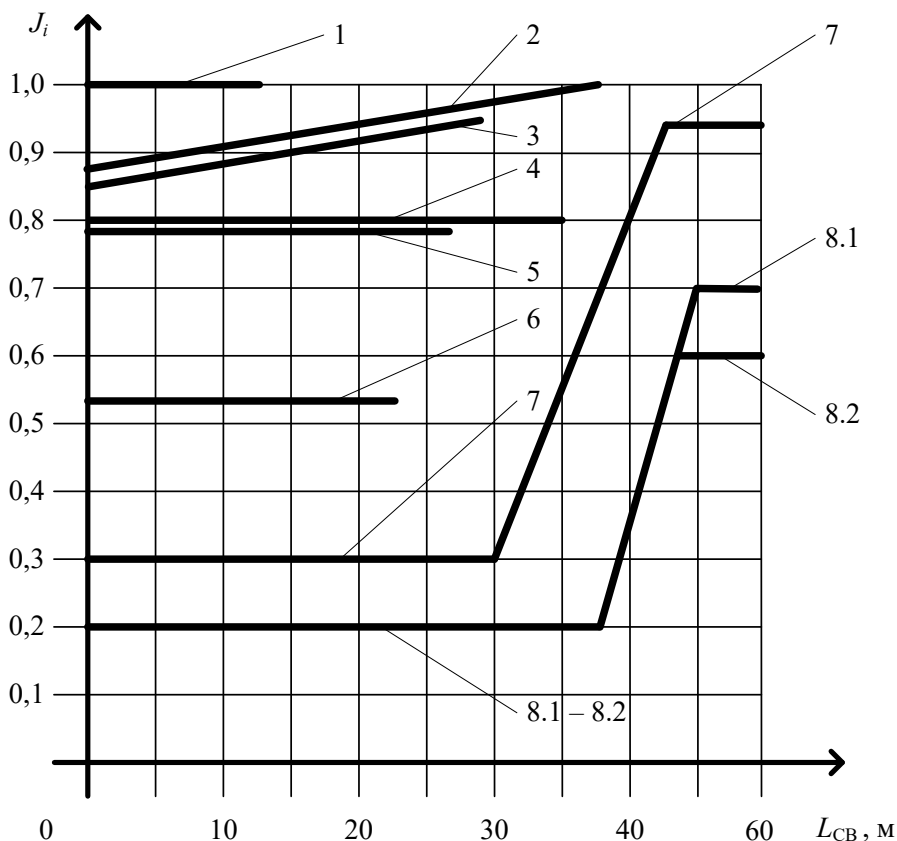


Рисунок 3.8 – Графики изменения критерия  $J_i$  в зависимости от длины буронабивных свай  $L_{CB}$ : 1 – вибробурильные сваи; 2, 3 –набивные сваи, устраиваемые с погружением различными способами труб с теряемым наконечником и без него соответственно; 4–7 –буровые сваи, устраиваемые соответственно проходными шнеками и с двойным вращением шнека в обсадной трубе, составными шнеками (2 м) с уменьшенной высотой реборды под глинистым раствором, под защитой обсадных труб (диаметром свыше 600 мм); 8.1, 8.2 –траншейные сваи-барреты, выполняемые соответственно механическими грейферами и гидравлическими фрезами

Представленные на рисунке 3.8 кривые с достаточной для практики точностью описывают следующие зависимости изменения критериев технологичности:

- для набивных способов с теряемым наконечником:

$$J_i = 0,83 + 0,004L_{CB}; \quad (3.8)$$

- то же, без наконечника:

$$J_i = 0,83 + 0,006L_{CB}; \quad (3.9)$$

- то же, в обсадных трубах:

$$J_i = 0,35 - 0,02L_{CB} + 0,001L_{CB}^2; \quad (3.10)$$

- то же, траншейных свай-баррет, изготавливаемых грейферами:

$$J_i = 1 / (5,33 - 0,005L_{CB}^{1,71}); \quad (3.11)$$

- то же, гидравлическими фрезами:

$$J_i = 1 / (5,18 - 0,002L_{CB}^{1,87}). \quad (3.12)$$

Анализ представленных на рисунке 3.8 значений позволяет расположить представленные буронабивные технологии в порядке убывания их эффективности:

- При изготовлении свай длиной до 10–12 м в устойчивых грунтах эффективно использовать вибронабивные сваи. Их устраивают оборудованием (вибрационными грейферами, желонками или вибраторами, погружающими обсадные трубы с наконечником и без), смонтированным на стреловых монтажных кранах ( $J_i = 1,0$ ). При формировании ствола свай применяют жесткие бетонные смеси с возможностью их вибрационного уплотнения.

- При заглублении элементов до 35–37 м рационально использовать технологии с погружением (ввинчиванием с приложением вертикального статического усилия) буровых труб с теряемым наконечником ( $J_i = 0,85–1,0$ ).

- Сваи вытеснения и элементы, устраиваемые посредством забивки или вибрационным погружением труб глубиной до 28–30 м ( $J_i = 0,85–0,95$ ). При производстве работ в грунтовом массиве генерируются динамические воздействия, что приводит к ограничениям при их использовании в пределах кварталов сложившейся застройки.

- Сваи, изготавливаемые проходными шнеками с извлечением грунта и при двойном шнеке и обсадной трубе с режущим торцом ( $J_i = 0,8$ ). В данном случае были получены меньшие, чем при набивных режимах, значения критерия технологичности за счет характерных для способа дополнительных затрат на перемещение и утилизацию грунта, извлекаемого из скважин.



- Буровые сваи диаметром 150–420 мм с удержанием ствола скважин при производстве работ за счет его промывки глинистым раствором ( $J_i = 0,5–0,55$ ). Такой режим характеризуется минимальными негативными технологическими воздействиями на массив грунта и конструкции окружающей застройки, однако он малопроизводителен (25–28 пог. м/смен.) и требует постоянного удаления с участка работ удаляемого из скважин бурового шлама.

- Элементы, выполняемые под защитой обсадных труб большого диаметра (600–2500 мм). В пределах значений длины элемента 30 м получено значение критерия технологичности  $J_i = 0,4$ , что объясняется относительно большими затратами на устройство элементов для расчетных нагрузок до 3000 кН. Они почти в 3 раза превышают значения затрат при изготовлении свай проходными шнеками. Преимущества технологий проявляются при изготовлении элементов со значениями несущей способности свыше 3000 кН и длиной свыше 35–40 м ( $J_i = 0,8–1,0$ ).

- При устройстве траншейных свай (баррет) с несущей способностью свыше 10 000 кН и длиной свыше 30–35 м ( $J_i = 0,6–0,7$ ). Причем автором установлено, что характерные для способа два режима работ, наиболее распространенные в современных условиях – механическим челюстным грейфером и механической фрезой, – имеют разные значения критерия технологичности. У первого режима он выше за счет характерного для него показателя качества работ в условиях неравномерных напластований грунтов со слабыми прослоями и плотными включениями. При производстве работ механическими фрезами в указанных инженерно-геологических условиях возможны извлечение на поверхность объема грунта сверх расчетного с последующим снижением качества свайного элемента или ранний износ рабочей поверхности фрез при наличии на забое плотных включений.

С учетом разработанных методик расчета значений критерия  $J_i$  автором обоснованы рациональные области применения различных современных технологий устройства свайных элементов. Опыт практического применения методики приведен в главе 6.

### 3.3. Совершенствование технологических режимов при сопротивлении грунтов, превышающем погружающую способность технических средств

В предыдущих подразделах на основании расчетов критерия технологичности автором было установлено, что способ статического вдавливания свай и обсадных труб эффективен в условиях производства работ в геологических разрезах с напластованиями слабых водонасыщенных грунтов и при работах в кварталах сложившейся застройки при действии ограничений интенсивности динамических воздействий, распространяющихся в грунтовом массиве.

Автором установлено, что основное направление оптимизации способа лежит в совершенствовании его технологических параметров погружения элементов в условиях напластований плотных грунтов. Анализ практического опыта работ позволяет заключить, что при наличии в геологическом разрезе плотных пород мощностью 3–5 м на глубине свыше 14–16 м делает способ неэффективным, когда их сопротивление превышает погружающую способность технических средств.

Это подтверждается графиком изменения критерия технологичности в зависимости от глубины залегания плотных пород (рисунок 3.9), обосновывающим указанный вывод о снижении эффективности применения способа.

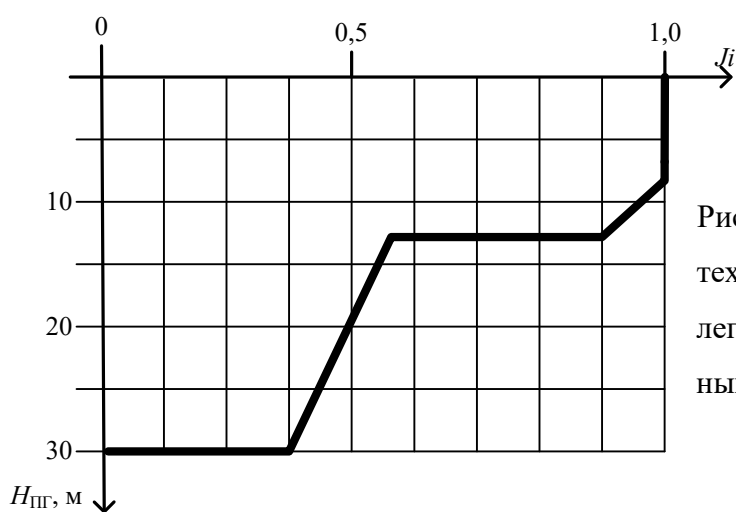


Рисунок 3.9 – График изменения критерия  $J_i$  технологичности в зависимости от глубины залегания в геологическом разрезе кровли плотных пород грунта  $H_{ПГ}$

На практике для снижения лобового сопротивления грунта под острием применяют лидерное рыхление грунта шнеками. Это повышает стоимость на 40 % и трудозатраты на 10–20 % [32].

В этой связи был проведен комплекс исследовательских работ, направленных на оптимизацию режимов вдавливания свай (обсадных труб).

Экспериментальные исследования показали эффективность режима, в рамках которого при сопротивлении грунта погружению, превышающем максимальное усилие вдавливающей установки по достижении минимальной скорости погружения, движение сваи периодически останавливают. Затем ее извлекают из грунта на величину, равную длине ее стороны, и опускают до прежнего уровня при минимальном усилии вдавливания. После этого усилие вдавливания доводят до максимального значения (рисунок 3.10).

Таким действием обеспечивают уменьшение присоединенной к свае массы грунта и снижение сил бокового трения, по аналогии с эффектом «расхаживания» колонн обсадных труб в буровом деле в случае их прихвата породой. В результате достигают проскальзывания сваи относительно околосвайного грунта и исключают его «налипание» к боковым граням элемента.

В процессе погружения сваи количество циклов попеременного вдавливания определяется в зависимости от характеристик пород в интервале погружения свай.

Известно условие, при котором происходит вдавливание свай [107]:

$$F_{\text{вд}} > RA + f\Omega, \quad \text{кН}, \quad (3.13)$$

где  $R, f$  – соответственно удельное статическое сопротивление грунта под нижним торцом и по боковой поверхности сваи соответственно, кН/м<sup>2</sup>;  $A, \Omega$  – соответственно площади поперечного сечения и боковой поверхности сваи, м<sup>2</sup>.

При достижении плотных пород процесс вдавливания становится затруднен, что описывается неравенством  $F_{\text{вд}}^{\text{MAX}} < RA + f\Omega$ , кН (где  $F_{\text{вд}}^{\text{MAX}}$  – максимальное усилие вдавливания).

В предлагаемом способе погружение сваи обеспечивается за счет снижения значений второго слагаемого:  $F_{\text{вд}}^{\text{MAX}} > RA$ , кН.

Причем в практических условиях оценку автором глубины вдавливания свай предлагается производить на основе анализа результатов статического зондирования грунтов, представленных в виде графиков изменения значений удель-

ного сопротивления грунта под наконечником и на боковой поверхности зонда [50]. Таким образом, выражение (3.13) примет следующий вид:

$$F_{\text{вд}}^{\text{MAX}} > q_c A, \quad \text{кН}, \quad (3.14)$$

где  $q_c$  – максимальное удельное сопротивление плотного грунта под наконечником зонда, определяемое по графикам статического зондирования, кН/м<sup>2</sup> (МПа).

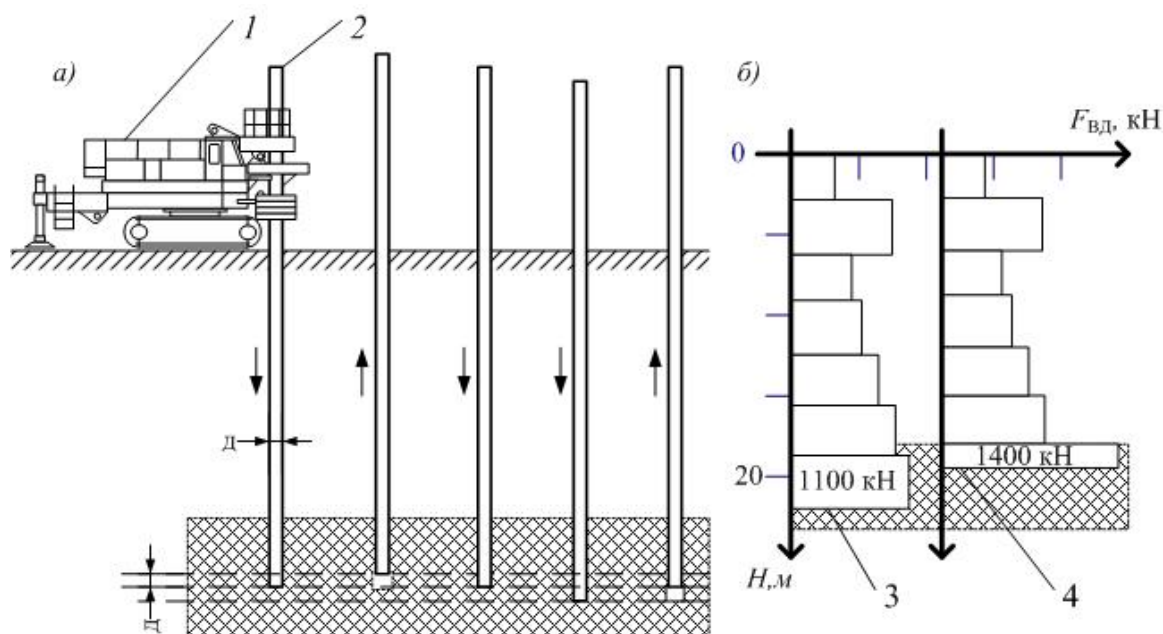


Рисунок 3.10 – Этапы вдавливания в режиме расхаживания: *а* – технологические этап погружения элемента; *б* – характерные ходограммы вдавливания свай; 1 – сваевдавливающая установка; 2 – свая; 3, 4 – ходограммы погружения свай для режимов соответственно расхаживания и традиционного вдавливания.  $H$  – глубина погружения;  $F_{\text{вд}}$  – усилие статического вдавливания, развиваемое гидравлической системой машины

В ходе экспериментов в различных инженерно-геологических условиях были исследованы зависимости изменения глубины и времени погружения сваи (обсадных труб) от попеременного шага вдавливания-извлечения-вдавливания. Так, на графиках рисунка 3.11 представлены характерные ходограммы вдавливания составных железобетонных свай призматического сечения 35×35 см длиной 28 м. Инженерно-геологический разрез преимущественно представлен слабыми глинистыми грунтами, однако в пределах глубин 15–20 м залегают слои полутвердых суглинков, создающие сопротивление, препятствующее погружению свай в традиционном режиме. Поэтому в пределах указанных глубин имеет место вдавли-

вание свай с применением нового режима (рисунок 3.11, б). Кроме того, было проведено исследование изменения времени продавливания слоя полутвердых суглинков в зависимости от изменения шага (рисунок 3.11, в) [32].

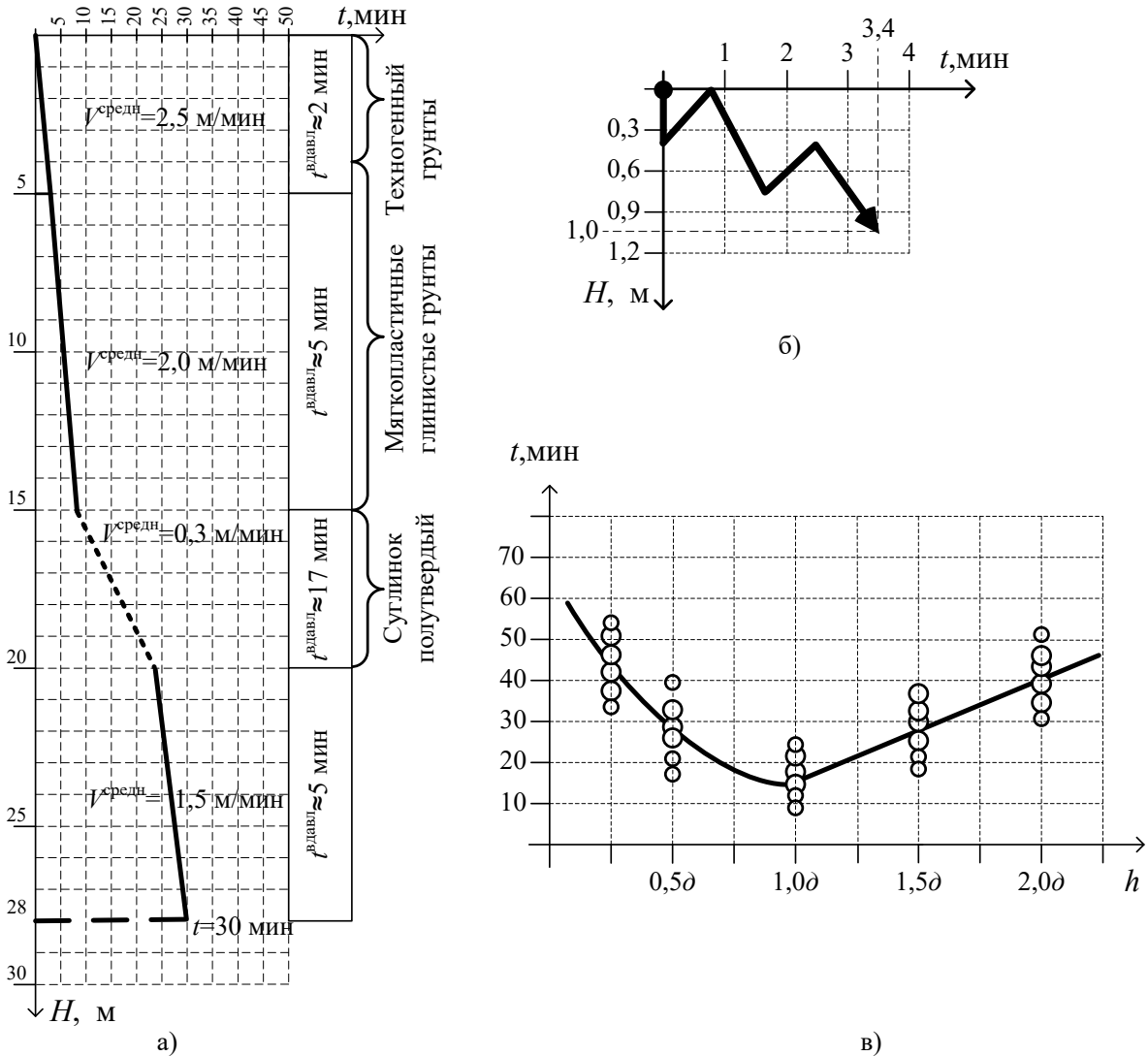


Рисунок 3.11 – Характерные ходограммы вдавливания свай: а – график погружения свай на глубину ( $H$ ) за время ( $t$ ); б, в – графики погружения на 1 пог. м и исследования изменения времени продавливания сваей слоя полутвердых суглинков в зависимости от шага вдавливания-извлечения-вдавливания ( $h$ ), этап устройства сварного стыка секций свай условно не показан;  $\delta$  – сторона сечения сваи

Так, установлено, что при шаге, большем чем длина стороны сваи при ее извлечении, может происходить «засасывание» грунта в полость под пятой элемента, что препятствует дальнейшему вдавливанию; кроме того, возрастают затраты на

извлечение свай. Сокращение величины шага не приводит к заметному уменьшению присоединенной к свае массы грунта и снижению сил бокового трения.

В таблице 3.3 приведены результаты экспериментальной апробации способа погружения свай в инженерно-геологических условиях, характерных для Санкт-Петербурга.

Таблица 3.3 – Результаты практической апробации вдавливания свай (обсадных труб) в режиме расхаживания

№ площадки	Режим погружения свай	Длина и сторона сечения свай, м · см	Конечное усилие вдавливания, кН	Глубина погружения свай в слой плотного грунта, м	Время погружения в слой, мин	Характеристика плотного грунта
1	Стандартный	15×35	140	0,45	20–30	Суглинки полутвердые: $E = 14$ МПа, $I_L = 0,09$
	Расхаживание		110	2,65	25	
2	Стандартный	26×40	120–140	1,10	20–35	Суглинки полутвердые: $E = 14$ МПа, $I_L = 0,16$
	Расхаживание		110	3,00	30	
3	Стандартный	20×40	120	0,65	27	Глины полутвердые: $E = 17$ МПа, $I_L = -0,17$
	Расхаживание		100	2,05	25	
4	Стандартный	15×35	100	1,15	29	Суглинки полутвердые: $E = 24$ МПа, $I_L = 0,16$
	Расхаживание		95	3,10	18	
5	Стандартный	12×40	160	0,45	35	Супеси твердые $E = 16$ МПа, $I_L = -0,13$
	Расхаживание		120	2,00	15	

Анализ данных, представленных в таблице 3.2, показывает, что применение предлагаемого режима позволило увеличить глубину заглубления свай в слой плотного грунта с 63 на 83% при сокращении времени погружения [33]. Новизна способа подтверждена Патентом РФ № 2498017 [100].

В ходе дальнейших исследований и расчетов критериев технологичности для указанных условий был разработан новый режим вдавливания в прослоях плотных грунтов. При нем увеличивают усилие вдавливания до значения, равного сумме лобового сопротивления свай в этих слоях грунтов, а также уменьшают скорость вдавливания свай до минимального значения, определяемого из следующего выражения [33, 107]:

$$V = (F_{\text{вд}} - F_d) / F_d n, \quad (3.15)$$

где  $V$  – скорость вдавливания сваи, м/мин;  $F_{\text{вд}}$  – усилие вдавливания, кН;  $F_d$  – несущая способность сваи в интервале погружения, кН;  $n = 0,4–0,9$  – опытный коэффициент, среднее значение которого составляет 0,6.

Таким действием обеспечивают снижение вязкого сопротивления грунта, которое линейно возрастает при увеличении скорости погружения сваи. В результате достигают сокращения дополнительного сопротивления грунта, что позволяет погружать сваи в слои плотного грунта без увеличения усилия вдавливания и веса установки. При этом значения усилия и скорости вдавливания задают в зависимости от характеристик конкретных инженерно-геологических условий.

Известна математическая зависимость, по которой определяют усилие вдавливания свай статической нагрузкой [33]:

$$F_{\text{вд}} = (R + VnR)A + (f + Vnf)\Omega, \quad \text{кН}, \quad (3.16)$$

где  $R, f$  – удельное статическое сопротивление грунта под нижним торцом и по боковой поверхности сваи соответственно, кН/м<sup>2</sup>;  $A$  – площадь поперечного сечения сваи, м<sup>2</sup>;  $\Omega$  – площадь боковой поверхности сваи, м<sup>2</sup>.

Выражение (3.16) записывают в виде

$$F_{\text{вд}} = F_d + F_d nV, \quad \text{кН}, \quad (3.17)$$

где  $F_d$  записываем как  $F_d = RA + f\Omega$ .

Из выражения (3.17) скорость вдавливания  $V$  определяют по формуле

$$V = (F_{\text{вд}} - F_d) / F_d n. \quad (3.18)$$

Уравнение (3.18) позволяет регулировать и настраивать усилие вдавливания и скорость погружения сваи в зависимости от наличия в геологическом разрезе слоев грунтов разной плотности.

При вдавливании сваи в слоях плотных грунтов увеличивают критерий  $F_{\text{вд}}$  до значения, равного несущей способности сваи в интервале погружения, а также уменьшают скорость вдавливания до минимального значения. В слабых грунтах уменьшают усилие и увеличивают скорость вдавливания до максимального значения [33].

Пример практической реализации такой методики определения технологических параметров для вдавливания свай представлен на рисунке 3.12 на примере опытной площадки, расположенной на Васильевском острове Санкт-Петербурга. Погружались составные железобетонные призматические сваи длиной 28 м, сечением 35×35 см. Результаты расчета усилия и скорости вдавливания для установки УСВ-160 представлены на рисунке 3.13. Несущая способность грунтов  $F_d$  для каждого метра погружения сваи была рассчитана на основе данных статического зондирования грунтов.

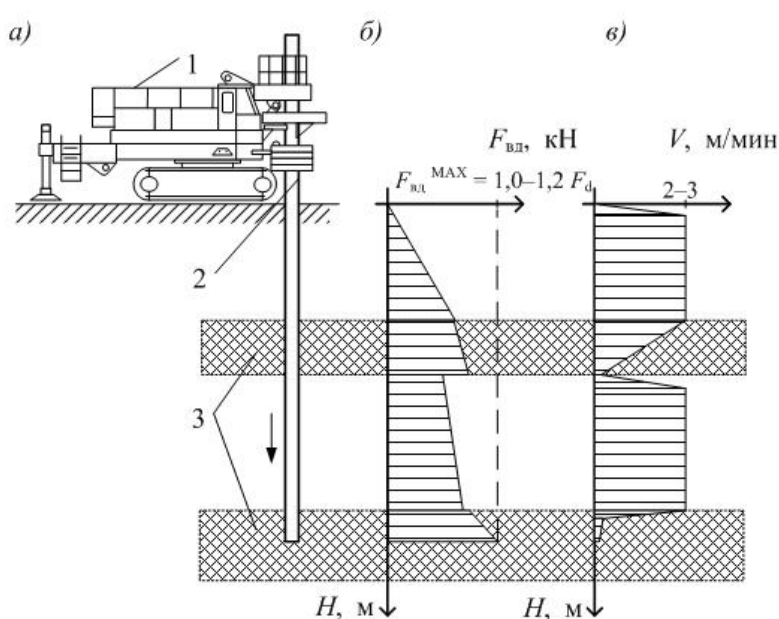


Рисунок 3.12 – Фрагмент технологической карты с графическими зависимостями, определяющими изменение технологических параметров по глубине вдавливания свай: *а* – расположение сваи в геологическом разрезе; *б* – график изменения усилия ( $F_{вд}$ ) по глубине погружения сваи ( $H$ ); *в* – график изменения скорости вдавливания ( $V$ ) по глубине погружения сваи ( $H$ );

*1* – установка; *2* – свая; *3* – слои плотных грунтов, включая несущий

Фактическое конечное усилие вдавливания составило 1500 кН, при этом несущая способность грунтов по результатам статических испытаний грунтов сваями вдавливающей нагрузкой принята 1600 кН (средняя максимальная нагрузка  $P_{МАКС} = 1600$  кН при осадке  $S = 1,2$  см).

Приведенные данные позволяют заключить, что обоснованные автором технологические режимы позволили погрузить элементы в слоях плотных грунтов, а статические испытания свай подтвердили их возможность использования в составе фундамента.

Техническая новизна способа подтверждена Патентом РФ № 2500857 [101].



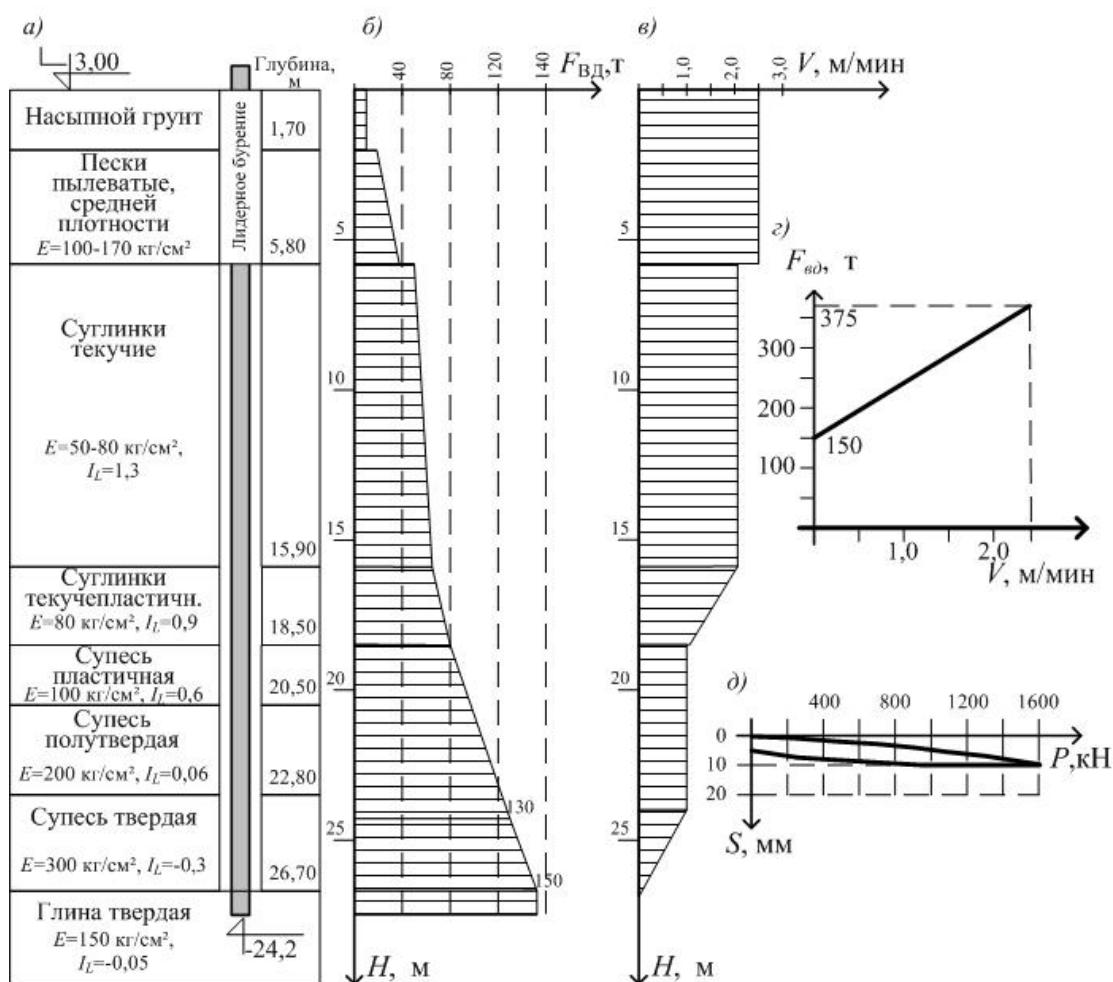


Рисунок 3.13 – Практическая реализация технологических режимов с изменением скорости: *а* – расположение сваи в геологическом разрезе; *б* – график изменения усилия вдавливания ( $F_{вд}$ ) по глубине погружения сваи ( $H$ ); *в* – то же, скорости вдавливания ( $V$ ); *г* – график зависимости усилия вдавливания на последнем метре погружения сваи от скорости; *д* – график статического испытания свая вдавливающей нагрузкой

Следует отметить, что приведенные режимы при всей их эффективности позволяют заглубить элемент в плотные породы на глубину не более 2,5–3 м; дальнейшие пути оптимизации способа потребовали исследований в области комбинации с другими воздействиями, а именно вибрационного характера. Для решения этой задачи были применены режимы вибрационно-вращательного вдавливания свай заводского изготовления. При таком режиме призматического элемента в пределах одного периода вращательных колебаний каждая его грань уплотняет соответствующий массив пристенного грунта, что приводит к существенному снижению сил бокового трения поверхности элемента о грунт, повы-

шает эффективность процесса при увеличении скорости погружения и снижении энергетических затрат (усилия вдавливания) по сравнению с погружением трубчатого элемента.

Предпосылкой исследований послужил установленный Цейтлиным М. Г., Изофовым В. О., Кенциным О. Ш. [145] факт, заключающийся в том, что для вибрационно-вращательного погружения значения статической силы в 5–7 раз меньше, чем при режиме вдавливания. Автором обработаны результаты ранее выполненных исследований; были получены ходограммы погружения элементов с различными поперечными сечениями, представленные на рисунке 3.14. Если сравнивать с вибрационным погружением в режиме действия продольных колебаний, то суммарная амплитуда виброперемещений грунта уменьшается в 8–10 раз. Эксперименты также показали, что для вибрационно-вращательного вдавливания квадратных (призматических) элементов необходимо приложить в 3–5 раз меньшее значение усилия вдавливания, чем в случае с элементами с круглым поперечным сечением [145].

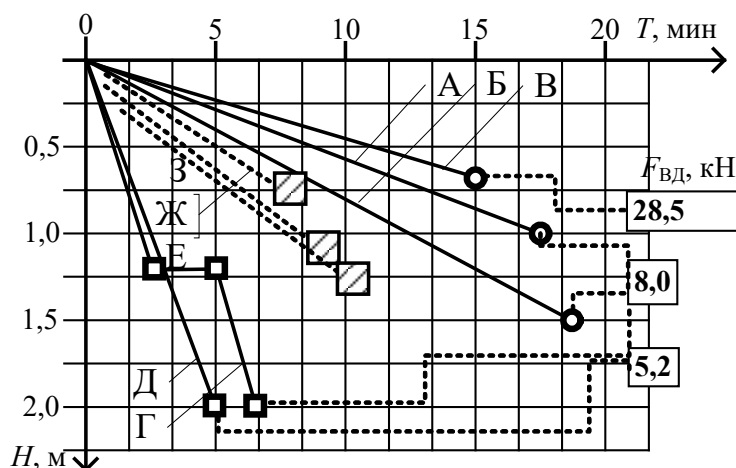


Рисунок 3.14 – Исследования различных режимов вдавливания элементов: Г, Д – ходограммы погружения стальных элементов с квадратной формой поперечного сечения; Е–Ж – то же, для вдавливания железобетонных призматических элементов; А–В – то же, стальных

труб;  $T$ ,  $H$  – соответственно время и глубина погружения элементов;  $F_{вд}$  – статическое усилие вдавливания

При опытной реализации указанного режима автором было установлено, что при традиционной схеме вибрационного погружателя на оголовке сваи заводского изготовления в их теле возникают опасные деформации, вызванные продолжительными воздействиями на оголовки элемента вращательных колебаний

(рисунки 3.15, 3.16). Их приложение к торцу не позволяет равномерно распределить динамические воздействия по всей поверхности, что приводит к разрушению и препятствует погружению сваи на проектную глубину. Отсюда следует практически важный вывод о необходимости разрабатывать более надежные способы установки вибрационной машины на погружаемый элемент.

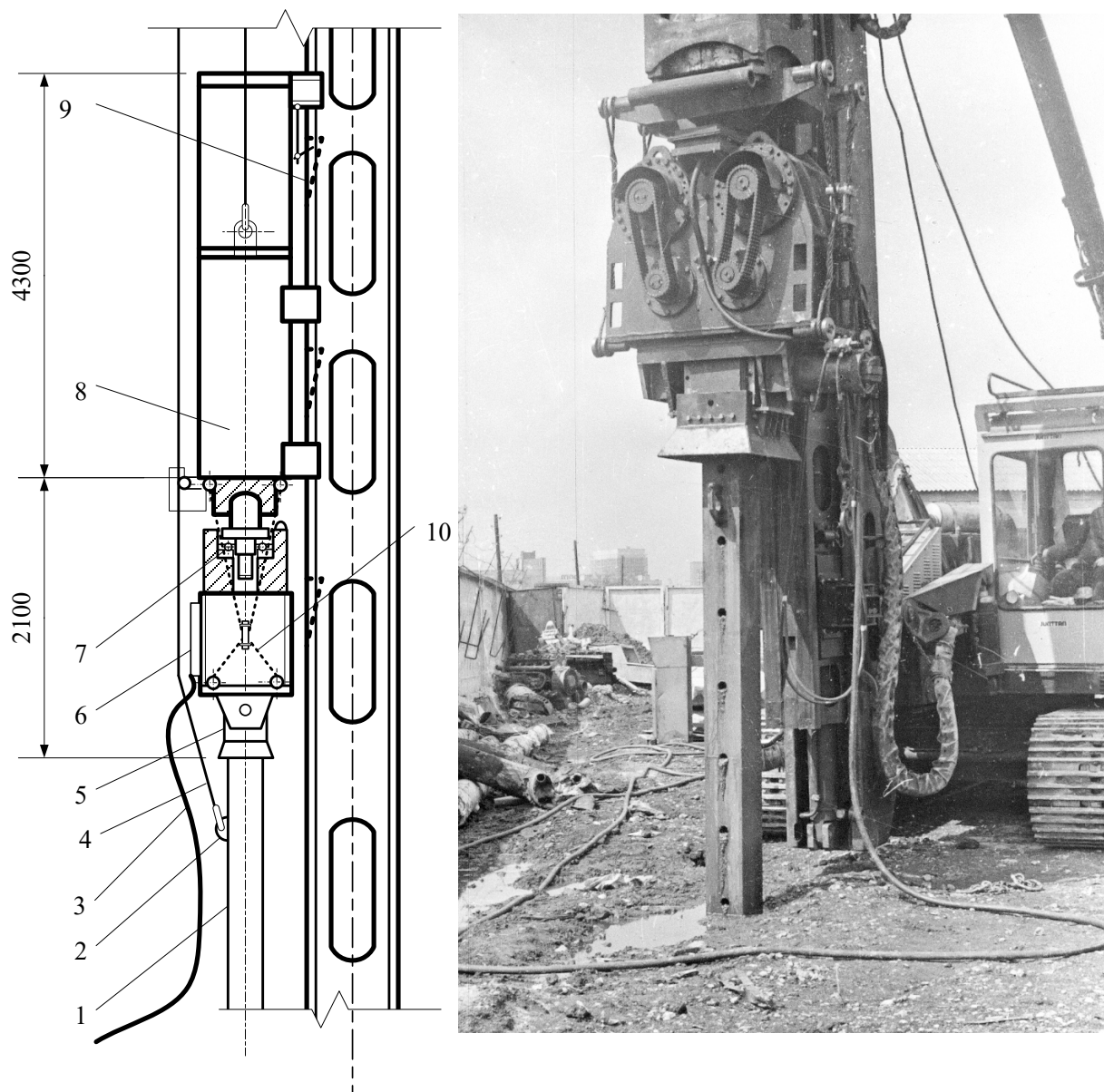


Рисунок 3.15 – Экспериментальная установка на базе копра для вибрационного вдавливания свай: 1 – свая; 2 – строповочная петля на свае; 3 – силовой кабель вибропогружателя; 4 – грузовой канат копра; 5 – наголовник; 6 – вибропогружатель вращательных колебаний; 7 – подшипник с упором со сферической поверхностью; 8 – корпус молота; 9 – стрела копра с упорами для задавливания; 10 – перекрещивающиеся стропы крепления вибропогружателя к корпусу молота

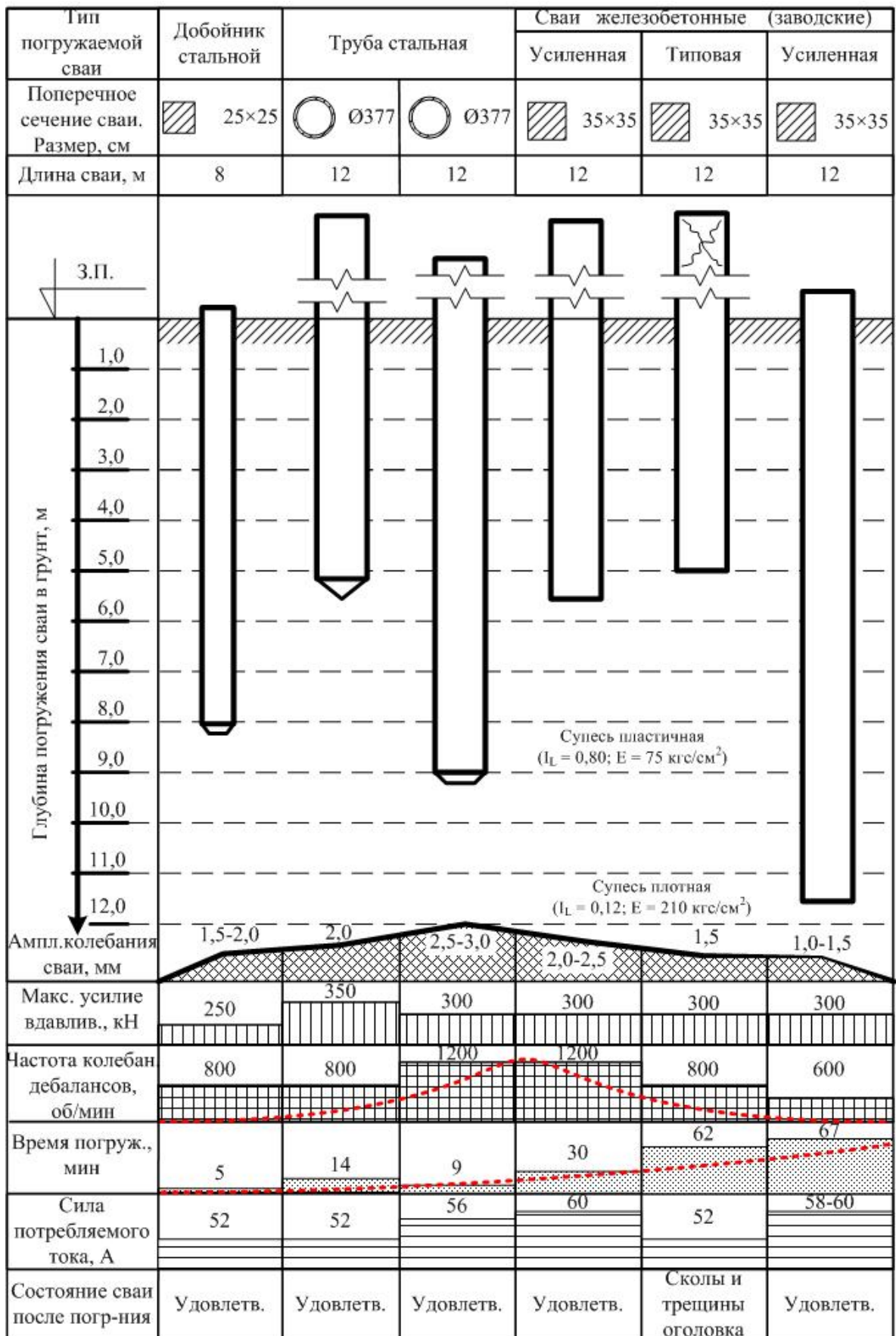


Рисунок 3.16 – Диаграммы технологических параметров опытного вибрационно-вращательного вдавливания свай

В ходе выполненного комплекса исследований в практических условиях автором были обоснованы технологические режимы, при которых на поверхности грунта под механизмом вдавливания соосно погружаемой сваи предварительно устанавливается вибропогружатель вращательных колебаний с проходным центральным отверстием, который по достижении сваей слоя плотного грунта после холостого хода механизма вдавливания поднимают до ближайшего торца механизма вдавливания, жестко фиксируют сваю в отверстии вибропогружателя, а ее погружение выполняют в режиме вибрационно-вращательного вдавливания при действии вращательных моментов до достижения проектной глубины [30].

Таким действием обеспечивают уменьшение сил бокового трения сваи о грунт за счет приложения к элементу знакопеременных вращательных моментов. Данный эффект достигается за счет циклического уплотнения («обжатия») боковыми гранями сваи грунта в периферийной зоне, что исключает его «налипание» (образование присоединенной массы) к поверхности сваи. Физическая модель этого процесса раскрыта на рисунке 3.17, где показан упруго-пластический характер преодоления сваей сил сопротивления погружению при вращательных колебаниях.

Новый способ обеспечивает понижение точки приложения крутильных колебаний, что приводит к щадящему режиму вибрационного вдавливания сваи за счет уменьшения значения «плеча» при действии знакопеременных вращательных моментов при одновременном снижении сил бокового трения сваи о грунт. Это обеспечивает приложение вращательных моментов по всей поверхности погружаемой сваи, способствуя в конечном итоге их равномерному распределению по указанной поверхности. Это позволяет повысить надежность процесса погружения сваи в грунт. Автором разработаны технологические схемы для его практической реализации.

Элементы разработанных в ходе исследований режимов были опробованы в условиях строительных площадок с геологическими разрезами с характерным неоднородным напластованием слабых водонасыщенных и плотных грунтов. По результатам этих работ на рисунке 3.18 представлены зависимости опытных

работ, целью которых являлось определение зависимости глубины погружения свай от частоты колебаний.

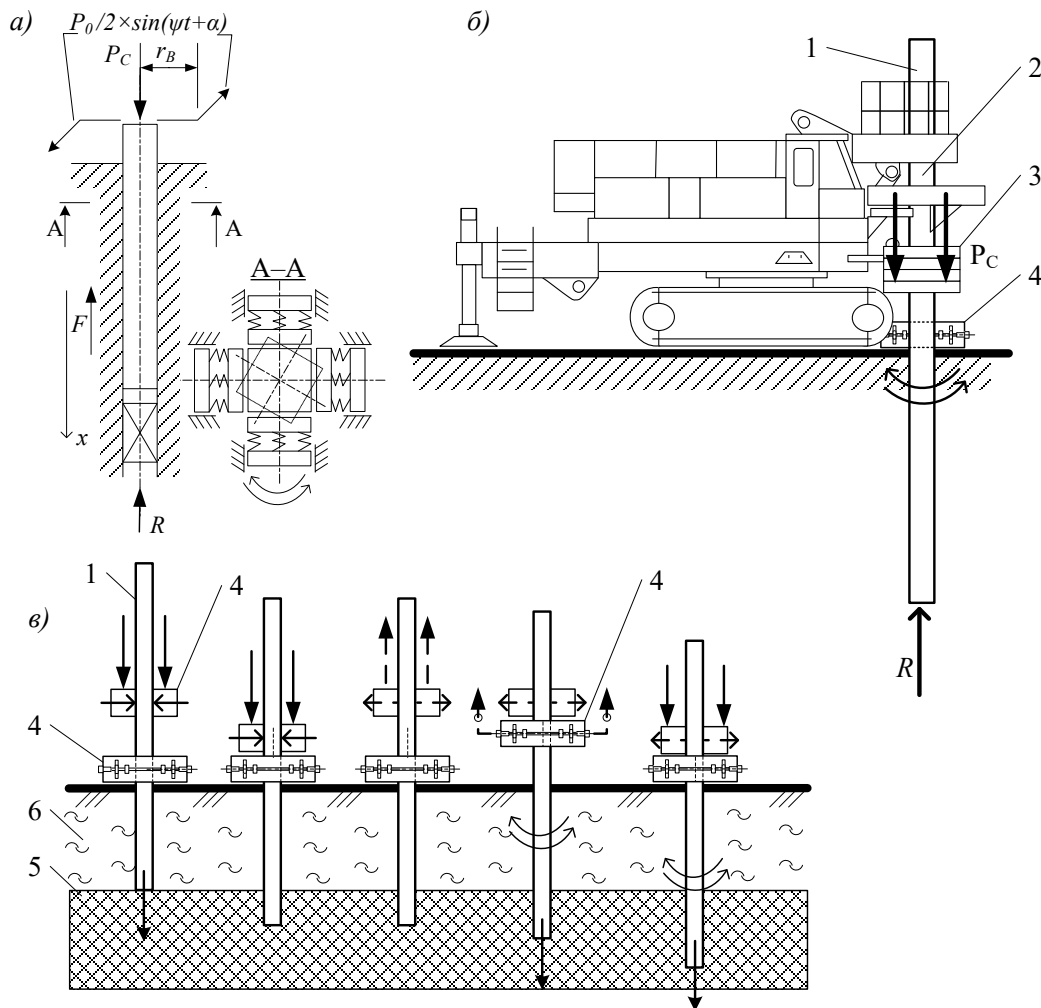


Рисунок 3.17 – Реализация нового способа вибровращательного вдавливания свай: *а* – расчетная схема взаимодействия сваи с грунтов при погружении (на разрезе Б-Б отоброажено изменение упругопластического сопротивления грунта при его вибрационном уплотнении в периферийной зоне в процессе вращательных колебаний); *б*, *в* – соответственно технологическая схема установки вибратора на установке и погружения сваи; 1 – свая; 2, 4 – вибратор крутильных колебаний с установкой на торце и боковой поверхности сваи (с проходным центральным отверстием) соответственно; 3 – механизм вдавливания; 5, 6 – соответственно слои плотного и слабого грунта;  $F$ ,  $R$  – сопротивление грунта соответственно по боковой и лобовой поверхностям элемента;  $\omega$  – угловая скорость их вращения;  $t$  – время;  $P_C$  – статическая сила вдавливания;  $P_0$  – амплитудное значение вынуждающей силы;  $r$ ,  $r_B$  – радиусы приложения вибрационных сил

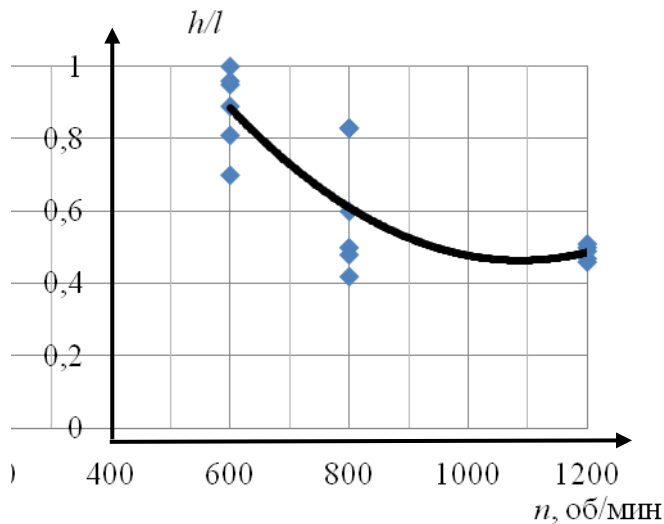


Рисунок 3.18 – Экспериментальные зависимости относительной глубины погружения свай от частоты колебаний вибрационного погружателя:  $h$ ,  $l$  – соответственно глубина погружения и длина свайного элемента;  $n$  – частота колебаний

Графическая зависимость, представленная на рисунке 3.18, описывается следующим математическим выражением:

$$h/l = 0,28n / (n - 408,25). \quad (3.19)$$

На основе обработки экспериментальных данных автором было установлено, что при частоте колебаний 1200 кол./мин скорость погружения почти в 2 раза больше, чем при 600 кол./мин. Однако при частотах колебаний 800 и 1200 кол./мин наблюдались характерные разрушения оголовков, препятствующие дальнейшему погружению свай. Таким образом, вибрационный режим при  $n = 600$  кол./мин режим является более предпочтительным с точки зрения сохранности бетонного ствола сваи за счет снижения интенсивности воздействия вращательных колебаний при амплитуде колебаний 12–20 мм [30].

На погруженных таким образом сваях провели эксперименты по определению несущей способности грунтов согласно нормативной методике. Результаты таких экспериментов в виде графиков зависимости «нагрузка – осадка» приведены на рисунке 3.19.

С учетом анализа этих результатов можно сделать следующие выводы:

1) характер кривой нагружения свай статическими нагрузками, погруженных вдавливанием и с приложением вращательных колебаний, практически идентичен;

2) значения удельной несущей способности грунтов на квадратный метр поверхности элементов при забивке и действии вращательных колебаний имеют одинаковый порядок.

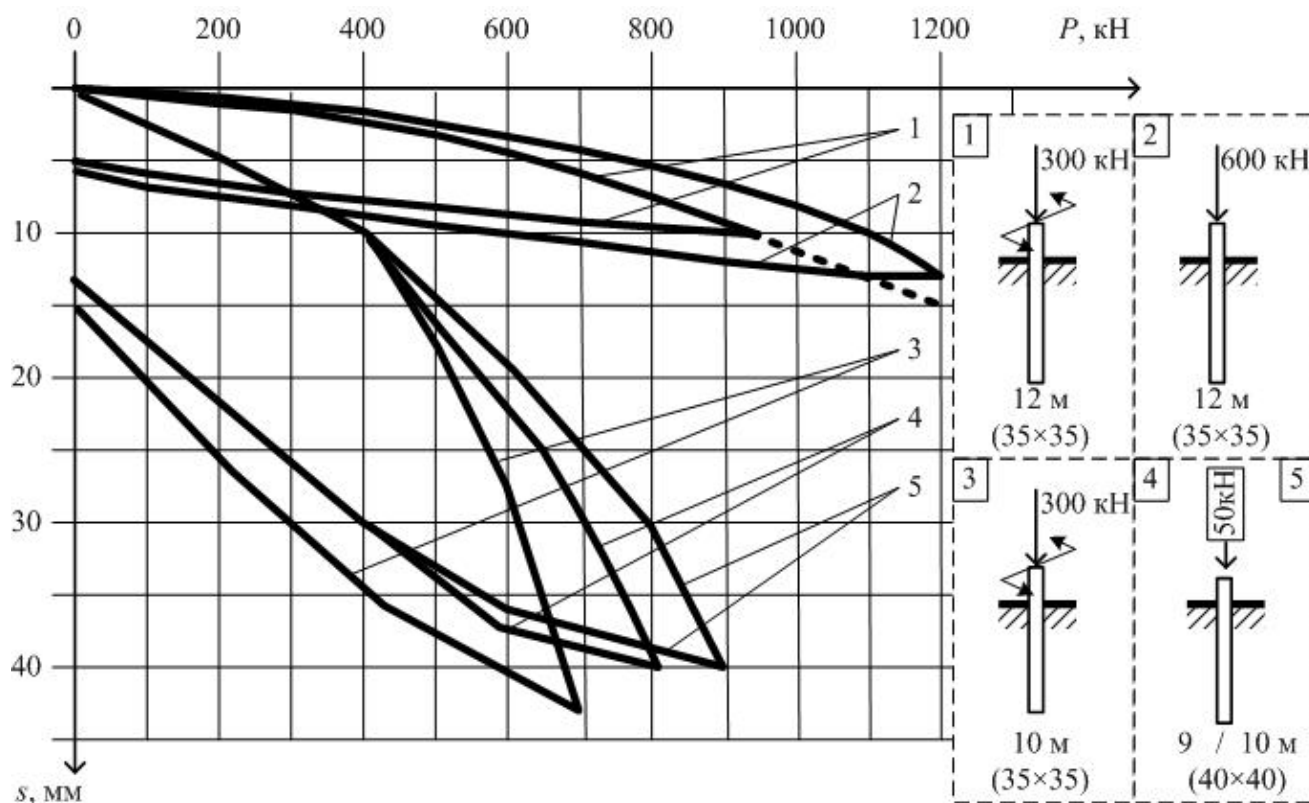


Рисунок 3.19 – Графики испытаний свай: 1, 3 – кривые нагружения свай, погруженных вибрационно-вращательным вдавливанием; 2 – то же, вдавливание; 4, 5 – то же, забивкой;  $P$  – вдавливающая нагрузка при испытаниях;  $s$  – осадка сваи при испытаниях. В скобках указаны размеры поперечного сечения призматических свай

Выполненный комплекс экспериментальных работ позволяет заключить, что при заглублении свай с приложением вращательных колебаний в плотные породы получают значения несущей способности, достаточные для дальнейшего устройства фундаментов. При этом нарушение структуры околосвайного массива грунта не выявлено.

Кроме того, в процессе опытных работ выполняли замеры колебаний поверхности грунта на расстояние 1,5–2,0 м от места погружения свай длиной 16 м, сечением 400×400 мм. В непосредственной близости к погружаемым сваям (ми-



нимальное расстояние 80 см) находился 16-этажный жилой дом с кирпичными несущими стенами – «встройка». Фундамент этого здания выполнен на сваях длиной 14 м. Несущий слой свай представлял собой пылеватые кембрийские и слоистые полутвердые глины ( $I_L = -0,42$ ,  $E = 250$  кг/см<sup>2</sup>). При визуальном осмотре, выполненном совместно со специалистами ЗАО «ПКТИ» в наружных стенах дома, были выявлены локальные вертикальные трещины с раскрытием 2–5 мм, расположенные в пределах простенках сразу за аркой торца примыкания до цоколя 2-го этажа. При частоте колебаний вибрационного погружателя в 600 кол./мин среднее геометрическое значение ускорения колебаний поверхности грунта составило 270 мм/с<sup>2</sup>, при 800 кол./мин – 362 мм/с<sup>2</sup>, при 1200 кол./мин – 440 мм/с<sup>2</sup>. Эти значения не превышают допустимых уровней, установленных действующими нормативами, что подтверждает безопасность предложенного режима для конструкций фундаментов окружающей застройки (рисунок 3.20).

В результате обработки опытных данных было получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$Y = 14,69 - 0,005X_1 - 0,045X_2 - 0,002X_3, \quad (3.20)$$

где  $Y$  – глубина бездефектного погружения элемента, м;  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  – соответственно переменные усилия вдавливания, кН; время погружения, мин; частота колебаний вибрационного средства, об/мин.

Проверка общей значимости (однородности ряда по дисперсии) полученного уравнения выполнена исходя из значения критерия Фишера  $F$ . При этом его расчетное значение равно  $F = 0,0226$ . При этом табличное или допускаемое значение при степенях свободы  $F_{кр}(3; 2) = 19,2$ . Поскольку фактическое значение  $F < F_{кр}$ , то проверка считается выполненной.

Следует отметить, что «бездефектность» погружения элементов до проектной отметки во многом определяется качеством изготовления свайного элемента, в том числе его дополнительным армированием.

Техническая новизна способа подтверждена Патентом РФ № 2580338 [104].

Скважина № 382(15685)				
Абс. отметка устья скважины				2,7 м
Глубина	Мощность слоя	Условные обозначения	Краткое описание грунтов	Абс. отметки
4,0	4,0		Намывные грунты: песок пылеватый с редкими растительными остатками	-1,3
7,0	3,0		Суглинок пылеватый, слоистый, серый, мягкопластичный ( $I_L = 0,96$ ; $E = 70$ кгс/см <sup>2</sup> )	-4,3
9,0	2,0		Суньес пылеватая, серая с гравием и галькой (до 5%) с обломками песчанника, мягкопластичная ( $I_L = 0,70$ ; $E = 100$ кгс/см <sup>2</sup> )	-6,3
13,2	9,0		Глина пылевая, голубая с обломками песчанника, полутвердая, дислоцированная ( $I_L = -0,32$ ; $E = 190$ кгс/см <sup>2</sup> )	-10,5
Свыше 8,0			Глина пылевая, голубая, слоистая, полутвердая ( $I_L = -0,42$ ; $E = 250$ кгс/см <sup>2</sup> )	

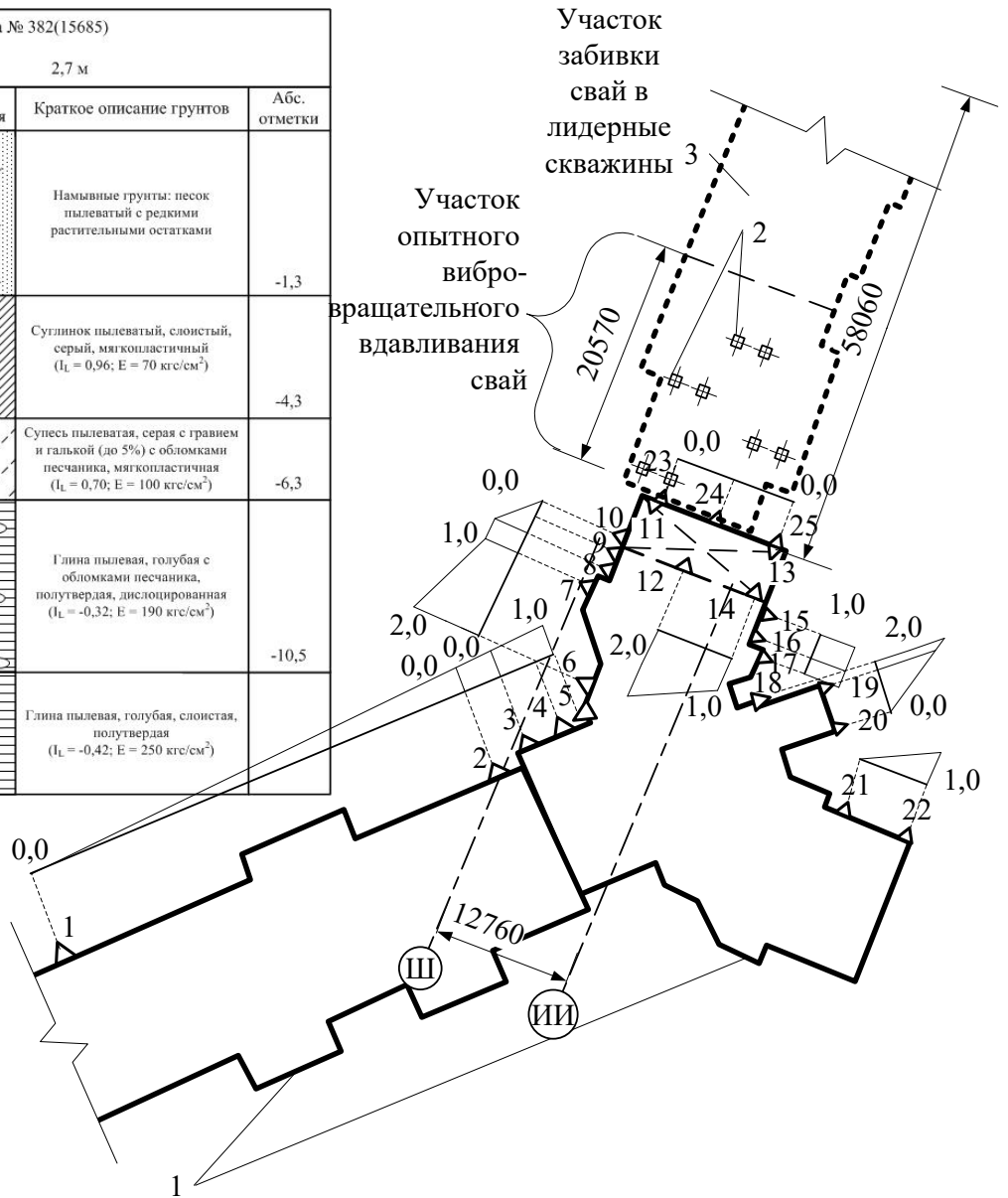


Рисунок 3.20 – План-схема расположения деформационных маяков на стенах существующего жилого дома и эпюра распределения осадок их конструкций на период погружения свай: 1 – существующие здания; 2 – опытные сваи, погружаемые по технологии вибровращательного вдавливания; 3 – границы устраиваемого свайного фундамента

### **3.4. Разработка методики выбора способов для условий напластования слабых грунтов и стесненной застройки**

С учетом представленных в главе 3 результатов исследований в направлении оптимизации конструктивно-технологических параметров современных способов устройства свайных фундаментов, проводимых на основании расчетов критерия технологичности, автором был разработан алгоритм выбора оптимальных параметров устройства-изготовления свайных фундаментов для условий геологических разрезов с напластованиями слабых грунтов и стесненной застройки.

Такой алгоритм, приведенный на рисунке 3.21, базируется на следующих положениях:

- Принятие решений в области выбора конструктивно-технологических условий современных способов производства специальных работ в грунтах производства осуществляется на основании комплексного анализа следующей информации: проектного решения в виде рабочей документации по устройству фундаментов, проекта организации строительства (ПОС), геотехнического обоснования (ГТО); результатов инженерно-геологических изысканий рассматриваемого участка строительства; заключения по результатам обследования состояния конструкций зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния нового строительства; отчетов по проведению аналогичных работ в сходных геологических условиях или на соседних участках; технических возможностей специализированных подрядных организаций, рассматриваемых в качестве подрядных организаций при выполнении соответствующих работ; актуальных стоимостных показателей.

- Расчет критериев технологичности производится с учетом расположения участка строительства относительно селитебных зон и методических основ, представленных в главе 2.

Детализация такой аналитической модели выбора оптимальных технологических параметров, производимого исходя из новой методики, приведена в таблице 3.4.

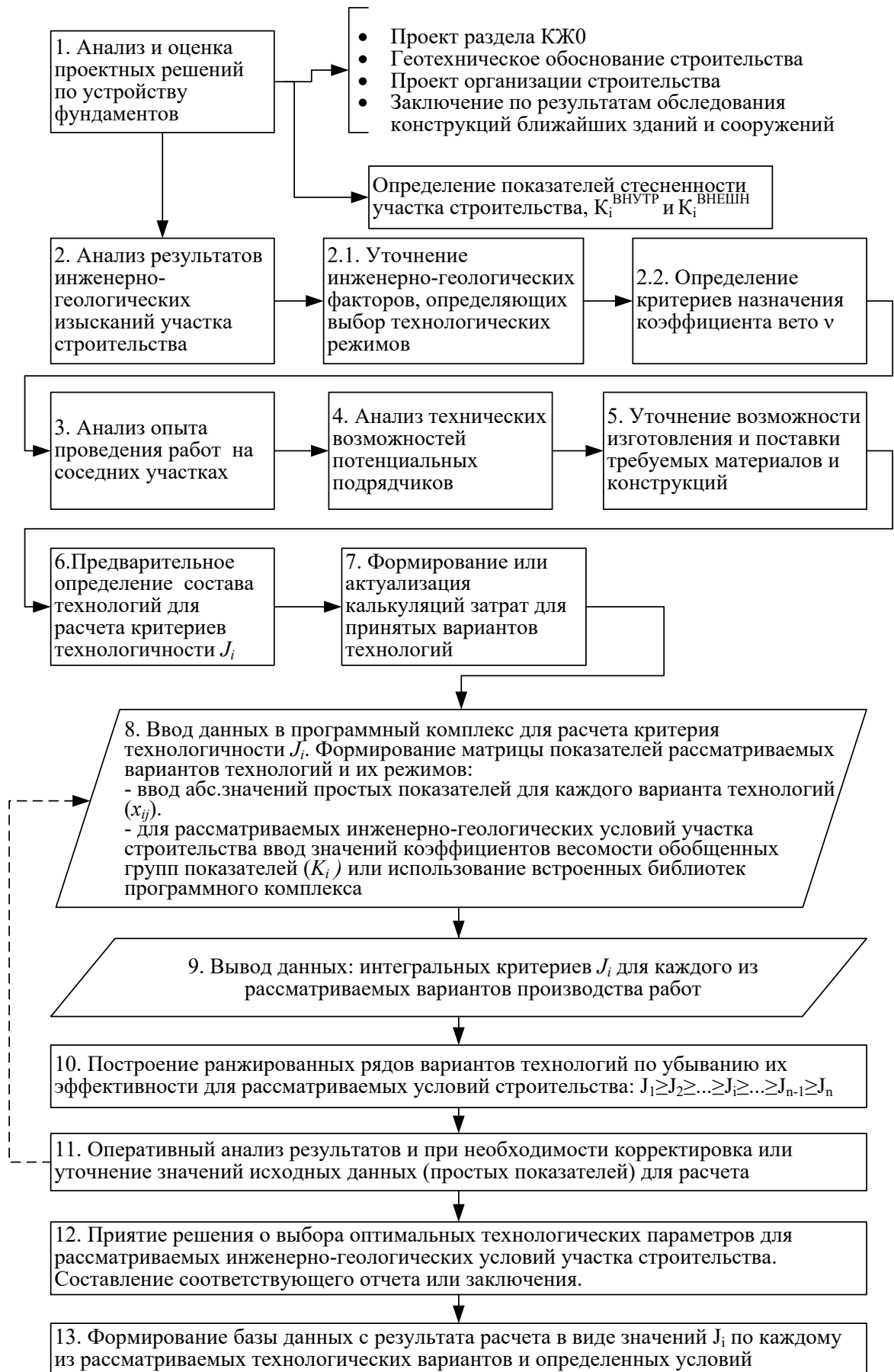


Рисунок 3.21 – Алгоритм выбора оптимальных технологических параметров устройства свайных фундаментов

Таблица 3.4 – Описание аналитической модели выбора оптимальных технологических параметров устройства свайных фундаментов для различных инженерно-геологических условий

Номер этапа	Описание этапа
1	2
1. Анализ и оценка проектных решений по устройству фундаментов для конкретных условий строительства	Выполняют анализ следующей документации: проекта по устройству конструкций нулевого цикла, геотехнического обоснования строительства, проекта организации строительства, заключения по результатам обследования состояния конструкций ближайших зданий и сооружений. В результате уточняется следующая информация: конструктивные параметры фундаментов, схемы их нагружения, несущая способность свай, рекомендации по применению технологий, состояние конструкций охраняемых объектов, включая инженерные сети в пределах зоны влияния строительства (размеры зон оценивают на основании рекомендаций СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»). Определяются показатели стесненности участка работ по формулам (2.21)–(2.23)
2–2.2. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий участка строительства	Уточняют параметры опорного слоя грунта, включая положение его кровли. После изучения геологических разрезов и графиков статического зондирования грунтов следует уточнить показатели геологических элементов в пределах глубины заглубления сваи и соотнести их с показателями эффективности, полученными на основе расчета $K_{ГР}$ (формулы (2.24)–(2.27)). Таким образом задают критерии назначения коэффициента вето (см. формулу (1.20))
3. Анализ опыта проведения специальных работ на соседних участках	Следует проводить анализ соответствующих результатов испытаний свайных фундаментов, возникающих дефлекторов работ, результатов геотехнического мониторинга и исполнительной документации. Таким образом уточняют основные риски, которые могут произойти в процессе реализации технологического режима: снижение качества работ, вызванное технологическими факторами, а также негативные воздействия на окружающую застройку (см. подраздел 2.4)
4. Анализ технических возможностей потенциальных подрядчиков	Определяют возможность применения необходимых технических средств
5. Уточнение технической возможности изготовления и поставки требуемых материалов и конструкций	Уточняют условия своевременного получения от заводов бетонных смесей с требуемыми параметрами или же изготовления свайных элементов с учетом требуемых проектных параметров (длина, сторона сплошного или полого сечения, параметры изготовления конструктивных элементов стыков)

1	2
6. Предварительное определение состава технологий для расчета критериев технологичности $J_i$	Оценке подвергаются способы устройства или изготовления свай с учетом рекомендаций, приведенных в подразделе 1.1. Далее этот состав резервируется в программном комплексе для формирования основной расчетной матрицы
7. Формирование или актуализация калькуляций затрат для принятых вариантов технологий	Уточнение стоимостных показателей следует производить при получении единичных расценок по видам работ с учетом их номенклатуры, приведенной в подразделе 2.3
8. Ввод данных в программный комплекс для расчета критерия технологичности $J_i$	Формируется матрица показателей рассматриваемых вариантов технологий и их режимов, что предполагает следующие действия: <ul style="list-style-type: none"> <li>– ввод абсолютных значений простых показателей для каждого варианта (<math>x_{ij}</math>);</li> <li>– ввод значений коэффициентов весомости обобщенных групп показателей (<math>K_i</math>) или использование встроенных библиотек программного комплекса, осуществляемые для рассматриваемых инженерно-геологических условий участка строительства;</li> <li>– выбор критериев для определения значений коэффициента вето <math>v</math></li> </ul>
9. Вывод данных	Результаты отображаются в виде набора обобщенных показателей ( $m_{i1} \{m_{11}, m_{12}, m_{13}\}; m_{i2}; m_{i3}$ ) и интегральных критериев $J_i$ для каждого из рассматриваемых вариантов производства работ при заданных ограничениях со стороны анализируемых факторов
10. Построение ранжированных рядов вариантов технологий по убыванию их эффективности для рассматриваемых условий строительства	При построении таких рядов варианты располагают с учетом следующего условия: $J_1 \geq J_2 \geq \dots \geq J_i \geq \dots \geq J_{n-1} \geq J_n$ . Причем в начале ряда будут располагаться наиболее эффективные технологии с максимальными значениями критерия при их использовании в конкретных инженерно-геологических условиях
11. Оперативный анализ и (при необходимости) корректировка или уточнение значений исходных данных (простых показателей) для расчета	Выполняют корректировку данных ( $x_{ij}$ ) с учетом возможных ошибок при вводе данных. При необходимости проводят оценку полученных результатов с возможным привлечением сторонних экспертов

1	2
12а. Принятие решения о выборе оптимальных технологических параметров для рассматриваемых инженерно-геологических условий участка строительства	<p>При оптимизации технологических режимов решается обратная задача относительно анализируемого обобщенного показателя согласно разработанной математической модели (формулы (1.17)–(1.20)):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определяется обобщенный критерий, подлежащий оптимизации (<math>m_i^*</math>);</li> <li>– на основании результатов 9-го этапа выбирается приемлемое значение критерия технологичности <math>J_i^*</math>;</li> <li>– определяется оптимизированное значение: <math>m_i^* = [J_i^* - (m_{i-1} k_{i-1} + m_{i+1} k_{i+1})] / k_i</math>;</li> <li>– в рамках рассматриваемой группы обобщенных показателей определяется техническая возможность их оптимизации с расчетом оптимальных значений: <math>m_{ij}^* = [m_i^* - \sum m_i k_i] / k_{ij}</math>;</li> <li>– с учетом полученного результата выполняется перерасчет критериев технологичности по этапам 8–11</li> </ul>
12б. Продолжение предыдущих действий	<ul style="list-style-type: none"> <li>– составляется план мероприятий по реализации оптимизации параметров;</li> <li>– рассчитывается экономическая эффективность предлагаемых решений.</li> </ul> <p>Составляется соответствующий отчет или заключение. При необходимости осуществляется корректировка проектного решения (см. этап 1). Составляется технологический регламент для дальнейшей разработки технологической документации. Корректируется сметная документация</p>
13. Формирование базы данных с результатами расчета в виде значений $J_i$ по каждому из рассматриваемых технологических вариантов и определенных условий производства работ	<p>Эта база данных будет использоваться для дальнейшего анализа возможности работ в сходных инженерно-геологических условиях на конкретных участках строительства. Особенно важно для дальнейших расчетов получить оценку негативных последствий – как для обеспечения надлежащего качества работ, так и для пресечения развития недопустимых деформаций конструкций существующих зданий и сооружений</p>

С учетом представленной аналитической модели автором выполнялись анализ условий работы и выбор оптимальных технологических параметров по устройству свайных фундаментов в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Обзор таких объектов строительства, по которым автором выполнялись указанные работы, представлен в главе 6.

На основании алгоритма, представленного в таблице 3.3, автором были выполнены расчеты критериев технологичности и анализ полученных значений

с учетом их оценки в практических условиях. С их учетом составлены практические рекомендации по оптимизации параметров устройства свайных фундаментов. Они частично представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Практические рекомендации по оптимизации параметров устройства свайных фундаментов, полученные на основании расчетов критерия  $J_i$

№ п/п	Инженерно-геологические условия производства специальных работ в грунтах			
	по положению участка относительно окружающей застройки		по наличию в геологических разрезах преобладающих напластований грунтов	
	Участок свободен от застройки	Участок располагается в селитебной зоне	Плотные прослои	Слабые водонасыщенные толщи
1	2	3	4	5
1 <sup>заб</sup>	<b>Погружение свай заводского изготовления забивкой</b>			
	Рекомендуется при $N < 1600$ (1800) кН ( $J_i = 0,8-1,0$ ). Возможны выпор и технологические смещения свай вблизи выемок ( $\Delta J_i = -0,2$ ). При погружении свыше 200 пог. м свай на 1 см возможно разуплотнение межсвайного массива грунта со снижением его бокового сопротивления ( $\Delta J_i = -0,4$ )	В кварталах современной застройки в 30-й зоне применяют режим забивки при минимальной высоте подъема гидравлического молота 0,2–0,4 м с увеличением его массы свыше 4 т ( $J_i = 0,6-0,8$ ). В кварталах сложившейся застройки его применение без соответствующего обоснования не рекомендуется ( $J_i = 0,4-0,6$ )	Рекомендуется при $m_{пл} \leq 3$ м ( $J_i = 0,9-1,0$ ). При $m_{пл} > 3$ м применяют режим лидерного рыхления грунта – при глубине рыхления как до 16 м ( $J_i = 0,8$ ), так и свыше 16 м ( $J_i = 0,6$ )	Рекомендуется $J_i = 0,9-1,0$
2 <sup>заб</sup>	<b>Статическое вдавливание свай заводского изготовления</b>			
	Рекомендуется при дополнительном экономическом обосновании ( $J_i = 0,6-0,8$ ). Возможны технологические смещения свай вблизи выемок и откосов котлованов ( $\Delta J_i = -0,2$ )	Рекомендуется при $N < 1800$ (2000) кН ( $J_i = 0,8-0,9$ ). Осуществляют погружение в лидерные скважины в условиях примыкания к существующим конструкциям для снижения значений их технологических осадок ( $\Delta J_i > 0,4$ )	Рекомендуется при $m_{пл} \leq 2$ м ( $J_i = 0,6-0,8$ ). При $m_{пл} > 2$ м применяют режим лидерного рыхления грунта: при $г_{лпл} < 16$ м ( $J_i = 0,6$ ); при $г_{лпл} > 16$ м ( $J_i = 0,4-0,6$ )	Рекомендуется $J_i = 0,8-0,9$
3 <sup>заб</sup>	<b>Вибрационное погружение свай заводского изготовления</b>			
	Рекомендуется при дополнительном экономическом обосновании ( $J_i = 0,6-0,8$ ). При насыщенном свайном поле возможно разуплотнение массива грунта ( $\Delta J_i = -0,4$ )	Рекомендуется в сопровождении мониторинга при $N < 1000$ (1200) кН и $J_i = 0,4-0,6$ . Динамические воздействия на окружающую среду ( $\Delta J_i = -0,4$ )	Не рекомендуется ( $J_i = 0,2-0,4$ )	Рекомендуется $J_i = 0,6-0,8$ . В зависимости от параметров вибрационного режима возможно разуплотнение массива грунта ( $\Delta J_i = -0,4$ )



1	2	3	4	5
4 <sup>БН</sup>	<b>Изготовления набивных свай при погружении буровых труб с теряемым наконечником</b>			
	<p>Рекомендуется при <math>N &lt; 2500-3000</math> кН (<math>J_i = 0,8-1,0</math>). Возможны выпор и технологические смещения свай (<math>\Delta J_i = -0,2</math>). Происходит потеря сплошности ствола сваи при свободном сбросе пластичной бетонной смеси в трубу и длине сваи свыше 16–20 м в водонасыщенных грунтах (<math>\Delta J_i = -0,2-0,4</math>). При заглублении в плотные породы происходят образование шлама под наконечников или его «притирание» на торце трубы (<math>\Delta J_i = -0,4-0,6</math>)</p>	<p>Рекомендуется в сочетании с мониторингом при (<math>J_i = 0,6-0,8</math>). При работе в условиях примыкания к конструкциям возможен их технологический подъем (<math>\Delta J_i = -0,4</math>). При ударном и вибрационном режимах заглубления – ограничение в применении (<math>J_i = 0,2-0,4</math>). Осуществляют погружение в лидерные скважины в условиях примыкания к существующим конструкциям для снижения значений их технологических осадок (<math>\Delta J_i &gt; 0,4</math>)</p>	<p>Рекомендуется при <math>m_{ПЛ} \leq 3-5</math> м (<math>J_i = 0,9-1,0</math>). При <math>m_{ПЛ} &gt; 3-5</math> м применяют режим лидерного рыхления грунта: при <math>g_{ПЛ} &lt; 16</math> м (<math>J_i = 0,8</math>); при <math>g_{ПЛ} &gt; 16</math> м (<math>J_i = 0,6</math>)</p>	<p>Рекомендуется <math>J_i = 0,6-0,8</math></p>
5 <sup>БН</sup>	<b>Изготовления набивных свай вытеснения без теряемого наконечника</b>			
	<p>Рекомендуется при <math>N &lt; 2500-3000</math> кН (<math>J_i = 0,8-1,0</math>). Возможны выпор и технологические смещения свай (<math>\Delta J_i = -0,2-0,4</math>). Имеет место недопогружение каркаса длиной свыше 17 м (<math>\Delta J_i = -0,2</math>)</p>	<p>Рекомендуется в сочетании с мониторингом при <math>J_i = 0,6-0,8</math>. При работе в условиях примыкания к конструкциям возможен их технологический подъем (<math>\Delta J_i = -0,2-0,4</math>)</p>	<p>То же (<math>J_i = 0,8-1,0</math>)</p>	<p>То же (<math>J_i = 0,8</math>)</p>
6 <sup>БН</sup>	<b>Изготовление буровых свай проходными шнеками, шнеками с двойным вращением, а также в обсадной трубе</b>			
	<p>Рекомендуется при <math>N &lt; 2500-3000</math> кН и <math>J_i = 0,8-1,0</math></p>	<p>Ограниченное применение. Рекомендуется совместно с мониторингом при <math>J_i = 0,6-0,8</math>. При работе в условиях примыкания к конструкциям в слабых водонасыщенных породах возможны перебор и просадки поверхности грунта и их технологический подъем (<math>\Delta J_i = -0,4-0,6</math>)</p>	<p>Рекомендуется в зависимости от прочности характеристик грунта (<math>J_i = 0,8-1,0</math>)</p>	<p>См. столбец 1</p>

1	2	3	4	5
7 <sup>БН</sup>	Изготовление <b>буровых</b> свай (диаметром 150–400 мм) короткими проходными шнеками (длиной 2 м) с уменьшенной высотой реборды. Возможен режим с подачей в скважины бурового глинистого раствора			
	Рекомендуется при $N < 1200$ кН ( $J_i = 0,4–0,6$ ). Относительно небольшая сменная производительность ( $\Delta J_i = -0,4–0,6$ )	Рекомендуется в сочетании с мониторингом в стесненных условиях, а также в качестве создания защитных экранов ( $J_i = 0,8–1,0$ ). При обосновании параметров бурового раствора требуются минимальные технологические осадки ( $\Delta J_i > 0,4$ )	$J_i = 0,6–0,8$	$J_i = 0,8–1,0$
8 <sup>БН</sup>	Изготовление <b>буровых</b> свай под защитой обсадных труб диаметром свыше 600 мм			
	Рекомендуется при $N > 3000$ кН ( $J_i = 0,8–1,0$ ). В водонасыщенных грунтах отмечается снижение несущей поверхности под пятой сваи, вызванное шламообразованием на забое, размывом бетонной смеси и т. п. ( $\Delta J_i = -0,4–0,6$ )	Рекомендуется в сопровождении мониторинга при $J_i = 0,4–0,6$ . Возможен перебор грунта из обсадных труб и напорном действии на забое грунтовых вод ( $\Delta J_i = -0,4–0,6$ )	В зависимости от расчетных нагрузок на элемент $J_i = 0,35–1,0$	Рекомендуется при использовании бетонных смесей на гравии с осадкой конуса от 3 до 6 см, на щебне – от 6 до 9 см, которые уплотняются вибраторами, прикрепленными на нижнем торце бетонолитной трубы – ВПТ (ВНИИГС); $J_i = 1,0$
9 <sup>ЦН</sup>	Изготовление свай посредством высоконапорной струйной цементации			
	Режим эффективен для укрепления грунта, создания противодиффузионных завес и элементов ограждений котлована ( $J_i = 0,4–0,6$ )	При размыве грунта из-под существующего фундамента возможные его просадки ( $\Delta J_i = -0,6–0,8$ ). Рекомендуется применять только в комбинации с другими режимами	$J_i = 0,8–1,0$	$J_i = 0,4–0,6$

*Примечания:*

1.  $N$  – расчетная нагрузка на свайный элемент, кН;  $m_{пл}$ ,  $г_{пл}$  – соответственно мощность и глубина залегания кровли плотных грунтов, м;  $\Delta J_i$  – значения изменения критерия технологичности при оптимизации различных факторов, входящих в его структуру.

2. Все работы по устройству фундаментов в селитебных зонах в непосредственной близости (20–30 м) от существующих зданий и сооружений следует производить в сопровождении геотехнического мониторинга, служащего для уточнения значений параметров с минимальными технологическими осадками.

Данные, представленные в таблице 3.5, позволяют выполнить оптимизацию конструктивно-технологических параметров для различных способов производства работ и различных факторов, действующих на строительных площадках как в условиях городской застройки, так и вне ее. Проведенная в подразделе аналитическая модель позволяет избежать дополнительных затрат, вызванных как снижением качества работ, так и устранением деформаций конструкций зданий и сооружений, обусловленных необоснованно выбранными режимами работ.

Пример такого анализа проектных решений и расчеты экономической эффективности предлагаемых автором технических решений приведены в главе 6.

### 3.5. Выводы по третьей главе

В этой главе сформирован комплексный научный подход решения многокритериальных задач обоснования выбора технологических параметров современных способов погружения и изготовления свай, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств, а также в геологических разрезах с напластованиями слабых грунтов и условиях стесненной застройки.

1. На основе анализа построенных посредством программного комплекса кривых изменения критериев технологичности обоснованы области применения современных способов устройства свайных фундаментов в зависимости от удаления участка строительства от окружающей застройки. В результате получены ранжированные ряды эффективности применения таких способов в условиях строительства в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений:

- буровая технология с промывкой ствола скважин глинистым раствором ( $J_i = 0,88$ );
- вдавливание свай заводского изготовления в предварительно пробуренные скважины ( $J_i = 0,85$ );
- набивные технологии без извлечения грунта с теряемым башмаком и сваи вытеснения, погружаемые в предварительно разрыхленный грунт ( $J_i = 0,80$ );
- вдавливание свай заводского изготовления в целик ( $J_i = 0,75$ );
- набивные технологии без извлечения грунта с теряемым башмаком и сваи вытеснения ( $J_i = 0,71$ );
- буровая технология с образованием скважины двойным вращением элементов ( $J_i = 0,61$ );
- то же, проходными шнеками ( $J_i = 0,45$ );
- то же, в обсадных трубах (диаметром свыше 600 мм) с удалением грунта буровым инструментом ( $J_i = 0,35$ ).

2. Посредством анализа значений критериев технологичности обоснованы рациональные области применения способов устройства свайных элементов в геологических разрезах с преобладающими напластованиями слабых водонасыщенных грунтов. В результате обоснована эффективность использования следующих способов: с погружением элементов заводского изготовления ( $J_i = 0,82–0,88$ ); изготовление набивных элементов с бетонированием их стволов посредством жестких бетонных смесей ( $J_i = 0,70–0,75$ ). В таких условиях изготовление свай буровым способом с извлечением грунта на поверхность менее эффективно ( $J_i = 0,4–0,52$ ); при этом наиболее рационален режим устройства свай под защитой глинистого раствора ( $J_i = 0,68$ ). Получены закономерности изменения показателей обеспечения сплошности ствола свай в зависимости от технологии обеспечения устойчивости стенок скважины и режимов извлечения грунта на поверхность.

3. С учетом такого подхода обоснованы граничные условия применения способов для следующих факторов:

- в зависимости от расчетных нагрузок, передаваемых на элемент при их значениях свыше 2000 кН, эффективны способы изготовления набивных свай ( $J_i = 0,98$ ), буровых свай проходными шнеками ( $J_i = 0,97$ ) и в обсадных трубах большого диаметра ( $J_i = 0,50$ );

- для длины свай в грунте свыше 28–30 м эффективны следующие способы: с применением свай заводского изготовления ( $J_i = 0,8–0,95$ ); изготовление набивных свай типа «фундекс» ( $J_i = 1,0$ ); то же в обсадных трубах ( $J_i = 0,3–0,7$ ); наконец, способы с использованием траншейных свай, эффективность применения которых проявляется при длине свыше 40 м ( $J_i = 0,60–0,70$ ).

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

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

- увеличение в слоях плотных грунтов усилия вдавливания до значения, равного несущей способности сваи в интервале погружения, а также уменьшение скорости вдавливания  $v$  до минимального значения согласно выражению  $v = n(F_{вд} - F_d) / F_d$ , где  $n = 0,4-0,9$  – опытный коэффициент;
- приложение к элементу вращательных колебаний, при котором обеспечивается его целостность при обоснованных вибрационных параметрах: частоте колебаний 600 кол./мин и амплитуде 12–20 мм.

## **Глава 4. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ**

### **4.1. Исследование областей применения различных способов устройства ограждений котлованов и их креплений на основании значений критерия технологичности**

При устройстве фундаментов современных зданий и сооружений следует решать проблемы устройства специальных ограждающих конструкций котлованов, глубина которых может достигать 15–20 м [32, 53, 58, 61–64, 77, 90, 108, 118, 124, 133, 148]. Такие конструкции должны служить водогрунтонепроницаемой преградой при высоком уровне грунтовых вод, иметь достаточную жесткость для восприятия давления прилегающего массива грунта и временных нагрузок, возникающих от движения строительной техники, площадок складирования и т. п. Аналогичные проблемы возникают и при возведении сооружений различного назначения и устройстве водонепроницаемых ограждений на акватории для производства работ насухо в котлованах. Их устройство приводит к изменению напряженно-деформируемого состояния грунта, просадкам его поверхности и деформациям существующих конструкций зданий, прилегающих к строительной площадке. В таких условиях необходимо предусматривать специальные системы креплений для ограничения горизонтальных перемещений ограждений котлованов в виде распорных конструкций, анкерных креплений, элементов перекрытий и т. п. [32].

Как было показано автором ранее, для таких задач многокритериальной оценки способов следует применять методические подходы расчета значений критерия технологичности на основе представленного в главе 2 алгоритма. Кроме того, при оптимизации параметров способов устройства ограждений котлованов и систем их креплений такая задача будет сводиться к поиску экстремума значения такого критерия  $J_i$ , как целевой функции.

Причем поставленная задача должна быть выполнена через нахождение функционала (1.8) при известных нормализованных значениях простых показателей и их коэффициентов весомости. Решение этого уравнения должно учитывать критерии воздействия системы на окружающую среду, показатели качества устраиваемых элементы в грунте, стоимостные затраты при оценке различных ресурсов, а также развитие системы технологических показателей во времени.

При этом автором обоснованы следующие направления оптимизации способов устройства ограждений котлованов:

1. *Достижение заделки ограждений в плотные слои грунта для обеспечения устойчивости их конструктивных элементов.*

2. *Обеспечение грунто- и водонепроницаемости, устойчивости ограждения для достижения возможности успешного проведения работ по устройству подземных конструкций.* При возведении оградительных конструкций на акваториях вопросы устройства водонепроницаемых ограждений для производства работ насухо в котлованах приобретают особую значимость. Вместе с тем при устройстве ограждений из элементов заводской готовности необходимо обосновать их параметры повышения надежности возводимых ограждающих сооружений путем обеспечения вертикальности и соосности при погружении в плотные грунты дна для достижения необходимой водонепроницаемости их стыков.

При устройстве бетонируемых в грунте элементов необходимо обеспечить их устойчивость и исключить оползание грунта при разработке котлована [79].

3. При производстве работ на акваториях области оптимизации заключаются в *поиске рациональных конструктивно-технологических решений ограждающих конструкций, позволяющих минимизировать работы на акватории за счет индустриализации и интенсификации подготовительных операций, выполняемых на берегу, на заранее подготовленных стендах укрупнительной сборки [24, 47, 91, 103].*

4. *Снижение значений технологической осадки конструкций окружающей застройки,* под которой принято понимать дополнительное вертикальное перемещение фундаментов существующих зданий, полученное в процессе производ-



ства каких-либо строительных работ вблизи этих зданий [81, 136, 154]. При этом следует учитывать дополнительные факторы обеспечения биосферной (экологической) безопасности, включая промышленную безопасность в процессе производства работ, а также возможность размещения строительных машин и дополнительного оборудования на стесненных участках работ.

Как следствие, для инженерно-геологических условий, характеризующихся напластованиями слабых водонасыщенных грунтов, автором исследовались следующие технологии устройства ограждения котлованов (рисунок 4.1):

- погружение стального шпунта с устройством систем его крепления из систем горизонтальных стальных балок (рисунок 4.1, а);
- то же, с устройством за пределами котлована анкерных стен, к которым тяжами крепят само ограждение (рисунок 4.1, б);
- то же, с закреплением грунта в уровне дна котлована грунтоцементными диафрагмами (рисунок 4.1, в);
- то же, с изготовлением грунтовых анкеров (рисунок 4.1, г);
- то же, с системами креплений островным способом устройством грунтовых берм и креплений в элементы фундаментных плит (рисунок 4.1, д, е);
- изготовление буровых касательных свай с гидроизоляцией контактных зон между ними грунтоцементными шпонками. Их укрепляют горизонтальными стальными балками;
- то же, секущихся свай;
- устройство сплошных стен в грунте с креплениями в виде элементов монолитных перекрытий, устраиваемых по их контуру («сверху вниз» – top-down) (рисунок 4.1, ж, з);
- то же, с устройством сегментов монолитных перекрытий или горизонтальных ферм (semi-top-down); (рисунок 4.1. и);
- погружение опускаемых колодцев.

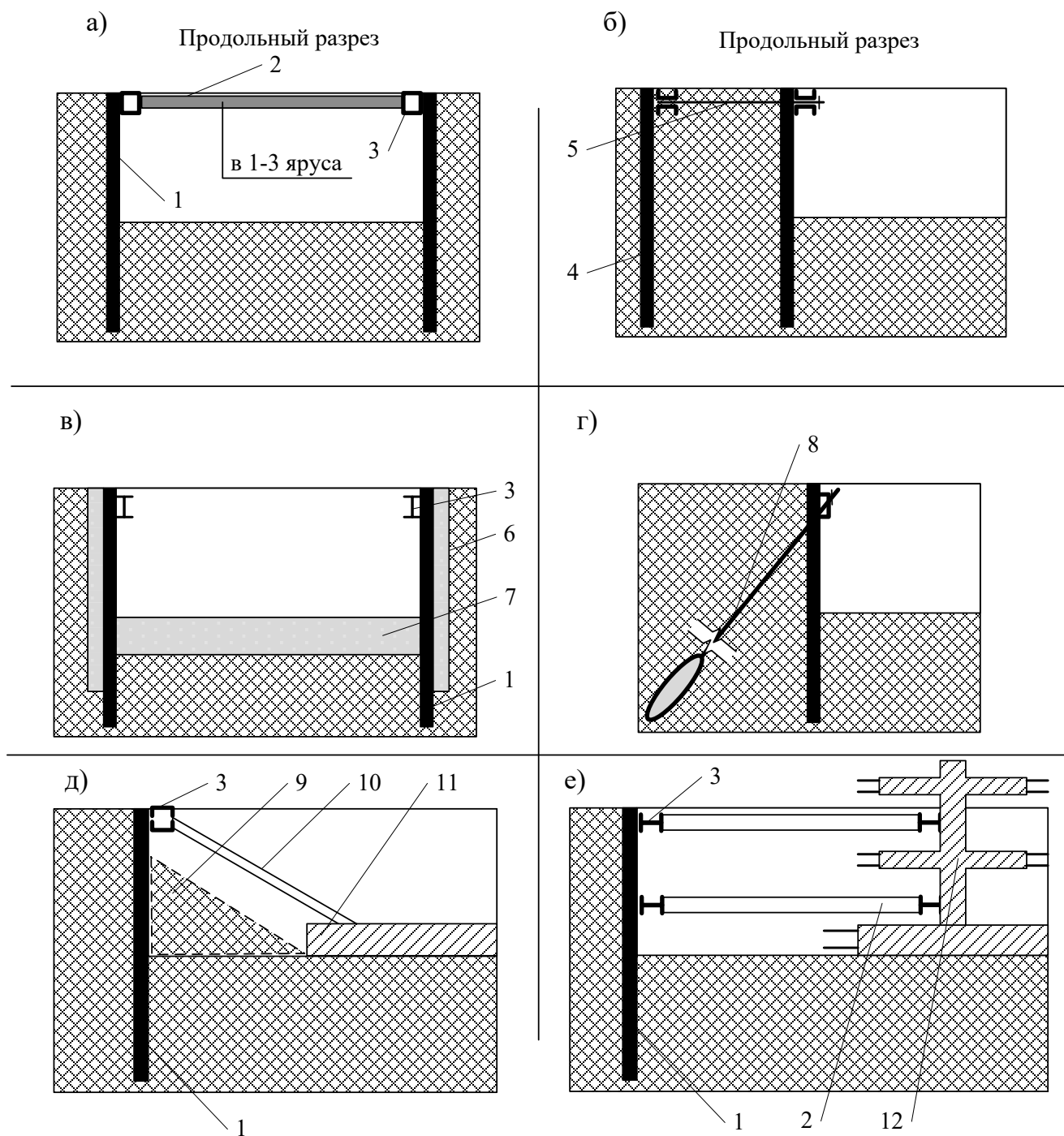


Рисунок 4.1, начало – Конструктивно-технологические схемы устройства ограждений котлованов: *а* – с горизонтальными креплениями стальными балками; *б* – с анкерными стенками из шпунта; *в* – с грунтоцементными диафрагмами; *г* – с грунтовыми анкерами; *д*, *е* – соответственно с грунтовыми бермами на этапе устройства котлована и возведения ограждений подземного этажа; 1 — элемент ограждения котлована; 2 – горизонтальные стальные балки; 3 – распределительный пояс (обвязочная балка); 4 – анкерная стенка из шпунта; 5 – стальные анкерные тяги; 6, 7 – вертикальный и горизонтальный грунтоцементный массив; 8 – грунтовый анкер; 9 – временная, грунтовая берма; 10 – стальной подкос; 11 – фундаментная плита; 12 – несущие конструкции подземного этажа

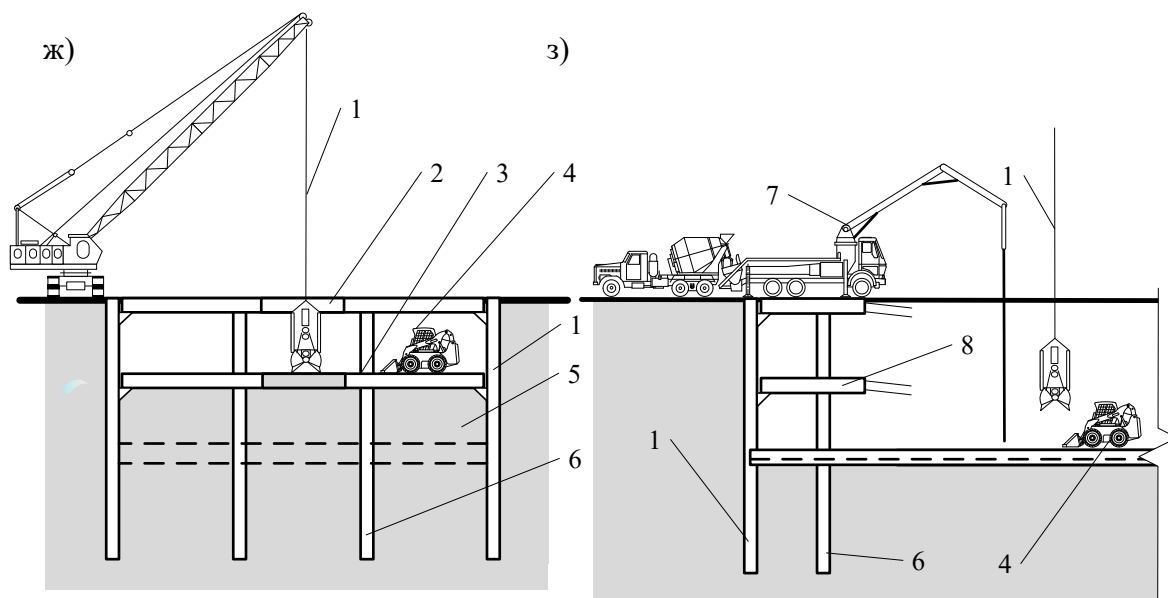


Рисунок 4.1, окончание – Конструктивно-технологические схемы устройства ограждений котлованов: *ж* – способ устройства подземных конструкций по технологии «сверху вниз»; *з* – то же, полузакрытый способ; 1 – кран с грейфером; 2 – технологический проем для извлечения грунта; 3 – перекрытие подземного уровня; 4 – экскаватор; 5 – подземный этаж; 6 – промежуточные сваи-колонны; 7 – бетононасос; 8 – сегменты перекрытий

На рисунке 4.2, *а* представлены исследования автора изменения критерия технологичности указанных систем в зависимости от глубины котлована, полученные на основании расчета, выполненного на основании разработанного программного комплекса.

На основе математической обработки графических зависимостей, представленных на рисунке 4.2, получены следующие выражениями:

- при устройстве ограждений котлованов из секущихся свай с их креплениями горизонтальными балками:

$$J_i = 1 / (1,11 + 0,11H_k - 0,01H_k^2); \quad (4.1)$$

- то же грунтовыми анкерами:

$$J_i = 0,7 - 0,08H_k + 0,004H_k^2; \quad (4.2)$$

- при устройстве стен в грунте и перекрытий по технологии top-down:

$$J_i = 1 / (30,10 - 2,53H_k + 0,05H_k^2); \quad (4.3)$$

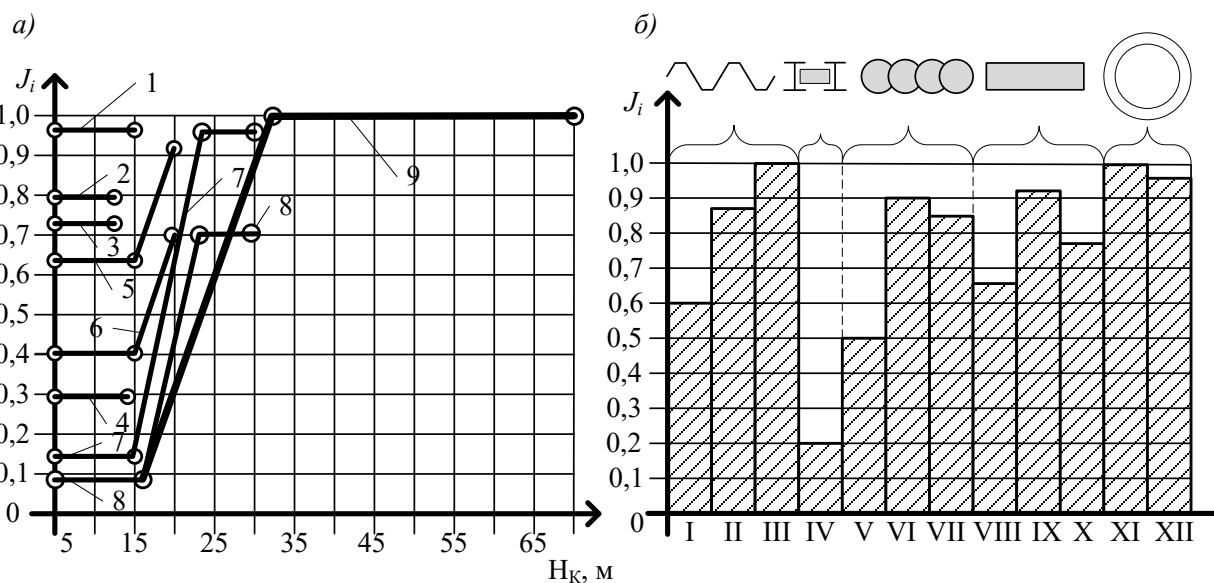


Рисунок 4.2 – Изменение критерия технологичности различных способов устройства ограждений котлованов: *а, б* – соответственно в зависимости от глубины котлована и в условиях производства работ в геологических разрезах с напластованиями слабых водонасыщенных грунтов; 1, 2 – соответственно способы погружения стального шпунта с его креплением горизонтальными стальными балками; закрепления грунта в уровне дна котлована грунтоцементными диафрагмами; 3 – островной способ с грунтовыми бермами; 4 – изготовление буровых касательных свай с грунтоцементными шпонками; 5, 6 – изготовление секущихся свай соответственно с горизонтальными балками и грунтовыми анкерами; 7, 8 – устройство сплошных стен в грунте с их креплениями в виде соответственно сегментов и сплошных перекрытий; 9 – погружение опускаемых колодцев. I–III – погружение стального шпунта соответственно забивкой, вибрационными машинами и вдавливанием; IV – погружение стальных профилей с заполнением забирки деревянными щитами; V–VII – изготовление соответственно касательных свай с дополнительной гидроизоляцией контактных зон и секущихся свай; VIII–X – устройство монолитных стен в грунте соответственно фрезами, грейферами и из грунтоцементных диафрагм; XI–XII – погружение соответственно монолитных и сборных колодцев.  $H_k$  – глубина котлована;  $J_i$  – критерий технологичности

- то же, semi-top-down:

$$J_i = 1 / (47,09 - 3,93H_k + 0,08H_k^2); \quad (4.4)$$

- при погружении опускаемого колодца:

$$J_i = 0,092e^{0,06H_k}. \quad (4.5)$$

Из анализа графиков, представленных на рисунке 4.2, а, следует, что для глубин устраиваемых котлованов до 10–15 м эффективным решением является устройство его ограждений с применением стального шпунта с учетом его последующего извлечения. Если принять во внимание показатели производственной и экономической составляющей, то наиболее рационально использовать крепление ограждения многоярусными системами стальных горизонтальных балок ( $J_i = 0,95$ ). Для диапазонов глубин котлованов 15–20 м эффективным решением становится способ устройства ограждений из сплошных стен в грунте. В таких условиях подземный объем зданий разрабатывается по технологии «сверху вниз». Как показывают расчеты критерия технологичности, для технологии с полным устройством перекрытий по критерию технико-экономических показателей для таких условий становится эффективным решение устройства опускных колодцев. При этом необходимо, чтобы подземная часть сооружений позволяла устраивать объемы цилиндрической формы: опыт возведения таких конструкций в мировой практике уже имеется (см. подраздел 4.4).

Результаты расчетов критерия технологичности для способов устройства ограждений котлованов при производстве работ в геологических разрезах с напластованиями слабых водонасыщенных грунтов представлены на рисунке 4.2, б.

С учетом показателей обеспечения устойчивости ограждений и их водонепроницаемости, способы можно расположить согласно убыванию значения критерия технологичности:

- Максимальные значения критерия  $J_i = 0,9–1,0$  для режимов вдавливания стального шпунта, изготовления буровых касательных свай с цементными шпонками; устройство монолитных стен в грунте грейферами и погружение монолитных стен колодцев.
- Значения критерия  $J_i = 0,6–0,9$  получены для способов забивки стального шпунта, причем снижение критерия вызвано динамическими воздействиями, распространяющимися в массиве грунта и приводящими к нарушению его бокового сопротивления, а также характерными «завалами» шпунта с потерей его водоне-

проницаемости. К этой же группе отнесены способы устройства ограждений котлованов из стен в грунте, выполняемых из секущихся и грунтоцементных свай, а также сплошных элементов, изготавливаемых гидравлическими фрезами.

- Наименьшие значения критерия технологичности ( $J_i < 0,6$ ) получены для способов устройства ограждений при погружении стальных элементов с заполнением забирки между ними, а также при изготовлении касательных буронабивных свай.

При устройстве ограждений котлованов в геологических разрезах, верхняя толща которых сложена тиксотропными водонасыщенными грунтами глубиной свыше 3 м, необходимо дополнительно устраивать их крепления в целях обеспечения устойчивости и исключения горизонтальных смещений. Такие смещения приводят к развитию недопустимых деформаций конструкций, прилегающих к территории строительства зданий и сооружений.

В этой связи для решения задач определения рациональных областей их применения автором были исследованы изменения критерия технологичности в зависимости от глубины котлована для систем креплений, выполняемых с применением элементов заводской готовности. Результаты таких расчетов приведены на рисунке 4.3.

На основании соответствующей обработки графиков, представленных на рисунке 4.3, получены следующие формулы, позволяющие определить значения критерия технологичности:

- при устройстве креплений ограждений котлованов из стальных подкосов:
- $$J_i = 0,90 - 0,22H_k; \quad (4.6)$$

- то же, горизонтальными балками:
- $$J_i = 0,63 + 0,22H_k + 0,002H_k^2; \quad (4.7)$$

- то же, с грунтовыми бермами:
- $$J_i = 0,77 + 0,03 H_k - 0,005H_k^2; \quad (4.8)$$

- то же, с устройством дополнительных анкерных стен:
- $$J_i = 0,43 + 0,19 H_k + 0,02H_k^2. \quad (4.9)$$

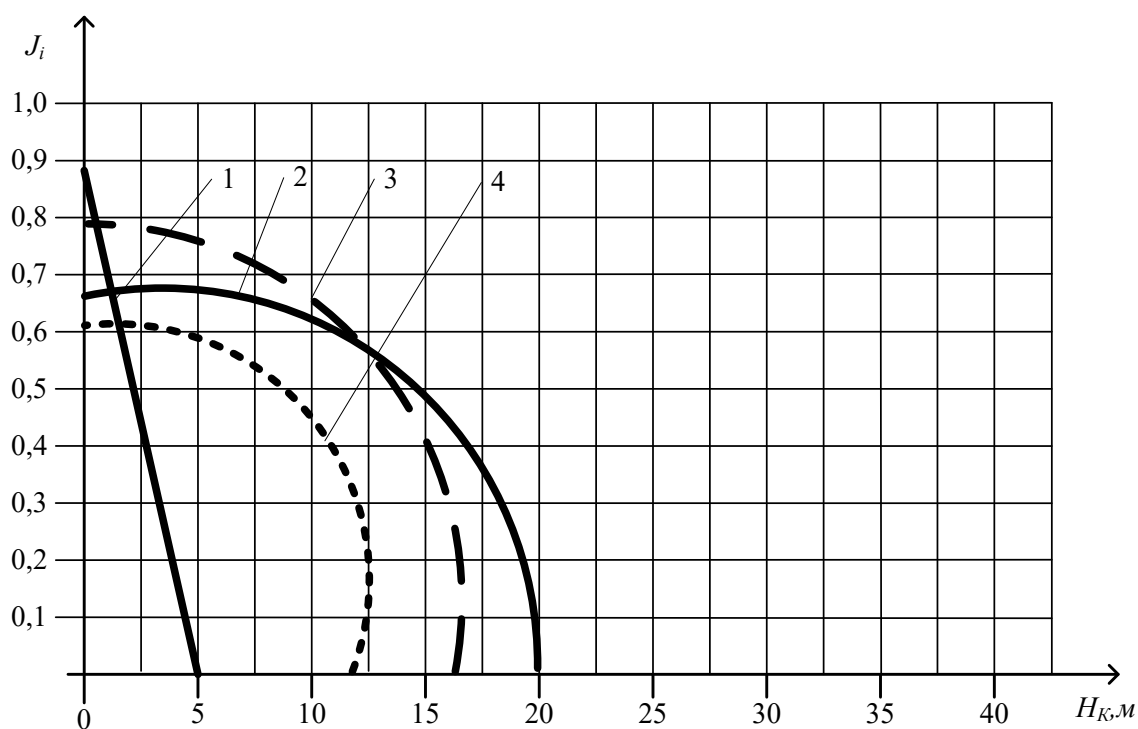


Рисунок 4.3 – Изменение критерия технологичности систем креплений ограждений, выполняемых из готовых элементов, в зависимости от глубины разрабатываемых котлованов: 1 – подкосы, изготавливаемые из стальных элементов, устанавливаемые внутри котлована и закрепляемые на его дне в анкерные сваи; 2 – с применением горизонтальных распорных балок; 3 – «островной способ» с грунтовыми бермами; 4 – устройство анкерных стен

Анализ графиков, представленных на рисунке 4.3, позволяет определить области применения систем крепления ограждений котлованов и расположить их следующим способом в порядке убывания эффективности – значений критерия технологичности:

- Способы установки элементы подкосов, эффективные при глубине котлована до 5 м ( $J_i = 0,9-1,0$ ). Они обладают минимальными значениями затрат, но по таким показателям качества, как обеспечение устойчивости ограждения для больших глубин котлованов, неэффективны;
- «Островной способ», при котором вдоль ограждения оставляются грунтовые целики – бермы, а ограждение в процессе работ закрепляют посредством стальных подкосов, опираемых в элементы фундаментных плит. Он характеризуется минимальными показателями металлоемкости (0,44 т/м при максимальном значении 1 т/м), но и снижением показателей обеспечения устойчивости ограждения при глубине котлована свыше 10 м ( $J_i = 0,8-0,6$ );

- Устройство горизонтальных распорных стальных балок при их многорядной установке. Их применяют до глубины 20 м со значениями критерия технологичности от 0,6 до 0,75. Снижение значения критерия обусловлено значительной металлоемкостью способа (0,87 т/м при однорядной системе установки балок на промежуточных стойках) и ограничениями площадей для дальнейшего производства работ при установке в пределах площади котлована ( $J_i = 0,7-0,6$ ).

- Устройство за пределами котлована дополнительных анкерных стен (преимущественно из шпунта, к которым тяжами присоединяют ограждение). У этого способа максимальные показатели металлоемкости (1 т/м) при использовании стального шпунта ( $J_i = 0,6-0,5$ ).

На рисунке 4.4 представлены аналогичные зависимости, построенные автором для систем креплений, изготавливаемых в условиях строительных площадок.

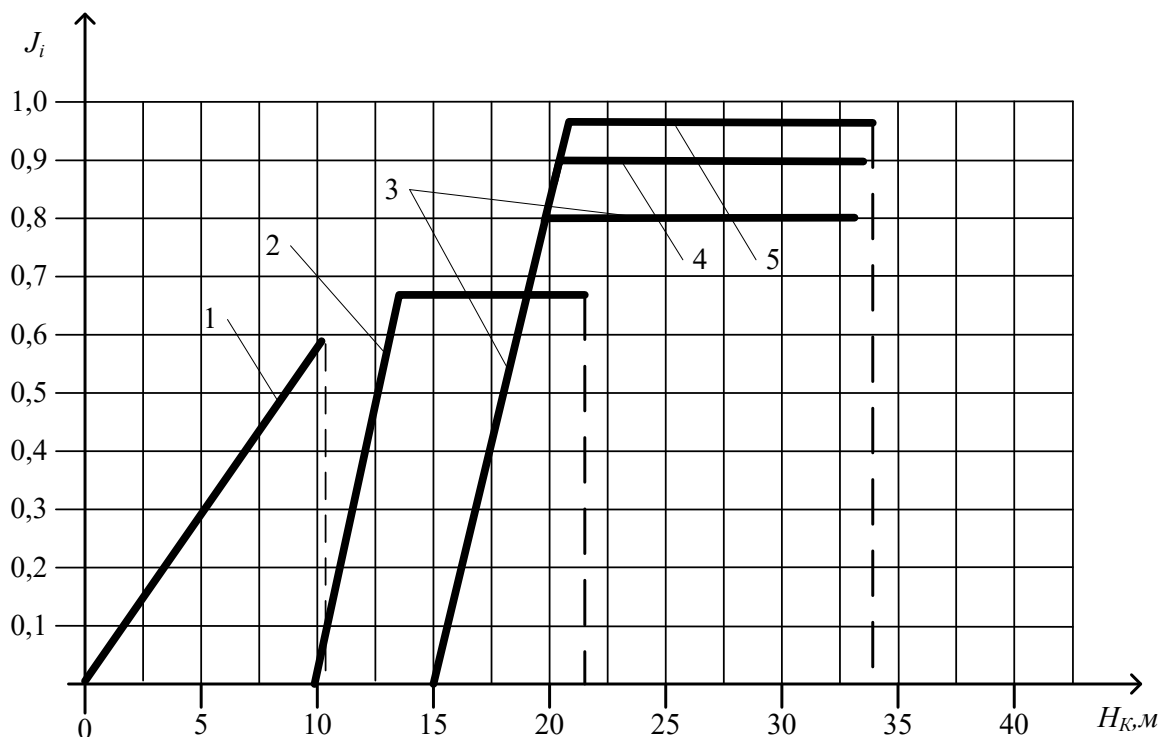


Рисунок 4.4 – Изменение критерия технологичности ограждений котлованов, выполняемых в условиях строительных площадок: 1 – цементация грунта в уровне дна котлована; 2 – устройство грунтовых анкеров (преимущественно в 1–3 яруса); 3 – способ «сверху вниз»; 4 – то же, с бетонированием сегментов перекрытий по контуру ограждения; 5 – то же, с применением горизонтальных ферм



В результате статической обработки зависимостей, представленных на рисунке 4.4, автором были получены следующие уравнения:

- при цементации грунта:

$$J_i = 0,04 + 0,05H_k; \quad (4.10)$$

- при устройстве грунтовых анкеров:

$$J_i = -3,63 + 0,52H_k - 0,01H_k^2; \quad (4.11)$$

- для способа top-down:

$$J_i = -4,47 + 0,43H_k - 0,008H_k^2; \quad (4.12)$$

- то же, semi-top-down:

$$J_i = -5,12 + 0,49H_k - 0,009H_k^2, \quad (4.13)$$

- при устройстве креплений из горизонтальных ферм:

$$J_i = -5,77 + 0,55H_k - 0,01H_k^2. \quad (4.14)$$

Характер представленных на рисунке 4.4 позволил автору установить, что для систем креплений ограждений котлованов, выполняемых в условиях строительных площадок, до глубин до 10 м применяют способы устройства грунтоцементных диафрагм в уровне дна котлована и в пределах глубины погружения ограждения ( $J_i = 0,4-0,6$ ). Ограничения этого способа обусловлены характерными для него значительными затратами и возникновением дополнительных технологических осадок территории, прилегающей к котловану, а также нарушением структуры грунта в результате его струйной цементации [76].

Для глубин котлованов 5–20 м традиционно применяют устройство грунтовых анкеров ( $J_i = 0,6-0,7$ ). Способ позволяет освободить участок в пределах контура ограждения для дальнейших работ. Ограничения данного способа связаны с возникновением дополнительных технологических осадок конструкций фундаментов зданий и сооружений, под основанием которых устраивают элементы анкеров [80, 135, 153].

При глубине залегания подземных сооружения свыше 15 м применяют следующие способы: с устройством монолитных перекрытий – «сверху вниз» ( $J_i = 0,6-0,8$ ); с изготовлением их сегментов – semi-top-down ( $J_i = 0,8-0,9$ ); с изготовлением в качестве перекрытий горизонтальных ферм ( $J_i = 0,9-1,0$ ). Получен-

ные результаты значения критерия технологичности показывают, что его значения возрастают при увеличении площадей технологических отверстий для извлечения грунта, что также приводит к снижению трудозатрат. Следует отметить, что для этих способов получены максимальные значения обобщенных критериев качества при минимальных горизонтальных смещениях ограждения, а также максимальные значения трудозатрат при извлечении грунта из технологических отверстий перекрытий. Последнее обстоятельство не позволяет использовать высокопроизводительные строительные машины.

Исследования критерия технологичности перечисленных способов креплений ограждения в зависимости от ширины котлованов приведены на рисунке 4.5.

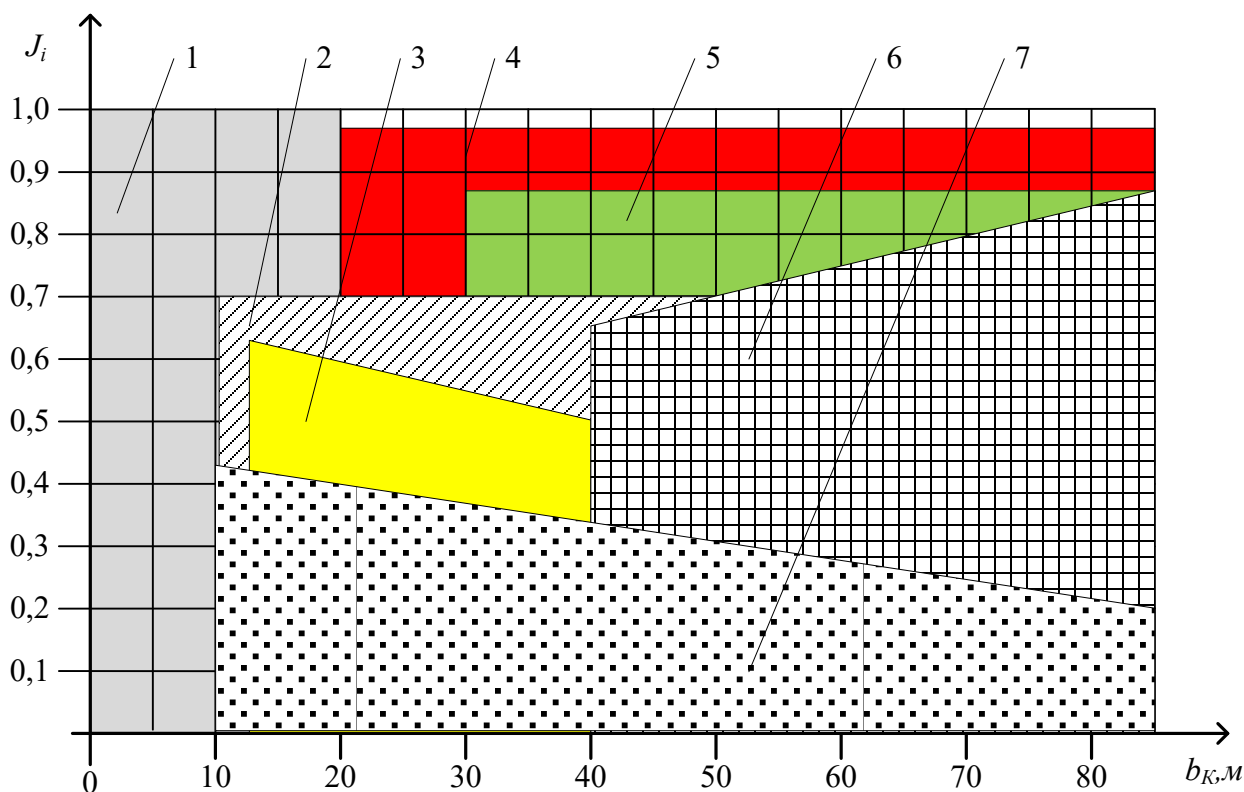


Рисунок 4.5 – Изменение критерия технологичности устройства различных систем креплений ограждений в зависимости от ширины котлованов ( $b_k$ ): 1 – устраиваемые из стальных элементов (подкосов и распорок); 2 – с изготовлением грунтовых анкеров; 3 – с устройством монолитных перекрытий «сверху вниз»; 4 – с анкерными стенами и «островной способ» с грунтовыми бермами; 5 – с устройством сегментов монолитных перекрытий или горизонтальных ферм; 6 – применение Т-образных элементов – контрфорсов на поверхности стен в грунте; 7 – создание в уровне дна котлована грунтоцементных диафрагм

Представленные на рисунке 4.5 графические зависимости описываются следующими уравнениями:

- с устройством монолитных перекрытий «сверху вниз»:

$$J_i = 0,68 - 0,0045b_{\text{к}}; \quad (4.15)$$

- с устройством контрфорсов по поверхности стен в грунте:

$$J_i = 0,464 + 0,0048b_{\text{к}}; \quad (4.16)$$

- с устройством грунтоцементных диафрагм:

$$J_i = 0,46 - 0,004b_{\text{к}}. \quad (4.17)$$

Зависимости, представленные на рисунке 4.5, были получены автором ввиду их практической значимости для целей освоения подземных пространств различного назначения в условиях городской застройки: при создании заглубленных объемов многоэтажных и высотных зданий, торговых комплексов, транспортных терминалов, дорожных развязок и т. п. Их размеры в плановом положении могут превышать 40–50 м. На основе анализа результатов проведенных расчетов критериев технологичности автором получены следующие выводы.

При ширине до 20 м эффективно применять системы креплений, монтируемых из преимущественно стальных элементов в виде подкосов и распоров ( $J_i = 0,9-1,0$ ). Однако, как следует из зависимостей, представленных на рисунке 4.3, их применение ограничено глубиной выполняемых котлованов. Таким образом, их применение для поставленной задачи неэффективно и может использоваться только в комбинации с другими способами.

При размерах котлованов свыше 20 м рациональные области применения указанных способов распределяются следующим образом:

- *Устройство за пределами котлована дополнительных анкерных стен и «островной способ» с грунтовыми бермами ( $J_i = 0,9$ ).* Причем в геологических разрезах с напластованиями слабых водонасыщенных грунтов наблюдают процессы потери устойчивости грунтовых берм, что приводит к смещениям ограждений котлованов. Для таких условий значения критерия следует принимать  $J_i = 0,6-0,4$ .

- *Изготовление сегментов монолитных перекрытий или горизонтальных ферм (semi-top-down) ( $J_i = 0,85$ ).* Такое решение применяют преимущественно в комбинации с траншейными монолитными стенами в грунте.

- *Установка грунтовых анкеров ( $J_i = 0,7$ ).* Этот способ рационально применять для территорий, в пределах активных зон которых расположены здания или сооружения, а также подземные инженерные коммуникации. Как уже отмечалось выше, реализация технологии без дополнительного обоснования режимов может привести к их технологическим осадкам.

- *Применение T-образных элементов – контрфорсов, устраиваемых на внутренней поверхности монолитных стен в грунте ( $J_i = 0,6–0,9$ ).* Следует отметить что это решение имеет достаточные параметры жесткости (7998–12 970,  $EI/1000$  кН · м<sup>2</sup>/м при ширине ограждения 0,8 м, размерах контрфорсов в плане 0,8×2,5 м и шаге 6,6 и 3,3 м) для устройства подземных сооружений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга 20 м [116, 149].

- *Устройство монолитных перекрытий «сверху вниз» до значений размеров котлованов 30–40 м ( $J_i = 0,6–0,5$ ).* При габаритных размерах, в плановом положении превышающих значения 20 м, необходимо устройство дополнительных свай колонн, служащих для опирания дисков перекрытий. Такие элементы выполняют либо из траншейных свай-баррет, либо из традиционных буронабивных свай диаметром свыше 800 мм. Это приводит к дополнительным затратам и снижает эффективность способа.

- *Создание в уровне дна котлована грунтоцементных диафрагм ( $J_i = 0,4–0,2$ ).* Относительно малые значения критерия технологичности обусловлены повышенными значениями затрат. Существует положительный опыт их применения в комбинации с анкерными стенами из стального шпунта для создания «жесткого контура» по периметру основного котлована [147–150] при глубине котлована 8,7–10,7 м и размерах в плановом положении 88,0×41,8 м до глубины 20 м.

Анализ зависимостей, представленных на рисунках 4.3–4.5, позволяет говорить о широком спектре областей применения современных систем крепления ограждений котлованов. Причем, учитывая присущие им преимущества, реали-

зующиеся в различных инженерно-геологических, рационально применять их комбинированные варианты. Например, выполняют системы крепления ограждения из горизонтальных распорных систем с созданием в уровне дна котлована грунтоцементной диафрагмы. В этой связи автором по показателям стоимости работ, трудозатрат и возможности выполнения работ в стесненных условиях был выполнен расчет критериев технологичности возможной комбинации указанных систем. Результаты расчета приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета критериев технологичности для способов устройства комбинированных систем креплений ограждений котлованов

Наименование способа крепления ограждения котлована	Значения критерия технологичности при совмещении с предлагаемыми способами								
	Цементация грунта	Распорные стальные балки	Грунтовые анкеры	Анкерные стенки	Грунтовыми бермами и подкосами	Способ «сверху-вниз»	Semi-top-down	С контрфорсными элементами	Итого
1. Создание грунтоцементных диафрагм в пределах ограждений	/	0,30	0,28	0,26	0,07	0,01	0,01	0,07	<b>1</b>
2. Распорными горизонтальн. балками	0,20	/	0,30	0,37	0,1	0,01	0,01	0,01	<b>1</b>
3. Грунтовыми анкерами	0,18	0,30	/	0,01	0,24	0,01	0,01	0,25	<b>1</b>
4. Анкерными стенками	0,24	0,37	0,01	/	0,35	0,01	0,01	0,01	<b>1</b>
5. Грунтовыми бермами и подкосами	0,07	0,10	0,24	0,42	/	0,01	0,01	0,15	<b>1</b>
6. С устройством монолитных перекрытий способом «сверху вниз»	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	/	0,94	0,01	<b>1</b>
7. То же, их сегментов	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,35	/	0,60	<b>1</b>
8. С контрфорсными элементами на стене в грунте	0,07	0,01	0,25	0,01	0,15	0,01	0,50	/	<b>1</b>

Полученные результаты позволяют применять полученные значения при обосновании целесообразности совместного использования различных способов устройства систем креплений ограждений котлованов. Возможность их комбинации определяется показателями стесненности территории в пределах ограждения как котлована, так и строительной площадки в целом. При этом следует учитывать, в каких именно соотношениях такие системы занимают площади внутри

контура ограждения котлована, снижая тем самым производительность при возведении заглубленных несущих конструкций.

В этой связи при совместном рассмотрении графических зависимостей рисунка 4.5 и значений критериев технологичности, приведенных в таблице 4.1, указанные способы можно расположить в следующем порядке согласно убыванию их эффективности при совмещении с другими конструктивно-технологическими решениями крепления ограждений котлованов:

- устройство анкерных стен с креплением к ним основного ограждения котлована;
- то же, грунтовых анкеров;
- сохранение грунтовых берм по периметру ограждения и установка подкосов;
- установка горизонтальных распорных балок;
- изготовление контрфорсных элементов на ограждении типа «стена в грунте»;
- то же, с сегментами монолитных перекрытий по периметру котлована;
- создание в уровне дна котлована грунтоцементных диафрагм.

При выборе одного из указанных технологических решений для конкретных условий работ следует в расчетах по методике, приведенной в подразделе 1.5, дополнительно учитывать факторы обеспечения минимальных смещений ограждений, стоимости работ и показателей стесненности строительной площадки.

Представленные в указанном подразделе материалы показывают практическую значимость использования методики расчета критерия технологичности при определении рациональных областей применения различных способов устройства ограждений котлованов и систем их крепления.

В следующих подразделах этой главы будет показано, как именно полученные результаты были использованы автором для оптимизации различных конструктивно-технологических параметров устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и на акваториях.

## 4.2. Совершенствование способов устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки при необходимости заглубления шпунта в слой плотного грунта

На основе расчетов критерия  $J_i$  установлена высокая эффективность устройства ограждений котлованов при погружении стального шпунта. Значение критерия при его извлечении и повторном использовании равно 1,00.

Кроме того, современное вибрационное оборудование устанавливают на различных строительных машинах, что делает способ универсальным для решения любых задач, возникающих при производстве специальных работ в грунтах. В рамках этих задач были получены следующие значения критериев технологичности [32, 43, 53]:

1. Забивка шпунта ударным способом при установке молота на копре:  $J_i = 0,64$ . В городской черте способ не применяют; кроме того, при погружении наблюдают деформации шпунтовой стенки.
2. То же, на крюке крана:  $J_i = 0,99$ . Данный способ применяют преимущественно в гидротехническом строительстве.
3. Вдавливание шпунта установкой, смонтированной на базе гидравлического экскаватора:  $J_i = 0,33$ .
4. То же, стационарной установкой, переставляемой краном:  $J_i = 0,46$ .
5. То же, установкой вдавливания переставляемой краном:  $J_i = 0,43$ .
6. То же, с шагающим ходовым оборудованием:  $J_i = 0,42$ .
7. То же, закрепляемой на торце шпунтового ряда установкой:  $J_i = 0,57$ .
8. То же, вдавливающей системой из четырех-пяти гидроцилиндров, смонтированной и перемещаемой по мачте буровой установки:  $J_i = 0,45$ .
9. Вибрационное погружение агрегатом, установленным на рукояти гидравлического экскаватора:  $J_i = 0,80$ .
10. То же, на крюке крана:  $J_i = 0,79$ .
11. То же, установленным на мачте буровой установки или копра:  $J_i = 0,57$ .

Исходя из анализа полученных результатов были определены эффективные способы погружения стального шпунта в условиях плотной городской застройки, для которых действуют требования сокращения интенсивности динамических воздействий, распространяющихся в грунте.

В результате на основе значений критерия технологичности были доказаны преимущества вибрационного способа погружения (извлечения) стального шпунта, «позволяющего повысить производительность труда почти в 2 раза по сравнению со способом вдавливания, обеспечить сохранность шпунта при погружении и его повторное использование после извлечения, что значительно сокращает расход металла при устройстве шпунтовых ограждений» [53, с. 233]. Кроме того, подтверждены следующие эффективные режимы работы вибротехнических средств [53, с. 236]:

- применение вибровозбудителей с частотой колебаний, превышающей собственную частоту колебаний здания на грунте не менее чем в 10 раз;
- установление вибрационных режимов, обеспечивающих погружение шпунта в условиях «срыва» – проскальзывания шпунта относительно прилегающего к нему грунта;
- уменьшение времени переходных режимов (при пуске и остановке вибротехнических средств), при которых происходят резонансные раскачки элементов конструкций соседних зданий;
- уменьшение времени динамического воздействия на грунт и сооружения за счет как увеличения скорости погружения, так и обеспечения интенсивного затухания распространяющихся в грунте колебаний при высокой частоте.

Указанные режимы в практических условиях реализуют при применении высокочастотных вибрационных погружателей с частотой колебаний не менее 30 Гц [20–22, 53]. При этом в геологических разрезах с характерными напластованиями **слабых** водонасыщенных грунтов снижение динамических воздействий на окружающую застройку обеспечивают при погружении шпунта в условиях его «срыва» – проскальзывания при колебаниях относительно прилегающего массива грунта, реализуемого следующим образом [53, с. 236]:



- 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.

Чтобы обеспечить (наряду с указанными преимуществами способа «срыва», выявленными посредством анализа критерия технологичности) надежную работу ограждения, его элементы необходимо погрузить на достаточную глубину при заглублении нижнего торца в **плотные**, водоупорные слои грунта. Однако эта задача осложняется при наличии в геологическом разрезе слоев плотных грунтов, что может препятствовать погружению шпунта на проектную глубину, приводить к его деформации (потере продольной устойчивости, разрыву замков, «уводу» ограждения от требуемого очертания в плане и т. д.).

В таких условиях значение критерия технологичности снижается до 0,2. В этой связи для повышения надежности способа «срыва» в условиях строительной площадки были проанализированы различные параметры заглубления шпунта в слои плотного грунта (суглинков моренный твердой и полутвердой консистенции с модулем деформации 360 МПа,  $I_L = -0,22$ ) при следующих режимах, представленных на рисунках 4.6, 4.7 [32]:

- Забивка механическим молотом свободного падения массой 3,5 и 3,65 т с частотой сброса 15–20 мин<sup>-1</sup>. Энергия удара – 17,5 кДж и 18,2 кДж. Количество энергии, передаваемой на торец погружаемого шпунта в минуту, – 350 и 364 кДж.
- То же, дизельным молотом с частотой падения 50 мин<sup>-1</sup> и массой ударной части 1,8 т. Общая масса молота – 3,65, энергия удара – 48 кДж. Количество энергии, передаваемой на торец погружаемого шпунта в минуту, – 2400 кДж.
- То же, гидравлическим молотом одиночного действия с массой ударной части 4,0 т (общая масса молота 6,2 т) с частотой удара 100 мин<sup>-1</sup>. Высота падения ударной части молота – 0,1–0,8 м, энергия удара – 20 кДж. Количество энергии, передаваемое на торец погружаемого шпунта в минуту, – 2000 кДж.

- Вибрационное погружение вибропогружателем В-402 массой 2,74 т, работающим в вибрационном режиме при частоте колебаний  $1440 \text{ мин}^{-1}$  и амплитуде 25 мм.

- Виброударное погружение вибропогружателем ВП-1 с массой 4,7 (6,7) т, настроенным на работу в режиме свободного беспружинного вибромолота с частотой ударов  $420 \text{ мин}^{-1}$  и амплитудой колебаний 20,6 мм. Энергия удара о торец погружаемого шпунта составил 1,4 кДж. Количество энергии, передаваемое на торец погружаемого шпунта в минуту, – 588 кДж.

Всеми перечисленными способами погружали в замок 4–6 шпунтин длиной 8–11 м каждого профиля. Результаты экспериментов в виде диаграмм изменения глубины, скорости и отказов опытного погружения шпунта представлены на рисунке 4.7.

При этом критерием, определяющим необходимость прекращения работ, служили деформации верхнего торца шпунта, потеря продольной устойчивости или осадка от одного удара (отказ) 1–2 мм. Определение момента прекращения работ основано на том, что, как показала практика производства шпунтовых работ, в плотных грунтах при указанных явлениях возникают деформации нижней зоны погруженного шпунта, разрывы замков и, как следствие, нарушение сплошности ограждения в грунте.

Проведенные эксперименты позволили установить, что максимальная глубина погружения шпунта корытных профилей Ларсен-IV, Ларсен-V и ШК-1 механическим молотом составила 5,5–6,2 м (в том числе в мореный суглинок – на 2,5–3,2 м). При этом увеличение массы молота приводило к значительным деформациям верхнего торца шпунта без увеличения глубины погружения. В ряде опытов при массе молота 5,65 т и относительно небольшой высоте сброса 0,3–0,5 м в конце погружения деформации верха шпунта были столь велики, что для продолжения эксперимента требовалось срезать деформированную часть шпунта.

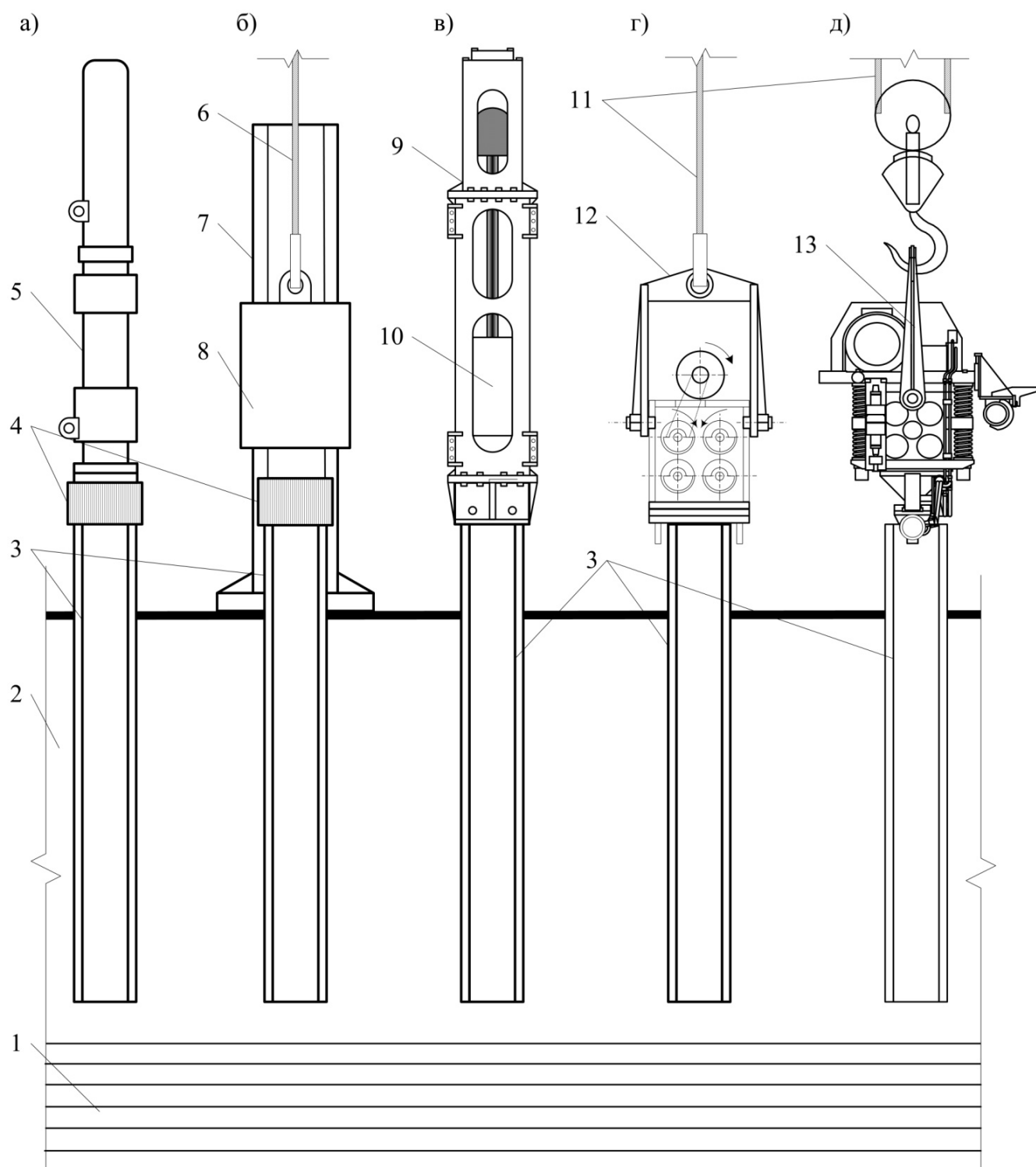


Рисунок 4.6 – Технологические схемы погружения шпунта в процессе опытных работ: *а, б, в* – забивка соответственно дизельным, механическим и гидравлическим молотами; *г, д* – погружение в виброударном и вибрационном режимах соответственно; *1* – плотный водоупорный грунт; *2* – верхнее напластование слабых грунтов; *3* – шпунт; *4* – наголовник; *5* – дизельный молот; *6* – канат лебедки копра; *7* – стойка копра; *8* – механический молот свободного падения; *9* – гидравлический молот; *10* – ударная часть молота; *11* – крюк крана; *12* – свободный беспружинный вибромолот; *13* – вибропогружатель ВП-402

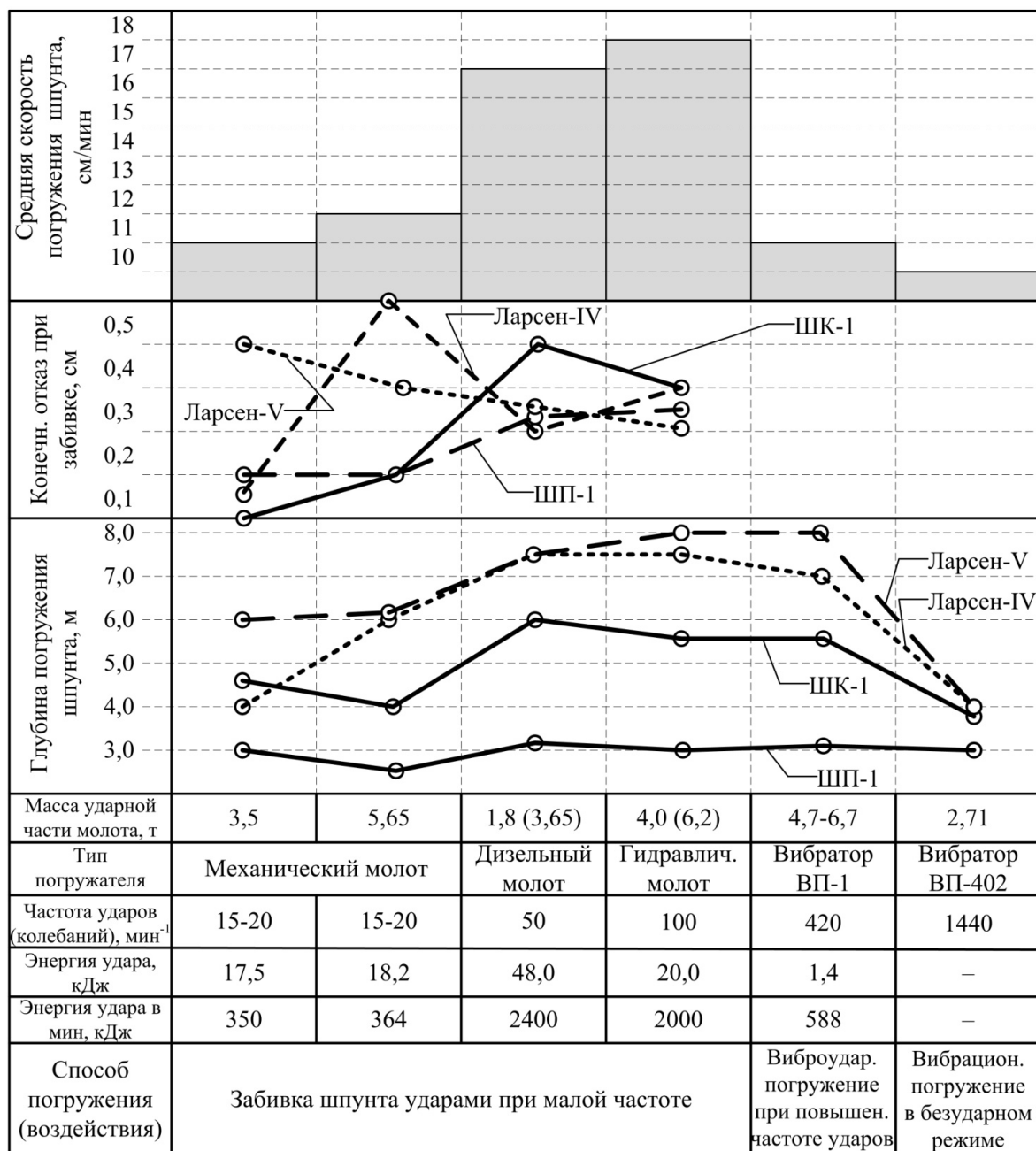
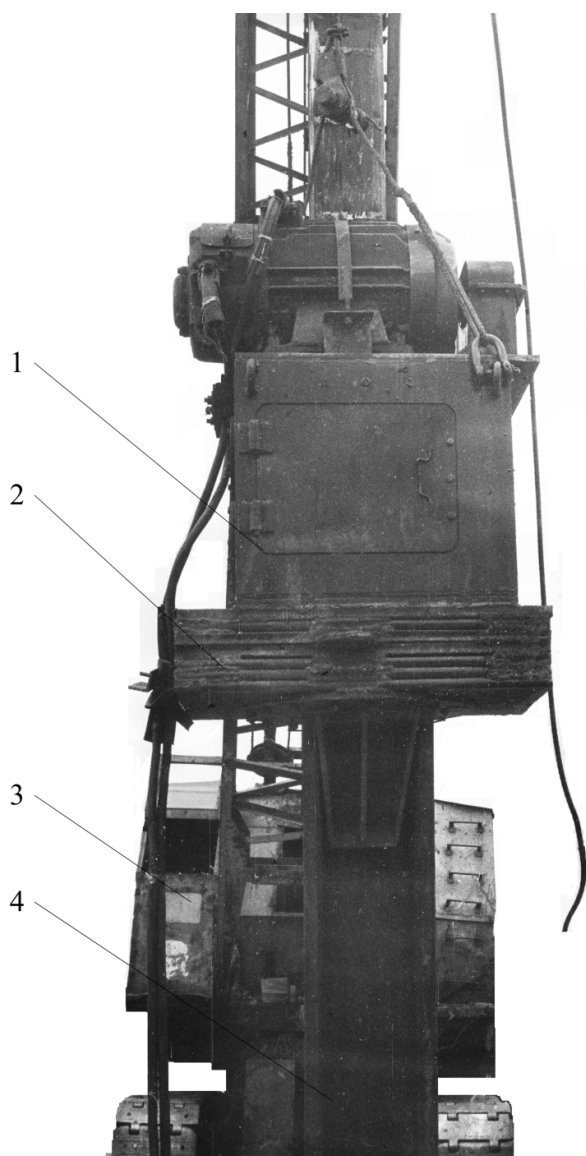


Рисунок 4.7 – Сравнительные диаграммы технологических параметров опытного заглубления стального шпунта в слой плотного грунта

Заглубление шпунта всех профилей вибропогружателем В-402 в безударных режимах работы обеспечивало полную сохранность элементов при отсутствии деформаций. Однако при достижении шпунтом кровли моренных суглинков (а в ряде случаев – при заглублении в такую породу на 0,1–0,5 м) погружение прекращалось. По показаниям осциллографа, амплитуда колебаний шпунта при внедрении в суглинок составляла 6–8 мм. Это позволило преодолеть силы бокового трения, но не лобовое сопротивление твердого суглинка.

В связи с тем, что вибрационное погружение шпунта не обеспечило требуемых результатов, были проведены дополнительные опыты по виброударной забивке шпунта погружателем ВП-1, снабженным вилочной направляющей



и настроенным на режим свободного беспружинного вибромолота [32]. Для определения эффективной и устойчивой работы общую массу этого вибропогружателя последовательно устанавливали в пределах 4,7; 5,7 и 6,7 т. Увеличение массы достигалось приваркой стального листа к днищу корпуса вибратора. Каждая ступень массы характеризовалась ее отношением к вынуждающей силе как 0,25; 0,1 и 0,36 соответственно (рисунок 4.8).

Рисунок 4.8 – Общий вид вибропогружателя ВП-1: 1 – корпус вибропогружателя; 2 – дополнительные стальные листы, увеличивающие массу агрегата; 3 – гусеничный стреловой кран; 4 – шпунт

Такая настройка вибропогружателя ВП-1 позволяла успешно заглублять шпунт корытного профиля на 2,5–4,0 м в моренный суглинок со скоростью 10 см/мин без критических деформаций. Увеличение массы вибромолота обеспечило повышение устойчивости работы и исключило его раскачивание в поперечной плоскости. Из испытанных наиболее рациональным оказался режим погружения машиной с массой 6,7 т. В этом же режиме были проведены опыты по погружению плоского шпунта ШП-1. Как и в случае ударного воздействия, такой шпунт погружался лишь до кровли моренного суглинка, а затем начинал дефор-

мироваться с потерей продольной устойчивости, что всякий раз требовало прекращать эксперимент.

По итогам проведенных опытных работ и соответствующей обработки их результатов, представленных на рисунке 4.8, был сделан вывод об эффективности параметров ударного и виброударного способов для заглубления шпунтов корытного профиля в прослой плотных грунтов. При этом характер изменения глубины и скорости погружения шпунта указывает на рациональность применения ударных режимов с частотой свыше 100 ударов в минуту с суммарной энергией удара не менее 2000 кДж в минуту и виброударных режимов при частоте удара свыше 420 ударов в минуту при отношении общей массы машины к вынуждающей силе 0,4. В этой связи были построены зависимости, определяющие изменение глубины погружения ( $H$ ) шпунта ударным и виброударными способами в зависимости от суммарной энергии удара ( $E_{заб}$ ), прикладываемой к торцу шпунта. На рисунке 4.9 показан график, построенный на основании представленных выше экспериментальных данных погружения шпунта при различных режимах.

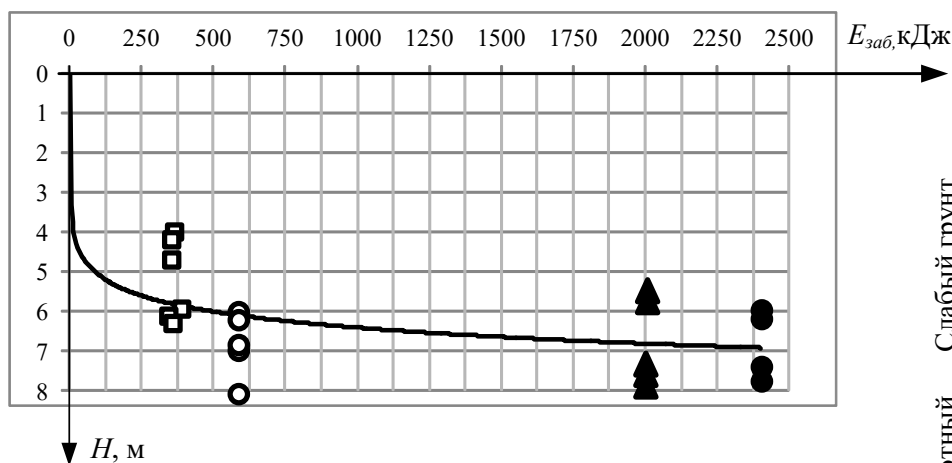


Рисунок 4.9 – График изменения энергозатрат при погружении шпунта ударным и виброударным способами: □ ○ ▲ ● – экспериментальные точки, полученные для погружения шпунта механическим молотом, вибропогружателем ВП-1, гидравлическим и дизельным молотами соответственно

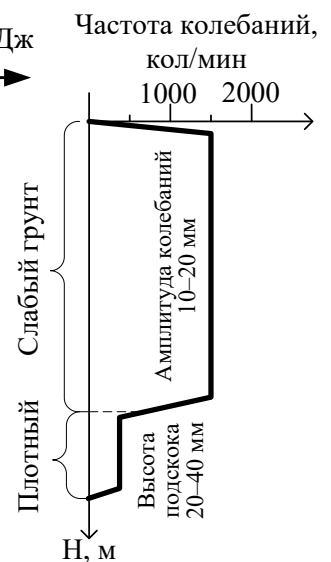


Рисунок 4.10 – Технологические параметры нового способа заглубления шпунта в плотный грунт

В таблице 4.2 представлены выражения, полученные в результате математической обработки опытных результатов, показанных на рисунке 16. Эти выражения описывают процесс погружения стального шпунта в зависимости от частоты и энергии удара при различных режимах.

Таблица 4.2 – Выражения, определяющие процесс погружения стального шпунта при различных виброударных режимах

Тип шпунта	Математическая зависимость	Коэффициент корреляции
Ларсен-IV	$H = 7,60 \cdot (1 - e^{-0,003 E_{заб}})$	0,98
Ларсен-V	$H = 7,90 \cdot (1 - e^{-0,004 E_{заб}})$	0,99
ШК-1	$H = 5,88 \cdot (1 - e^{-0,004 E_{заб}})$	0,98
Усредненный тип	$H = 7,12 \cdot (1 - e^{-0,004 E_{заб}})$	0,89

Выполненный комплекс исследований позволил сделать практически важный вывод о том, что заглублять в прослой плотных грунты шпунт эффективно ударным или виброударным способами с невысокой энергией единичного удара и повышенной частотой, что обеспечивает бездефектное заглубление элемента в грунт с приемлемой для практики скоростью. Это объясняется изменением характера сопротивления слоев плотного грунта внедрению в него шпунта. При повышенной частоте ударов циклическое нагружение вызывает усталостное нагружение грунта под торцом погружаемого шпунта, что в свою очередь разрушает монолитную массу и уменьшает лобовое сопротивление внедрению элемента. Полученные результаты позволили разработать новую технологию погружения стального шпунта в двухстадийном режиме: в пределах верхней толщи слабых грунтов шпунт погружают в режиме гармонических колебаний с частотой 1000–2500 кол./мин и амплитудой 10–20 мм, обеспечивающих максимальную скорость погружения и минимальные динамические воздействия на окружающий массив грунта (рисунок 4.10). По достижении шпунтом слоя плотного водоупорного грунта работу вибротехнического средства переводят на низкочастотный виброударный режим с частотой не менее 420 кол./мин при высоте подскока ударной массы 20–40 мм и выдерживают отношение этой массы вибротехнического средства к его вынуждающей силе равным 0,4.

### 4.3. Обоснование параметров устройства водогрунтонепроницаемых перемычек на акватории с учетом критерия технологичности

Практика строительства в современных мегаполисах, примыкающих к береговым линиям акваторий, характеризуется возрастающими объемами строительства в условиях дефицита свободных территорий. В этих условиях проблема создания дополнительных территорий (как показал опыт Голландии, Японии, Саудовской Аравии и России) решается созданием искусственных островов на акватории, намывов и т. п. При этом становятся актуальны вопросы совершенствования технологических параметров созданий искусственных территорий на акваториях. В связи с этим вопросы оптимизации параметров устройства водонепроницаемых перемычек преимущественно гравитационного типа, служащих для производства работ насухо в котлованах глубиной до 15 м, приобретают особую значимость. Традиционно для решения таких задач применяют следующие способы:

- отсыпка камня в постель из шаланд в пределах контура перемычки;
- установка бетонных блоков (массивов), изготавливаемых на полигонах;
- то же, из габионов;
- то же, массивов-гигантов, заполняемых на акватории песком и бетоном;
- то же, из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра;
- устройство ячеистых конструкций из шпунта, погружаемого вибрационным или ударным способом.

Для этих способов был выполнен анализ эффективности их применения на основании критерия технологичности, который рассчитывался с учетом четырех показателей: производительности, стоимости работ, обеспечения устойчивости водогрунтонепроницаемости перемычки и степени загрязнения акватории при производстве работ. Результаты такого расчета в виде лепестковых диаграмм показаны на рисунке 4.11.

На основе полученных значений критерия технологичности и с учетом убывания эффективности эти способы располагаются следующим образом:

- установка стальных тонкостенных оболочек большого диаметра ( $J = 0,92$ );



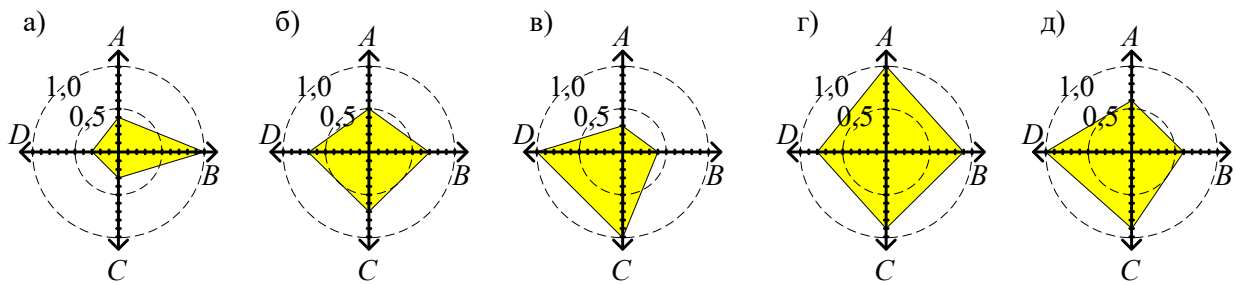


Рисунок 4.11 – Диаграммы распределения показателей технологичности различных способов устройства перемычек на акватории: *a* – отсыпка камня; *б* – установка бетонных блоков; *в* – то же, массивов гигантов; *г* – то же, стальных оболочек; *д* – погружение шпунта. *A, B* – соответственно показатели производственной и технико-экономической групп; *C, D* – показатели качества работ в виде обеспечения гидроизоляции перемычек, а также степени загрязнения акватории при производстве работ

- вибрационное заглубление стального шпунта ( $J = 0,73$ );
- укладка бетонных блоков (массивов) ( $J = 0,64$ );
- погружение массивов-гигантов ( $J = 0,61$ );
- отсыпка камня ( $J = 0,54$ ).

Анализ этих значений позволяет говорить об эффективности параметров способов устройства перемычек на акватории из стальных оболочек большого диаметра. Следует отметить, что в современных условиях для указанных целей применяют способы возведения ячеистых ограждающих конструкций из стального шпунта, заглубляемого преимущественного вибрационным способом ( $J = 0,73$ ). Однако, как показал анализ опыта работ, он имеет следующие недостатки [24, 47, 91, 106]:

- погружение шпунта с плавсредств является технически сложной задачей, требующей дополнительных вспомогательных операций по устройству направляющих шаблонов, погружения маячных свай и т. п.;
- в условиях, когда грунты дна акватории слагают плотные глинистые породы с наличием валунов, погружение шпунта сопровождается деформациями стенок элементов, разрывом замков и т. п.

В этой связи следует практически важный вывод о том, что для решения указанных задач следует применять способы устройства ограждающих конструк-

ций котлованов, позволяющие минимизировать работы на акватории за счет индустриализации и интенсификации подготовительных операций, выполняемых на берегу, на заранее подготовленных стендах укрупнительной сборки.

На практике это достигается применением тонкостенных оболочек большого диаметра, изготавливаемых на берегу из рулонированной стали и доставляемых плавсредствами к месту монтажа на подготовленное основание для последующей установки и заполнения песком [24, 47, 91]. Стальные оболочки диаметром 8–16 м, высотой до 16 м, с толщиной стенки 8–16 мм эффективны при строительстве на скальных, песчаных или малосжимаемых грунтовых основаниях с модулем деформации более 20 МПа. Для достижения устойчивой работы перемычек необходимо обеспечить врезание оболочек на сжимаемое, но достаточно прочное основание дна акватории.

Основной задачей оптимизации параметров способа является обеспечение устойчивости и водогрунтонепроницаемости оболочек. Для реализации этих решений при установке тонкостенных оболочек на грунт акватории необходимо обеспечить вертикальность их осей (допустимое отклонение образующей составляет  $1^\circ$ ). Однако в производственных условиях из-за неравномерной плотности грунта дна акватории выполнить это условие крайне сложно.

Для достижения данной цели были исследованы различные параметры способов установки конструкций: свободное погружение на дно акватории, погружение в вибрационном и виброударном режимах работы.

Анализ выполнялся на основании расчетов критерия технологичности, учитывающего совокупность следующих параметров: возможность заглубления оболочки в дно акватории и установки без кренов, появление деформаций конструкции при ее погружении, продолжительность и стоимость работ.

На диаграммах, представленных на рисунке 4.12, секторы, ограниченные лучами *A–C*, определяют качество выполняемых работ. Таким образом, максимальные площади участков диаграмм, расположенные правее этих лучей, соответствуют способам, обеспечивающим врезание нижнего торца оболочки в плотный грунт акватории на максимальную глубину, в вертикальное положение, без

деформаций стенок конструкции. Эти значения максимальны для диаграмм, представленных на рисунке 4.12, в.

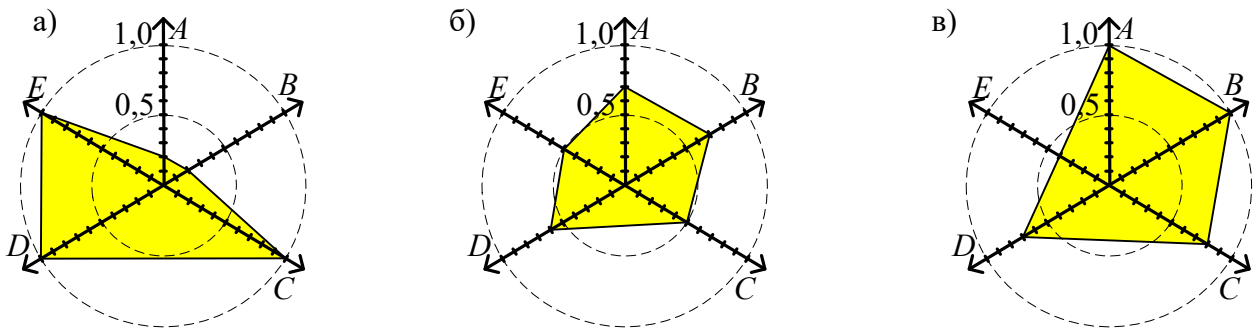


Рисунок 4.12 – Диаграммы распределения технологических показателей различных способов установки стальных тонкостенных оболочек на дно акватории: *а* – свободное погружение; *б* – в режиме приложения вибрационного воздействия; *в* – то же, в режиме виброудара. *A–C* – факторы обеспечения соответственно заглубления оболочки в плотный грунт, вертикальности и отсутствия деформации стенок конструкции; *D, E* – показатели соответственно производственной и технико-экономической групп

На основе полученных выводов были проанализированы качества различных режимов заглубления оболочек в грунт акватории. Результаты таких исследований представлены на рисунке 4.13.

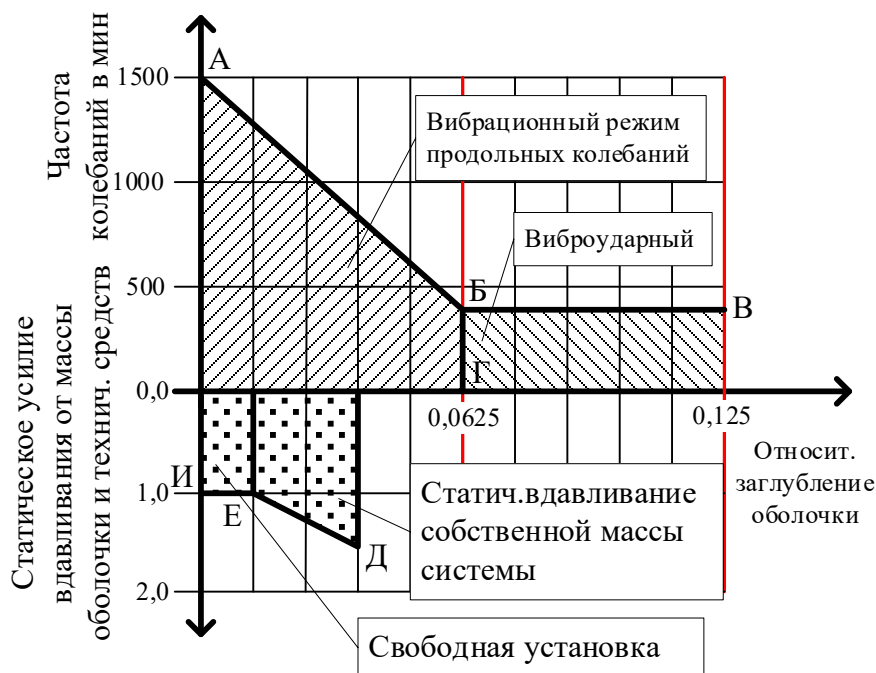


Рисунок 4.13 – Области применения технологических параметров различных способов заглубления оболочек в плотный грунт дна акватории

Многоугольник, ограниченный линиями А–Б–Г, соответствует рациональным областям применения вибрационных режимов. За пределами линии Б–Г погружения оболочки не происходит, а сопровождается деформациями ее стенок, на торцы которых установлены вибраторы, применяемые для погружения свай и стального шпунта. Соответственно, многоугольник Г–Б–В определяет зону эффективных режимов виброударного погружения при частоте порядка 400 кол./мин. Многоугольник, ограниченный вертикальными линиями И–Е, определяет технологические возможности заглубления в плотный грунт оболочек под собственным весом (500–1200 кН) при свободной установке без применения дополнительных технических средств. Режим дополнительного статического пригруза ограничивается линиями Е–Д. На практике такие значения реализуется через применение анкерных тяг, погружаемых в грунт акватории на достаточную глубину, и установки на них домкратов, соединенных с торцами оболочки, или же загрузением конструкции инвентарными блоками требуемого веса. Следует отметить, что указанные режимы в практических условиях работы с плавсредств технически реализовать достаточно сложно.

Распределение указанных областей описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} h = 0,86e^{-0,004n}, \\ h = -0,012 + 0,012F_{ВД} + 0,006F_{ВД}^2, \end{cases} \quad (4.18)$$

где  $h$ ,  $F_{ВД}$  – соответственно относительное заглубление оболочки в грунт и усилие вдавливания;  $n$  – частота колебаний вибрационных средств, об/мин.

Исходя из рассмотрения рисунков 4.12 и 4.13, а также расчетов критерия технологичности, по убыванию эффективности эти способы располагаются следующим образом:

- в режиме виброудара ( $J = 0,82$ );
- вибрационное погружение ( $J = 0,62$ );
- свободная установка ( $J = 0,52$ ).

Указанные исследования показали эффективность вибрационных режимов, реализуемых в различных технических средствах, устанавливаемых на торец оболочек для обеспечения их выравнивания в процессе установки на дне акватории в створе возводимых перемычек. Традиционно положение конструкции, получившей крен, выправляют применением нескольких свайных вибрационных погружателей, настроенных на режимы продольных колебаний. Эти погружатели закрепляют на торцы оболочек с помощью специальных гидравлических наголовников (рисунок 4.14, *a*).

При этом размещение вибрационных машин на торце тонкостенной оболочки определяется направлением развития ее крена. К недостаткам такого способа следует отнести то обстоятельство, что при использовании свайных вибраторов в оболочках возникают поперечные изгибы, которые приводят к необратимым деформациям их стенок. Это, в свою очередь, не позволяет обеспечить устойчивость и выполнить водогрунтонепроницаемый стык между смежными оболочками. Отсюда следует практически важный вывод о необходимости разработки заглубления оболочек при их установке на грунт акватории [42, 47].

Учитывая выполненную оптимизацию по критерию технологичности, автор установил сравнительную эффективность виброударных режимов погружения, достигнутую посредством свободной установки беспружинных вибромолотов на торце оболочки через вилочный наголовник. Однако, как показывает анализ производственного опыта, будет сложно обеспечить такое погружение при установке нескольких машин, чтобы синхронизировать их устойчивую работу.

Для решения этой проблемы автором разработан соответствующий способ, обеспечивающий необходимую устойчивость и водогрунтонепроницаемость оболочек [42, 47]. Предлагаемая технология закреплена патентом РФ на изобретение № 2014137366 [103].

Сущность предлагаемой технологии заключается в том, что после установки оболочек на дно акватории в створе возводимого сооружения их заглубление производят в виброударном низкочастотном режиме с подскоком ударной массы. Вибромолоты с подрессоренной пригрузкой в виде стержней с пружинами соеди-

няют с жесткой траверсой, которую за строповочные элементы монтируют на крюк грузоподъемного крана. Таким образом обеспечивают дополнительную статическую нагрузку на плотный водоупорный грунт и устойчивый режим работы беспружинных вибромолотов в режиме «один удар на один оборот валов дебалансов».

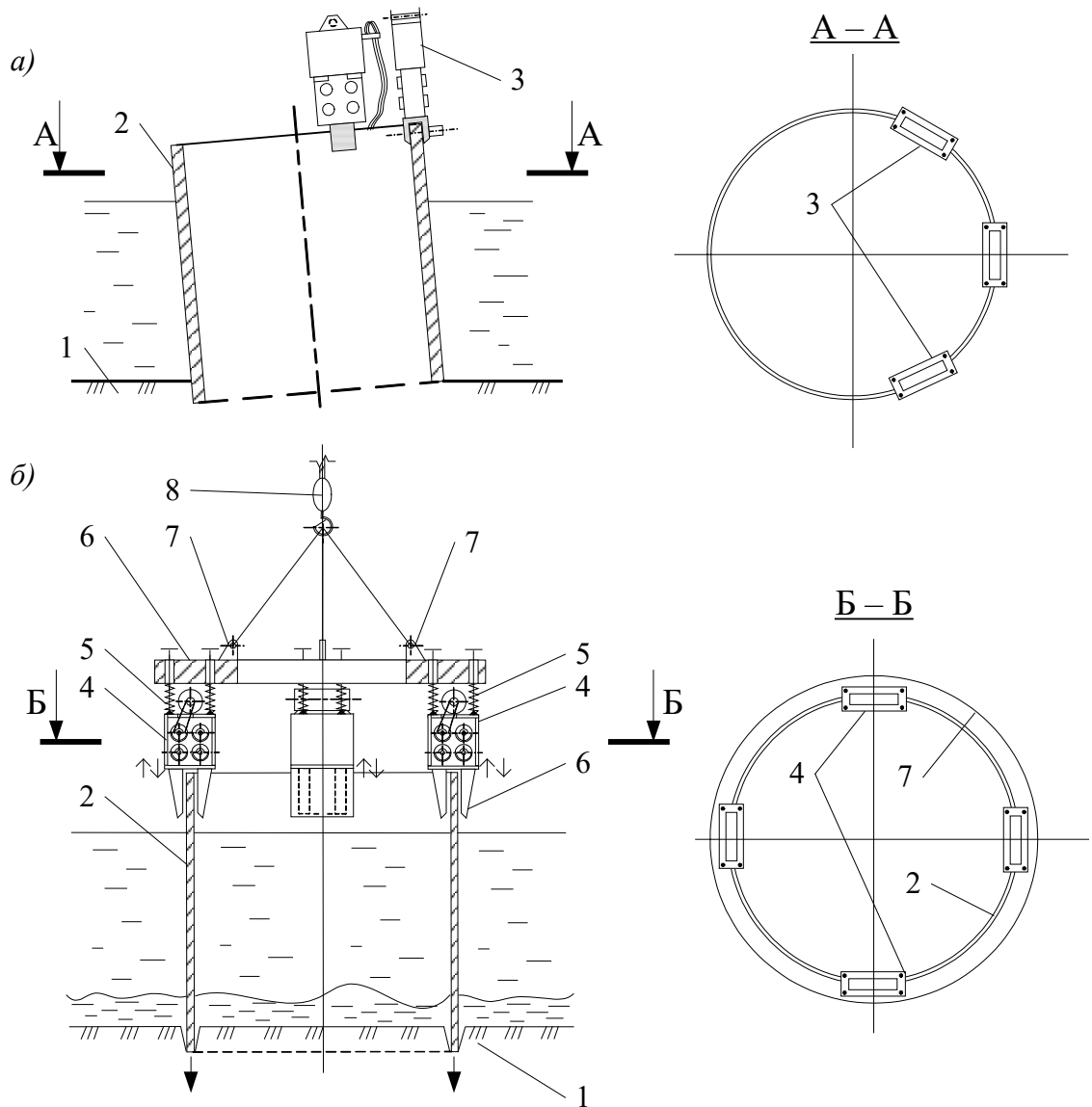


Рисунок 4.14 – Различные способы исправления крена тонкостенной оболочки: *а* – традиционный с установкой вибраторов на торец конструкции; *б* – новый, с применением вибромолотов с их пригрузкой; 1 – плотный водоупорный грунт; 2 – тонкостенная стальная оболочка; 3 – вибратор продольных колебаний; 4 – беспружинный вибромолот с подрессоренной пригрузкой; 5 – стержни с пружинами; 6 – вилочные направляющие; 7 – жесткая траверса пригрузка со строповочным элементом; 8 – крюк грузоподъемного крана

При достижении тонкостенной стальной оболочки слоя плотного водоупорного грунта в работу приводят вибромолоты в низкочастотном виброударном режиме с частотой удара 400–420 кол./мин при высоте подскока ударной массы 20–40 мм и выдерживают отношение этой массы к вынуждающей силе, равное 0,4. Графики изменения указанных режимов работ представлены на рисунке 4.15.

При этом в случае развития крена погружаемой тонкостенной оболочки его устраняют путем включения беспружинных вибромолотов, расположенных со стороны, противоположной по отношению к развиваемому крену. Другие вибромолоты при этом не работают. Таким образом вызывают упругие колебания, распространяющиеся в стенках оболочки. Этим обеспечивают снижение сил лобового сопротивления грунта. В результате оболочка под собственным весом заглубляется в плотный водоупорный грунт. Указанными действиями исключают перекося, поперечный изгиб и деформации стенок оболочки.

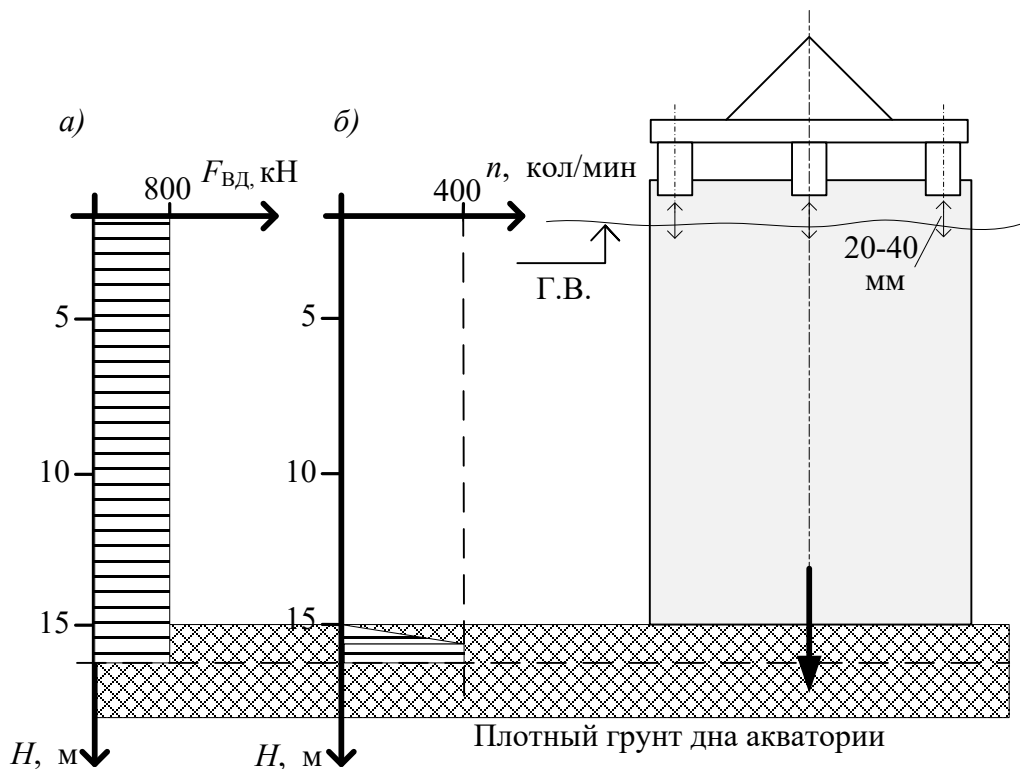


Рисунок 4.15 – Изменение технологических режимов по глубине заглубления тонкостенных оболочек в грунт акватории: *а, б* – соответственно статического усилия вдавливания и частоты виброударного режима;  $H$ ,  $F_{вд}$ ,  $n$  – соответственно глубина погружения, усилие вдавливания, частота удара

С учетом анализа литературных источников и опыта работ автором были установлены эффективные конструктивно-технологические решения стыков таких конструкций в виде упругодеформированных оболочек в форме песочных часов. В конструктивной схеме, показанной на рисунке 4.16, между основными цилиндрическими оболочками, заполняемыми грунтом, устанавливают упругие соединительные вкладыши, имеющие в плане форму песочных часов [24, 90, 106]. Седловинами вкладыши сопрягают с соседними оболочками и после установки в сооружение заполняют песком. В результате, за счет действия горизонтальных сил распорного давления, происходит плотное смыкание оболочек и соединительных упругих вкладышей.

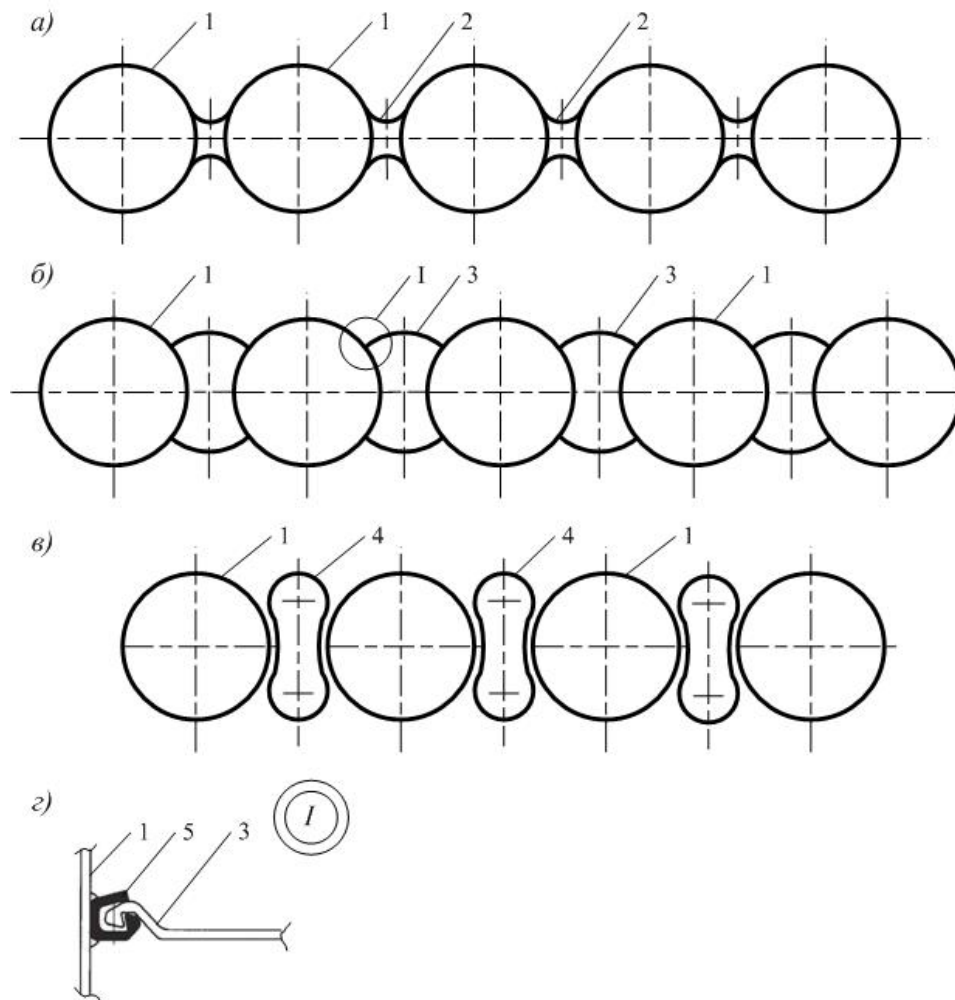


Рисунок 4.16 – Схема устройства стыков между тонкостенными оболочками: а–в – конструктивные решения стыков с применением стальных нащельников (а), козырьков из шпунтовых элементов (б) и упругих вкладышей (в), выполненных из деформированных оболочек; г – узел крепления шпунта к поверхности оболочки; 1 – оболочки; 2 – нащельники; 3 – участки перемычек из

стального шпунта; 4 – вкладыши из упругодеформированных оболочек; 5 – замковый элемент крепления шпунта



По сравнению с традиционными решениями устройства стыков в виде специально изготовленных стальных нащельников и шпунта представленное на рисунке 4.16, *a* решение имеет бóльшие значения обобщенного критерия надежности и качества работ. Это объясняется тем, что установка элементов стальных нащельников и шпунта при отсутствии вертикальности оболочек является трудно осуществимой технической задачей. В таких условиях выполняют угловые элементы, которые на сварке соединяют с оболочкой. Кроме того, если дно акватории подстилается плотными грунтами с включениями валунов, то заглубить в них на достаточную глубину шпунт практически невозможно. А указанные упруго деформируемые элементы при их установке между оболочками в процессе демон- тажа жестких связей размыкаются и затем плотно смыкаются с тонкостенными оболочками.

Исследования структуры критерия технологичности указанных способов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Показатели технологичности устройства стыков оболочек

№ п/п	Наименование способа	Наименование показателя			
		Масса элементов устройства 1-го стыка по отношению к массе оболочки	Возникновение доп. деформаций в оболочках при эксплуатации	Дополнительные трудозатраты, %	
				при установке кондукторов, шаблонов при наборе соединительных элементов	при волнении на акватории (высота волн более 0,3 м) и скорости ветра свыше 1,8 м/с
1	С применением стальных нащельников	0,45	Возникают	10–20	Свыше 20
2	Козырьков из шпунтовых элементов	0,75	То же	30–40	Свыше 40 (до прекращения работ)
3	Упругих вкладышей	1,0	Не возникают	0–5	Свыше 10

Значения показателей, приведенные в табл. 4.2, позволяют заключить, что по факторам обеспечения устойчивости и водогрунтонепроницаемости, а также минимальных сроков работ на акватории наиболее эффективным является вариант 3 с применением упругих вкладышей.

С учетом выполненных расчетов автором установлено, что, по сравнению с решениями из стального шпунта, новая технология позволяет снизить расход металла в 2–2,5 раза, а трудозатраты – в 1,5–2 раза. Экономический эффект от замены шпунтовой перемычки длиной 180 м стальными оболочками составляет 104,1 млн р. при экономии металла 1892 т и трудозатрат 5,95 тыс. чел.-дн.

На основе исследований критериев технологичности автором обоснована сравнительная эффективность устройства на акватории устойчивых водогрунтонепроницаемых перемычек с применением тонкостенных стальных оболочек. Показана действенность факторов оптимизации технологического решения установки оболочек по критерию устойчивости заглубления, что в условиях неоднородных плотных грунтов дна акватории является сложной задачей.

#### **4.4. Разработка способа устройства подземных сооружений в условиях городской застройки на основе анализа структуры критерия технологичности**

Исследования значений критерия технологичности позволили автору сделать вывод, что для таких условий становится эффективным технологическое решение устройства погружных колодцев. При этом необходимо, чтобы подземная часть сооружений позволяла устраивать объемы цилиндрической формы: опыт возведения таких конструкций в мировой практике имеется. Так, в 1990–1995 гг. при возведении очистных сооружений в поселках Ленинградской области были погружены колодцы диаметрами до 66,1 м и глубиной до 70 м при толщине стен 2,7–3,9 м [59, 81, 107].

Кроме того, как видно из диаграммы рисунка 4.2, б, при производстве работ в условиях напластований слабых грунтов их значения критерия технологичности близки к 1,00, что определяется следующими преимуществами технологии:

- жесткость конструкции позволяет выполнять ее погружения без устройства специальных систем крепления;
- бетонирование и армирование стен колодца производятся на уровне дневной поверхности с применением современной переставной опалубки;
- существует возможность осуществления на всех технологических этапах постоянного контроля качества сварных соединений каркасов и прочности уложенного бетона.

Однако анализ опыта работ показывает, что реализация указанной технологии в условиях городской застройки часто приводит как к просадкам поверхности грунта, так и к недопустимым деформациям конструкций существующих фундаментов. Основные причины таких явлений – выпор и наплывы грунта во внутреннюю полость колодца; крены колодца; силы трения, действующие по боковой поверхности; наличие уступов на боковых гранях конструкции; разработка грунта за банкеткой ножа; понижение уровня грунтовых вод в процессе строительства. Происходит вынос частиц грунта при откачивании грунтовых вод из колодца, что

может привести к суффозии и разуплотнению прилегающего грунтового массива, прорывам глинистого раствора в колодец и т. п. [44, 46, 59, 81, 107, 136].

Из всего изложенного выше следует практически важный вывод о необходимости разработки эффективных технологий, позволяющих погружать колодцы вблизи существующих зданий, отвечающих следующим основным требованиям:

- исключить наплыв (выпор) грунта во внутреннюю полость колодца за счет исключения его извлечения на поверхность при погружении;
- исключить крен посредством регулирования параметров погружения колодца в зависимости от прочностных характеристик разрабатываемых пород;
- добиться снижения значений сил трения по боковой поверхности конструкции;
- исключить изменение (т. е. снижение) уровня грунтовых вод прилегающей территории в процессе строительства.

В таблице 4.4 приведен анализ существующих способов, в разной степени позволяющих избежать указанных дефектов. Речь идет о способах, разработанных отечественными и зарубежными исследователями с целью их применения в указанных условиях. При этом не анализировались традиционные способы, негативно влияющие на безопасность окружающей застройки (вибрационный прокол грунта шпунтовыми сваями вблизи стен колодца, взрывы зарядами в полости, размыв грунта гидромониторами) [107].

Таблица 4.4 – Качественный анализ эффективности способов погружения опускаемых колодцев в условиях городской застройки

Наименование группы способов	Технические задачи, решаемые в способе – снижение отрицательных эффектов				Кол-во решаемых задач	Оценка эффективности в баллах
	Наплыв (выпор) грунта	Крен	Силы трения	Изменение уровня грунт. вод		
1	2	3	4	5	6	7
Погружение в тиксотропной рубашке	Нет	Нет	Да	Нет	1	0,63
Антифрикционные обмазки	Нет	Нет	Да	Нет	1	0,67

1	2	3	4	5	6	7
Принудительные способы погружения (направляющие, вдавливающие)	Нет	Да	Нет	Нет	1	0,69
Предварительная обработка грунта (рыхление, закрепление)	Нет	Да	Да	Нет	2	0,74
Разработка грунта в зоне ножа и в полости	Нет	Да	Да	Нет	2	0,65
Фильтрационные завесы, включая шпунтовые ограждения	Нет	Нет	Нет	Да	1	0,60
Погружение с заполнением полости колодца водой при извлечении грунта	Да	Нет	Нет	Да	1	0,75

В последнем столбце таблицы 4.4 выполнен анализ эффективности применения способов погружения колодцев с учетом генеральных определительных таблиц, разработанных автором. Анализ этих способов выполнен автором на основе изучения структуры критерия технологичности, включающего факторы обеспечения промышленной и экологической безопасности в процессе производства работ. Результаты этих исследований, полученных на основе разработанного программного комплекса в виде лепестковых диаграмм, представлены на рисунке 4.17.

В результате выполненного анализа приведенных на рисунке 4.17 значений автором было сформулировано следующее направление оптимизации: выполнять лидирующую разработку грунта в зоне ножа. Это позволит снизить сопротивление грунта (особенно в пределах напластований плотных пород) с принудительным погружением задавливанием, которое даст возможность избежать крена.

Как следствие, были сформулированы задачи оптимизации параметров способа, позволяющие погружать колодцы вблизи существующих зданий:

- 1) исключить крен посредством регулирования параметров погружения колодца в зависимости от прочностных характеристик разрабатываемых пород;
- 2) минимизировать наплыв грунта во внутреннюю полость колодца за счет исключения его извлечения на поверхность при погружении;

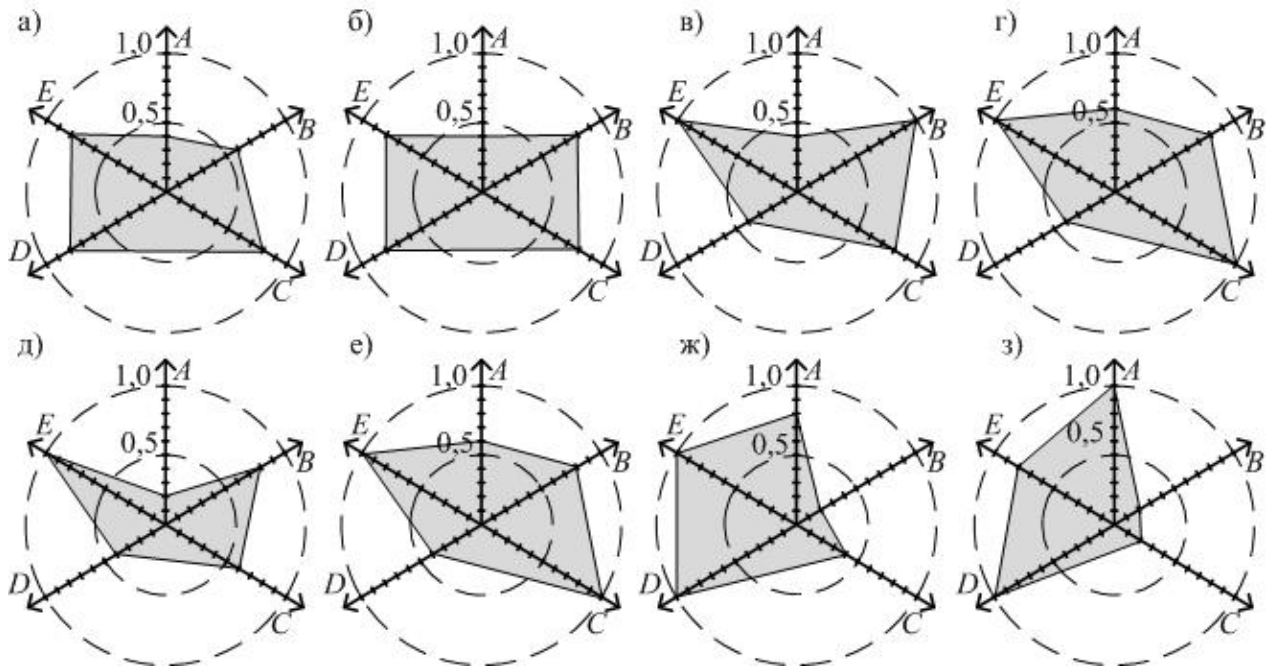


Рисунок 4.17 – Диаграммы обоснования расчета критерия технологичности способов погружения опускных колодцев по показателям, определяющим отсутствие следующих отрицательных факторов, проявляющихся при погружении колодца:  $A$  – наплыв (выпор) грунта во внутреннюю полость;  $B$  – крен;  $C$  – снижение значений сил трения;  $D$  – исключение изменения уровня при разработке грунта;  $E$  – факторы обеспечения экологической и промышленной безопасности в процессе работ;  $a$ – $z$  – способы погружения колодца соответственно в тиксотропной рубашке ( $a$ ); с антифрикционными обмазками ( $b$ ); с задавливанием ( $b$ ); с предварительным рыхлением грунта ( $c$ ); при оптимизации конструкции ножевой части с разработкой грунта из-под ножа ( $d$ ); с предварительным устройством фильтрационных завес ( $e$ ); с заполнением полости колодца водой ( $ж$ ) или глинистым раствором ( $з$ ). Значения коэффициентов весомости критериев  $A$ – $E$  равны соответственно 0,28–0,28–0,21–0,14–0,09

3) выполнять разработку грунта в полости колодца при достижении его ножом проектной отметки в условиях поддержания в колодце уровня грунтовых вод на 0,5–1,0 м выше естественного уровня на площадке строительства.

Это позволило автору разработать перспективный способ устройства подземных сооружений в условиях напластования слабых грунтов и стесненной застройки [44, 46, 99]. Его выполняют с оставлением опорных зон у ножевой части с целью обеспечить возможность регулирования процесса погружения. Перед погружением колодца по его периметру устраивают грунтовые анкеры с анкерными тягами; последние пропускают в стенах колодца и соединяют с домкратами, уста-

новленными на стенах колодца, после чего производят поярусное вдавливание колодца с регулированием натяжения анкерных тяг (рисунок 4.18).

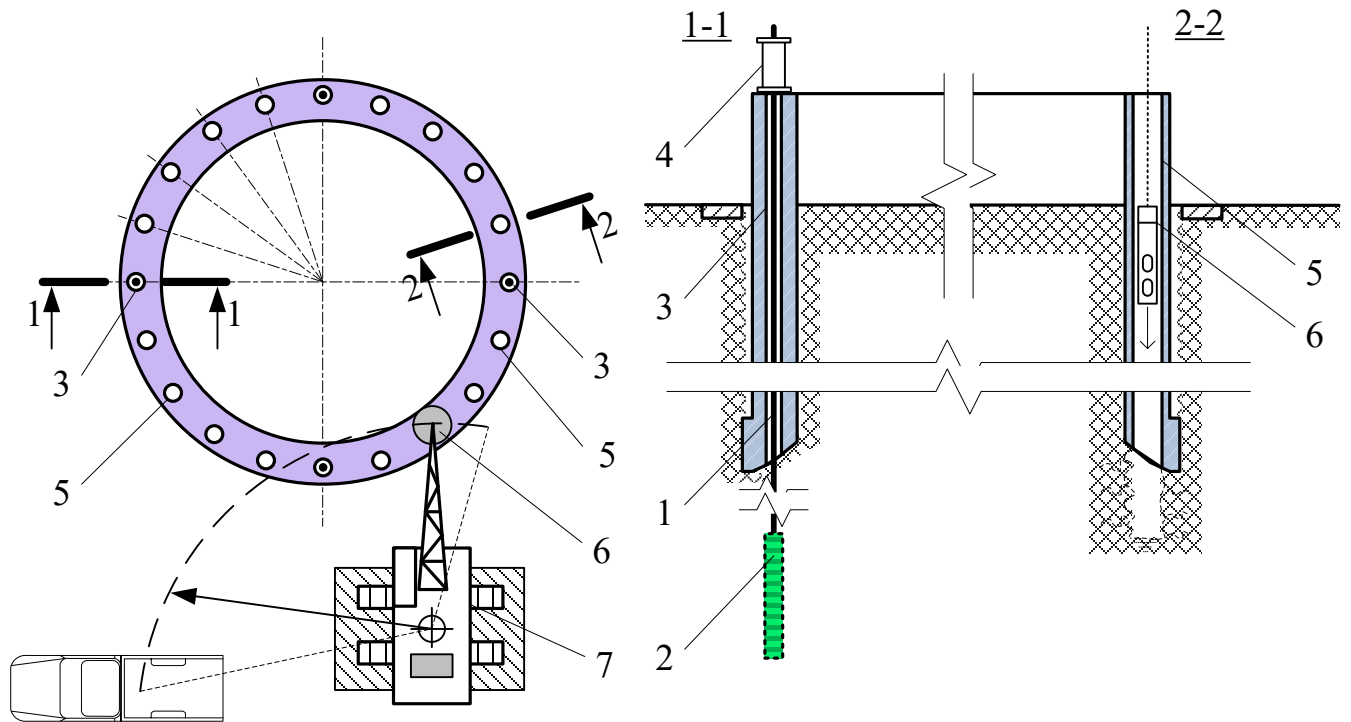


Рисунок 4.18 – Новый способ регулируемого погружения колодца с применением вдавливания и извлечения грунта из-под его ножа через вертикальные каналы в стенах: 1 – анкерные тяги; 2 – корневая зона грунтовых анкеров; 3, 5 – соответственно сквозные трубчатые каналы в стенах колодца для установки анкеров и извлечения грунта; 4 – домкраты; 6 – вибрационный грейфер; 7 – монтажный кран с грейфером

При этом анкеры и анкерные тяги устраивают в сквозных продольных отверстиях в стенах колодца через  $90^\circ$ . При этом в промежуточных секторах в процессе бетонирования через каждые  $18^\circ$  устанавливают вертикальные трубчатые каналы, по которым перемещают вибрационные грейферы с цилиндрическими грунтозаборниками и попеременно извлекают грунт. При погружении в плотных породах грунт извлекают вибрационными грейферами как на уровне, так и из-под ножа колодца; в слабых породах вибрационными грейферами извлекают грунтовые пробки, вытесняемые в вертикальные каналы в стенах колодца при его опускании под действием собственной силы тяжести и усилия вдавливания.

После выполнения указанных мероприятий производят поярусное задавливание колодца с одновременным извлечением грунта.

При погружении в плотных породах грунт извлекают вибрационными грейферами на уровне или из-под ножа колодца, а в слабых породах вибрационными грейферами извлекают грунтовые пробки, вытесняемые в вертикальные трубчатые каналы в стенах колодца при вдавливании. Применение таких грейферов обеспечивает достаточную производительность и минимально необходимый комплект технических средств, благодаря чему не потребует дополнительных площадей строительной площадки. Глубину и вертикальность погружения колодца регулируют натяжением анкерных тяг, а также преимущественным извлечением грунта из вертикальных трубчатых каналов, которые «приурочены» к зависающим участкам стен колодца.

На рисунке 4.19 представлены технологические режимы, обеспечивающие реализацию нового способа – изменения усилия вдавливания и темпа извлечения грунта по глубине погружения колодца.

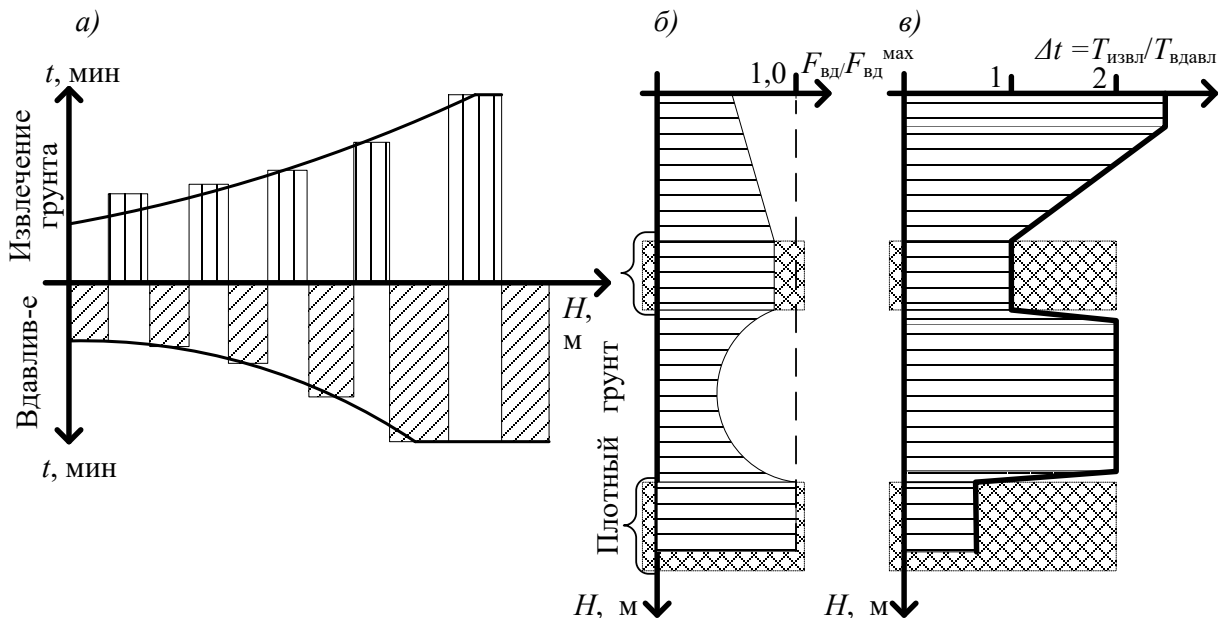


Рисунок 4.19 – Режимы погружения колодца: а, б, в – соответственно времена извлечения грунта и вдавливания, диаграммы вдавливания и соотношения продолжительности этих параметров.  $H$ ,  $t$ ,  $F_{вд}$  – соответственно глубина погружения, время и усилие вдавливания;  $T_{извл}$ ,  $T_{вдав}$  – соответственно время рабочего цикла по извлечению грунта и вдавливанию.



С учетом известных зависимостей [126] автором было определено, что условие погружения колодца на период строительства определяется следующим выражением:

$$(G_w - \gamma_b \cdot n_{\text{КАН}} \cdot s_{\text{КАН}} \cdot h_{\text{КАН}}) + F_{\text{ВД}} > T_2 + F_u, \quad (4.19)$$

где  $G_w$  – брутто-вес стен колодца, Н;  $\gamma_b$  – вес бетона, Н;  $n_{\text{КАН}}$ ,  $s_{\text{КАН}}$ ,  $h$  – соответственно количество, единичная площадь сквозных трубчатых каналов в стенах колодца и глубина его погружения;  $F_{\text{ВД}}$  – усилие вдавливания, создаваемое домкратами, установленными на торцах колодца, Н;  $T_2$ ,  $F_u$  – соответственно сила трения стен колодца по грунту при его погружении и сопротивление под ножом, Н.

Сопротивление грунта под ножом колодца при его погружении определяется по формуле

$$F_u = (Ab - n_{\text{КАН}} \cdot s_{\text{КАН}}) p_u, \text{ Н}, \quad (4.20)$$

где  $Ab$  – площадь подошвы ножа,  $\text{м}^2$ ;  $p_u$  – предельная нагрузка на основание,  $\text{кН}/\text{м}^2$ , определяемая в зависимости от относительного заглубления колодца в грунт и характеристик прорезаемых пород.

В формуле (4.20) усилия вдавливания  $F_{\text{ВД}}$  следует определять с учетом суммарного объема грунта  $V_{\text{ГР}}$ , извлекаемого из продольных каналов вибрационными грейферами и определяющего снижение сопротивления породы. Теоретическая зависимость этих значений приведена на рисунке 4.20, демонстрирующем погружение колодца на глубину  $0,5 < h/b$  (где  $h$ ,  $b$  – соответственно глубина погружения ножа в грунт и ширина его банкетки).

На рисунке 4.20 значение усилия вдавливания изменяется в пределах от  $F_{\text{ВД}}^{\text{МАХ}}$  до  $F_{\text{ВД}}^{\text{ТЕХ}}$ . Первое является максимумом, значение которого можно определить на основании выражения (4.19) на этапе погружения колодца до проектного уровня. Значение  $F_{\text{ВД}}^{\text{ТЕХ}}$  определяет необходимость поддержания требуемого уровня давления на технологические нужды в целях устранения кренов колодца при его погружении, зависании и т. п. Его значения можно определить исходя из известных выражений, а также расчета дополнительных давлений грунта при его неравномерном распределении по поверхности колодца [126].

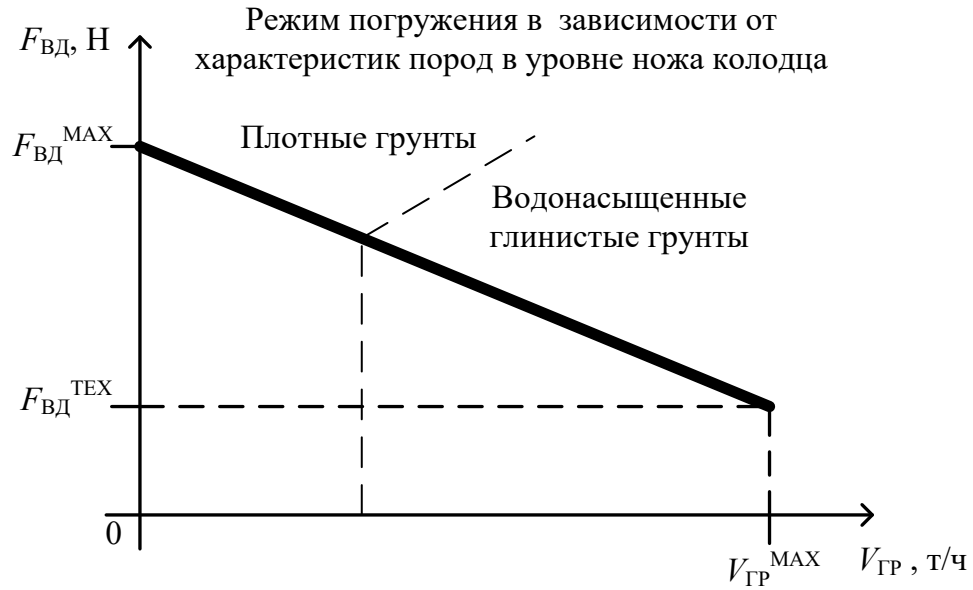


Рисунок 4.20 – Графическая зависимость изменения значений усилия вдавливания ( $F_{вд}$ ) от объема грунта ( $V_{гр}$ ), извлекаемого из-под ножа колодца

С учетом графика, представленного на рисунке 4.21, зависимость изменения усилия вдавливания от объема извлекаемого грунта можно представить в виде

$$F_{вд} = F_{вд}^{MAX} - k \cdot V_{гр}, \text{ Н}, \quad (4.21)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, определяемый на основе опытного погружения колодца для различных инженерно-геологических условий, Н/т. Он определяет зависимость снижения значений прилагаемого к торцам колодца усилия вдавливания при извлечении 1 т грунта из-под его ножа.

$$V_{гр} = n_{КАН} (0,95 \cdot 3600q\gamma) / T_{ц}, \text{ т/ч}, \quad (4.22)$$

где 0,95 – коэффициент заполнения грейфера;  $q$  – емкость грейфера, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – объемная масса груза, т/м<sup>3</sup>;  $T_{ц}$  – время цикла работы вибрационного грейфера с учетом его перегрузки краном, с.

Зависимости, представленные в формулах (4.19)–(4.22) и на рисунках 4.20–4.21, определяют математическую модель погружения колодца с учетом обоснованных автором технологических режимов.

На предлагаемое инновационное решение автором получен патент РФ № 2491387 [99].

Обоснование указанных технологических параметров с учетом обеспечения минимальных деформаций конструкций фундаментов окружающей застройки было выполнено в ходе численного эксперимента в программном комплексе Plaxis 2D. Соответствующие расчеты выполнялись автором на кафедре геотехники СПбГАСУ совместно с инженером Полуниным В. М. Они проведены в осесимметричной постановке с применением модели Hardening soil.

Была выполнена оценка значений технологической осадки конструкций фундаментов, прилегающих к участку строительства (на естественном основании с глубиной заложения 2,6 м), при заглублении опускного колодца (диаметром 20 м с толщиной стенок 1200 мм) следующими способами:

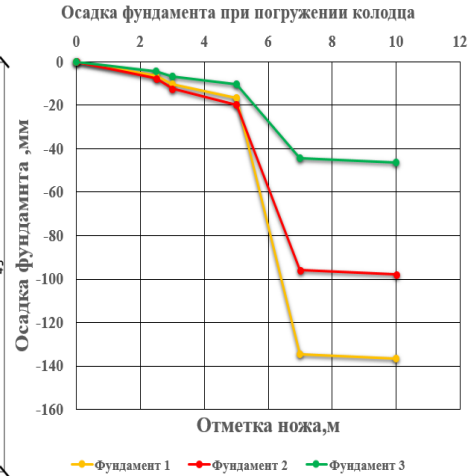
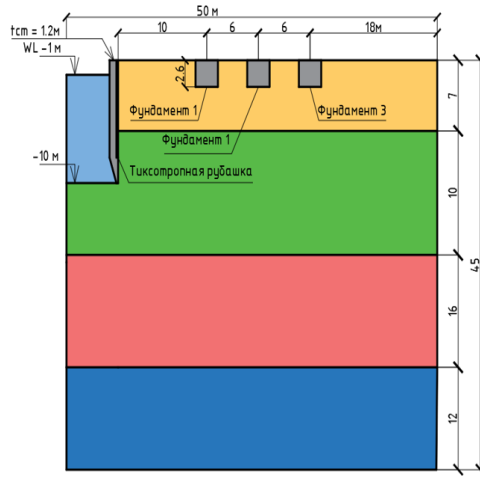
- вариант 1: традиционным в тиксотропной рубашке;
- вариант 2: предлагаемым с извлечения грунта из-под ножа колодца;
- вариант 3: то же, с устройством вдоль существующих конструкций фундаментов защитных барьеров из бурокасательных свай диаметром 300 мм, армированных стальной трубой сечением 159×7 мм.

Расчетные схемы таких способов и графики изменения осадки конструкций существующих фундаментов в зависимости от глубины погружения колодцев приведены на рисунке 4.21.

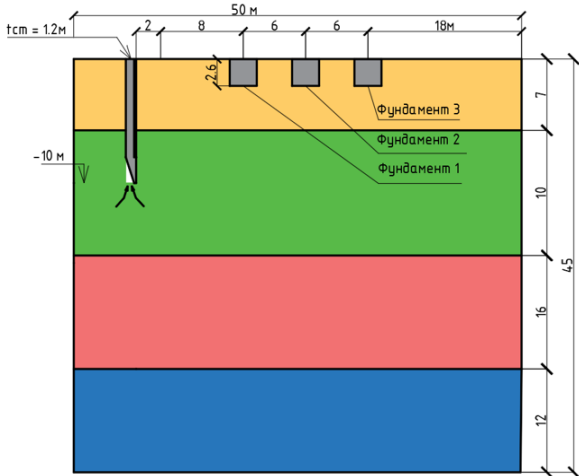
Анализ представленных значений осадок дает возможность заключить, что по сравнению с традиционным решением новый способ позволяет сократить значения «технологических» осадок фундаментов в 3 раза. Причем за счет применения дополнительных мероприятий в виде устройства защитных экранов, анализ показателей которых приведен автором в главе 5, значения таких осадок сокращаются уже в 8,8 раз.

В результате исследований автором на основании расчета критерия технологичности были определены рациональные области применения опускных колодцев для устройства заглубленных объемов зданий и сооружений различного назначения, в том числе канализационных насосных станций и элементов фундаментов высотных зданий.

a)



б)



в)

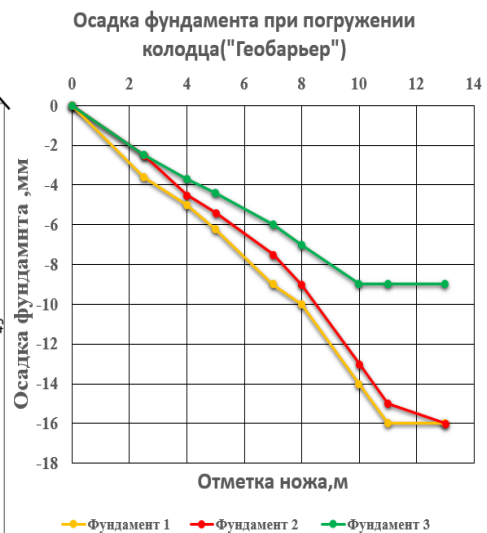
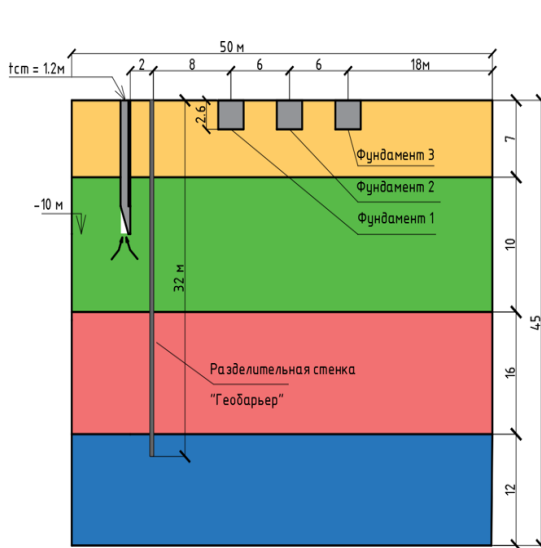


Рисунок 4.21 – Результаты численного моделирования технологических режимов погружения опускных колодцев и осадки конструкций фундаментов зданий, прилегающих к участку застройки. Технологические режимы погружения в тиксотропной рубашке: с последовательной разработкой грунта из его полости (а); то же, с извлечением грунта преимущественно из каналов в стенах (б); то же, с созданием защитного барьера вдоль охраняемых конструкций фундаментов

Выявлены и сформулированы критерии дальнейшего совершенствования способа в целях его реализации в условиях городской застройки, направленные на минимизацию деформаций окружающей застройки. На основе анализа полученных результатов обоснована инновационная технология погружения опускных колодцев для стесненных условий городской застройки и напластований слабых грунтов. Получены технологические параметры погружения колодца посредством его поярусного задавливания с одновременным извлечением грунта из вертикальных трубчатых каналов внутри его стен, в которых перемещают вибрационные грейферы.

При расчете затрат установлено, что предлагаемое решение по сравнению с устройством монолитной стены в грунте и перекрытий способом «сверху вниз» экономичнее на 12 %. При этом сокращение сроков строительства заглубленных конструкций в зависимости от инженерно-геологических условий участка работ может составить до 30–40 %.

Кроме того, на основе анализа критериев технологичности выявлен эффективный способ транспортирования грунта из колодцев диаметрами свыше 30 м с применением ленточных конвейеров и регулированием угла их наклона [49, 142]. Их предварительно устанавливают по восходящей винтовой цилиндрической внутренней поверхности колодца (рисунок 4.22). На уровне «нулевой» отметки необходимо выполнить приемную эстакаду, которую перемещают по мере погружения колодца в направлении установки наклонных конвейеров. Ее оснащают горизонтальным конвейером, который будет перемещать и удалять грунт из колодца в автотранспорт на вывоз.

Для практической реализации способа, этапы которого представлены на рисунке 4.23, первоначально монтируют стартовый конвейер на уровне поверхности грунта, в который будет выполняться выгрузка грунта экскаватором или автопогрузчиком. При этом раму конвейеров, на которой установлены его основные компоненты (транспортная лента, мотор-редуктор и роликоопоры), крепят на стенах опускного колодца через консольные опоры посредством химических анкеров. При необходимости для удобства погрузки грунта на ленту конвейера над ней устанавливают приемный бункер.

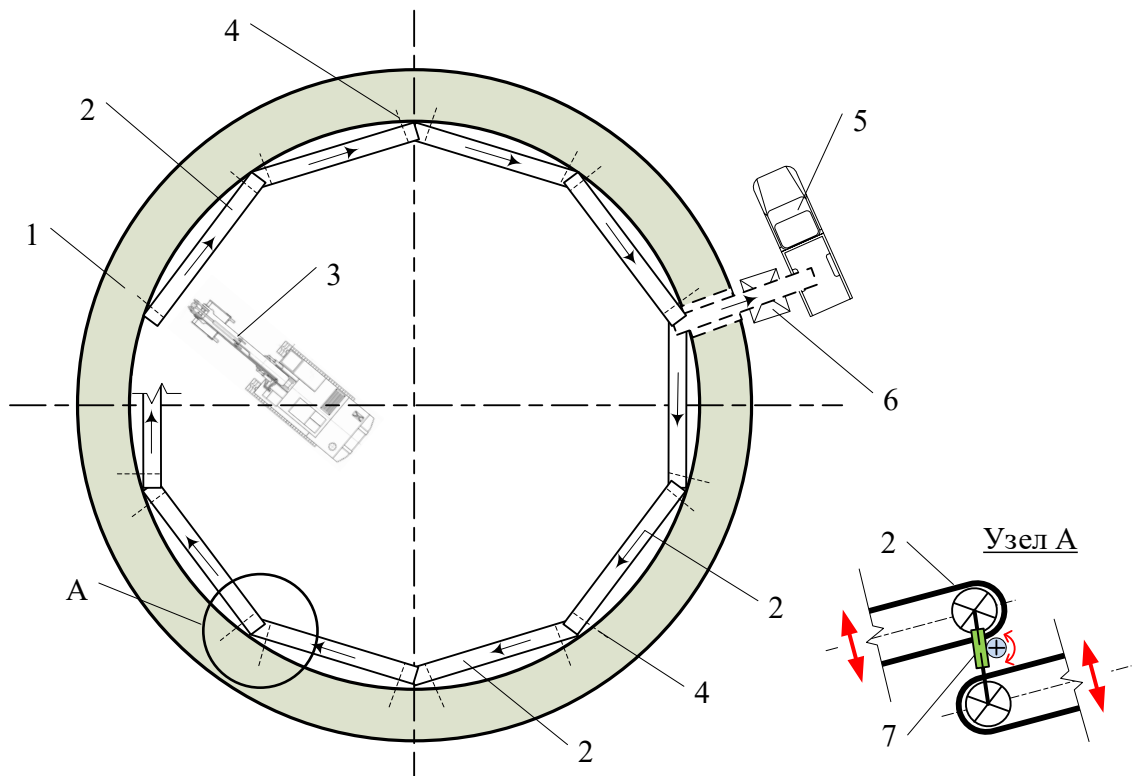


Рисунок 4.22 – План-схема организации работ: 1 – стена опускного колодца; 2 – наклонные ленточные конвейеры; 3 – экскаватор или автопогрузчик на уровне забоя в полости колодца; 4 – элементы крепления в виде консолей с анкерами; 5 – автосамосвал при вывозе грунта на поверхность; 6 – горизонтальный конвейер на верхнем торце колодца; 7 – талреп с электроприводом для регулирования угла наклона конвейеров в зависимости от характеристик транспортируемого грунта [49]

Для повышения эффективности способа предлагается выполнять дистанционное регулирование угла наклона конвейеров в зависимости от коэффициента трения транспортируемого грунта по лентам. Это осуществляется посредством различных технических средств – например, в виде талрепов, соединенных с рамой конвейеров и оснащенных электроприводами. Последние позволяют с пульта оператора регулировать угол наклона талрепов (рисунок 4.22, узел А).

Комплекс указанных технических решений позволит минимизировать эффект проскальзывания грунта при его транспортировании за счет изменения угла наклона лент конвейеров в зависимости от показателей трения породы о ленту, а также существенно повысить производительность работ без применения крупногабаритных строительных машин (башенных кранов, грейферов и т. п.).

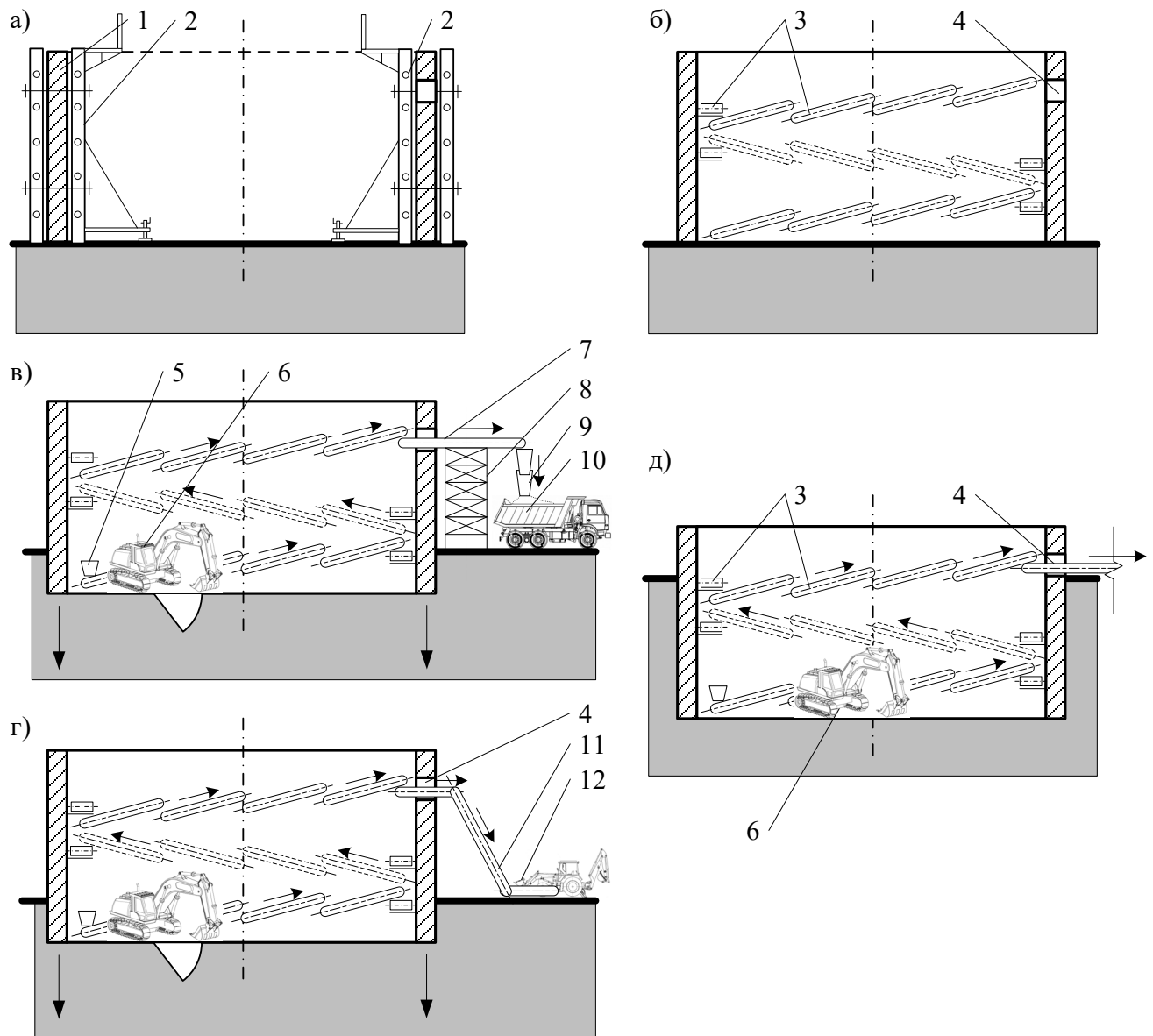


Рисунок 4.23 – Технологическая схема погружения опускного колодца (поперечные разрезы): а – бетонирование ножевой части, конструкция которой условно не показана, и стен первого яруса колодца; б – монтаж наклонных конвейеров на стенах колодца; в, г – соответственно погружение колодца при разработке грунта на забое экскаватором с транспортированием за пределы колодца по горизонтальному или по сегментному конвейеру (типа Кобра); д – погружение колодца на глубину первого яруса, подготовка к бетонированию стен второго яруса, герметизация технологического окна; 1 – стены колодца; 2 – опалубка; 3 – наклонные конвейеры, монтируемые на внутренних поверхностях стен колодца; 4 – сквозной технологический прямоугольный проем для удаления грунта; 5 – приемный желоб для подачи грунта; 6 – экскаватор (автопогрузчик) на забое; 7 – горизонтальный конвейер; 8 – опускаемая удерживающая конструкция; 9 – желоб для подачи грунта в автотранспорт (10); 11 – сегментный конвейеру (типа Кобра); 12 – экскаватор [49]

#### 4.5. Выводы по четвертой главе

В четвертой главе сформирован комплексный научный подход решения многокритериальных задач обоснования выбора способов устройства ограждений котлованов и их креплений в условиях городской застройки и возведения перемычек на акваториях.

1. Посредством алгоритма, реализованного в программном комплексе, получены зависимости изменения сравнительной эффективности применения способов устройства ограждений котлованов с учетом изгибной жесткости элементов. Для значений до  $200 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/м}$  обосновано следующее распределение применения таких способов:

- вдавливание железобетонного шпунта шириной 300–400 мм ( $J_i = 1,00$ );
- вибрационное погружения стального шпунта типа Л5ум ( $J_i = 0,9$ );
- устройство монолитных ограждений толщиной 600 мм по бурсмисельной технологии ( $J_i = 0,84$ );
- то же, стен в грунте, выполняемых грейферами ( $J_i = 0,53$ );
- то же, из бурокасательных свай в обсадных трубах диаметром 600 мм ( $J_i = 0,42$ );
- устройство стен в грунте с контрфорсными элементами ( $J_i = 0,38$ ).

При значениях изгибной жесткости  $300 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/м}$  эффективны способы погружения трубошпунта типа Т-1420 ( $J_i = 1,00$ ) и устройство стен в грунте с контрфорсами ( $J_i = 0,70$ ).

2. По критерию  $J_i$  обоснованы эффективные области применения способов устройства ограждений в зависимости от глубины котлованов  $H_K$ : из элементов заводского изготовления  $H_K \leq 15 \text{ м}$  ( $J_i = 0,75\text{--}0,95$ ); из буровых свай  $H_K \leq 20 \text{ м}$  ( $J_i = 0,40\text{--}0,90$ ); из монолитных стен в грунте  $H_K \leq 30 \text{ м}$  ( $J_i = 0,20\text{--}0,70$ ); из опускных колодцев  $H_K \leq 65\text{--}70 \text{ м}$  ( $J_i = 0,10\text{--}1,00$ ).

Получены зависимости влияния показателя ширины и глубины котлована на параметры устройства элементов креплений его ограждений в геологических разрезах с напластованиям водонасыщенных четвертичных отложений. Для изго-



товления элементов креплений ограждений из стальных балок получены следующие распределения их эффективности: из подкосов для глубины котлованов  $H_K \leq 5$  м ( $J_i = 0,00-0,10$ ); из горизонтальных балок  $H_K \leq 20$  м ( $J_i = 0,65-0,10$ ); островной способ с грунтовым бермами и подкосами, закрепляемыми в фрагменты фундаментных плит  $H_K \leq 15-17$  м ( $J_i = 0,80-0,10$ ). Для изготовления систем креплений в условиях строительных площадок получены следующие распределения их эффективности: с устройством грунтоцементных диафрагм  $H_K \leq 10$  м ( $J_i < 0,60$ ); то же, грунтовых анкеров  $10 < H_K \leq 20$  м ( $J_i < 0,65$ ); способ с устройством сплошных монолитных перекрытий «сверху вниз»  $15 < H_K \leq 30-35$  м ( $J_i < 0,80$ ); то же, с их сегментами  $15 < H_K \leq 30-35$  м ( $J_i < 0,90-0,95$ ).

3. Обоснованы области применения ограждений котлованов из стального шпунта, погружаемого в городской застройке при высокочастотных режимах гармонических колебаний в условиях «срыва» относительно прилегающего массива грунта. При этом определен эффективный способ виброударного заглубления шпунта в плотные грунты без деформаций его стенок и разрывов замков. Такой способ обеспечивал устойчивость и водонепроницаемость возводимого шпунтового ограждения. Таким образом, была проверена адекватность методического подхода расчета значений критериев технологичности для выбора эффективных способов устройства ограждений котлованов.

4. Установлены эффективные режимы погружения опускных колодцев для создания подземных объемов зданий и сооружений при минимальных значениях технологических деформаций близкорасположенных зданий и сооружений. В результате получены критерии технологичности, основанные на сравнительной эффективности применения такого способа:

- с заполнением полости колодца водой или глинистым раствором ( $J_i = 0,20-0,90$ );
- предварительным рыхлением грунта ( $J_i = 0,60-0,70$ );
- погружением в тиксотропной рубашке ( $J_i = 0,60-0,65$ );
- задавливанием ( $J_i = 0,50-0,65$ );
- антифрикционными обмазками ( $J_i = 0,50-0,60$ );

- предварительным устройством фильтрационных завес ( $J_i = 0,50$ );
- при совершенствовании конструкции ножевой части с разработкой грунта из-под ножа ( $J_i = 0,40-0,50$ ).

По результатам выполненного анализа предложена инновационная технология погружения колодца с опережающей разработкой грунта в зоне ножа, без извлечения грунта из внутренней полости, с принудительным погружением задавливаем. Транспортирование грунта из полости колодца выполняют ленточными конвейерами, последовательно установленными на внутренней поверхности его стен. При этом, в зависимости от значений коэффициента трения грунта по ленте, изменяют угол наклона конвейеров.

5. При анализе критериев технологичности решена задача выбора и совершенствования способов, обеспечивающих комплексную надежность конструкций перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра.

На основе расчетов критерия технологичности определены факторы, обеспечивающие их устойчивость и водогрунтонепроницаемость. Они распределены следующим образом согласно убыванию их эффективности:

- режим вибрационного воздействия ( $J = 0,82-1,00$ );
- вибрационное погружение ( $J = 0,62$ );
- свободная установка ( $J = 0,52$ ).

Обоснован перспективный способ виброударного заглубления при свободной установке вибротехнических средств на торце оболочки. Технический эффект заключается в достижении устойчивого режима работы вибрационных машин (в режиме один удар на оборот валов дебалансов), объединенных через подпружиненные стержни с траверсой-пригрузкой.

## **Глава 5. ВЫБОР СПОСОБОВ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ В ГРУНТЕ**

### **5.1. Анализ значений критерия технологичности для способов устройства различных систем защиты зданий и сооружений**

В современных условиях развития транспортной инфраструктуры, активной реновации объектов промышленного производства и строительства различных объектов существующие конструкции фундаментов зданий и сооружений, включая инженерные сети, находятся под постоянным влиянием источников динамического возмущения, распространяющегося в грунте. Такие воздействия в «неблагоприятных» грунтовых условиях в виде залегания слоев слабых, водонасыщенных грунтов, проявляющих тиксотропные свойства, могут привести к недопустимым деформациям конструкций существующих конструкций фундаментов и подземных коммуникаций или негативно сказываться на состоянии жильцов, проживающих на территории указанных объектов либо вблизи них. Очевидно их отрицательное влияние на работоспособность школ, больниц, детских садов и т. п.

Источники динамических воздействий имеют различное происхождение: в частности, сейсмическое или техногенное (возникающее от движения транспорта, эксплуатируемого промышленного оборудования, работы строительных машин – копров, кранов, навесных молотов и т. п.). Кроме того, такие воздействия могут быть следствием чрезвычайных ситуаций различного происхождения [4, 14, 15, 68, 86, 115, 116, 131, 132].

Наиболее негативно воздействуют на заглубленные конструкции поверхностные волны Релея от указанных источников. Савиновым О. А. и другими [115, 116] установлено, что частота техногенных вибраций варьируется в пределах 2–80 Гц (по другим источникам – от 10 до 100 Гц). При скорости распространения 160 м/с и частоте 8 Гц (480 об/мин) длина волны составляет 20 м; при этом 70 %

энергии таких волн распространяется у поверхности – как раз в зоне, где находятся подземные конструкции большинства зданий и сооружений. При этом для одинаковых грунтовых условий с увеличением частоты колебаний источника уменьшается длина волны. Например, при ее скорости распространения в 150 м/с при частоте колебаний 100 кол./мин длина волны составляет 90 м; соответственно, при частоте колебаний 1000 об/мин длина волны равна 9 м. Установлено, что на глубине 3 м, по сравнению с такими же значениями на поверхности, амплитуда колебаний сокращается в 2 раза – с 30 до 15 мм – и далее продолжает монотонно затухать [4].

Кроме того, их энергия воздействует на грунтовый массив на глубине не более 0,5 их длины (рисунок 5.1). Имеются экспериментальные данные по снижению интенсивности динамического воздействия при устройстве экранов из скважин глубиной 8 м, в которые погружали перфорированные трубы диаметром 48,0 мм и выполняли закрепление массив грунта посредством его цементации [83].

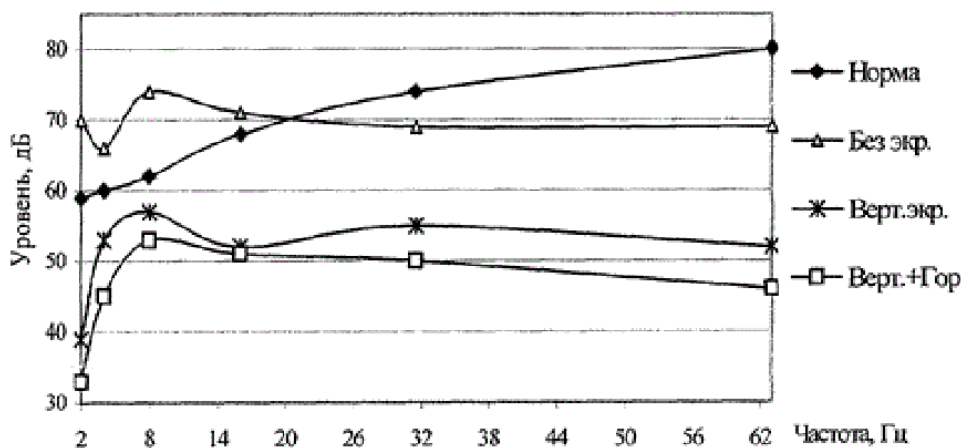


Рисунок 5.1 – Изменение интенсивности колебаний поверхности грунта при воздействии волн Релея при устройстве в грунте защитных экранов #

Из графика, представленного на рисунке 5.1, следует, что при устройстве вертикальных экранов в грунте произошло снижение интенсивности вибрационных воздействий на 15 дБ (снижение амплитуд было примерно пятикратным при пороговом значении виброскорости  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с), что может говорить об эффективности способа устройства экранов в грунте. Такой эффект объясняют снижением интенсивности сейсмических колебаний за счет уменьшения дифракционного поля поверхностных волн и повышения сейсмической жесткости грунтов основания [86].

Отсюда следует важный вывод: при устройстве защитных сооружений в грунте необходимо обеспечить их погружение до глубины как минимум 6 м от уровня поверхности обреза фундамента. Это обеспечит сохранность большинства заглубленных конструкций зданий, возводимых в условиях городской застройки.

Известны следующие процессы, протекающие в пластичных грунтах при воздействии на них динамических возмущений [4]:

- дополнительная сжимаемость или виброкомпрессия;
- развитие сдвиговых и объемных деформаций, особенно при длительном воздействии;
- разжижение.

Такие явления отрицательно влияют на конструкции фундаментов зданий и сооружений любых типов, особенно в случае зданий старого фонда, с фундаментами мелкого заложения, что приводит к потере их несущей способности и неравномерным осадкам.

Отсюда следует практически важный вывод о необходимости разработки систем защиты (преимущественно в виде экранов в грунте), основанных на различных физических принципах гашения динамических импульсов. Такие решения требуют разработки специальных технологий их устройства, обеспечивающих безопасность конструкций зданий.

Известно, что передача энергии динамических воздействий в массиве грунта к конструкциям здания происходит за счет его упругих свойств; при этом часть энергии изначального воздействия теряется, в том числе за счет следующих физических процессов:

- поглощения массивом грунта его деформаций;
- рассеяния от различных преград, неоднородностей, изменения плотности слоев в пределах геологического разреза;
- геометрического затухания при расхождении фронта воздействия по мере удаления от его источника.

С точки зрения практической реализации систем защиты, расположенных отдельно от сохраняемых фундаментов, используют два первых физических про-

цесса (или их комбинации), а именно отражение проходящих волн воздействия и демпфирование их энергии за счет применения различных поглощающих элементов или устройств. С учетом этих предпосылок на практике применяют следующие системы защиты [4, 14, 15, 68, 86, 116, 131, 132]:

А. *Открытые траншеи, щели, скважины с прямыми или наклонными стенками.* Причем известно, что такое технологическое решение, обладая простотой реализации, эффективно при распространении в грунте упругих волн небольшой длины и с высокой частотой возмущения.

Б. *Открытые траншеи (скважины) с их заполнением различными материалами,* которые придают устойчивость стенкам выработки и выполняют функции демпфирования энергии динамического возмущения, возникающего при их упругом деформировании. Для этого применяют смесь щебня и резиновой крошки, пакеты с опилками, вспененный полистирол, емкости с жидкостями или панели с газовыми подушками. Кроме того, для таких целей предлагают применять пустотелые упругие элементы (автомобильные покрышки и т. п.), которые при распространении в массиве грунта динамических возмущений гасят их энергию за счет упругого сжатия воздуха. В развитие этих идей, в работе [65] показан положительный опыт применения экранов, собранных из герметичных емкостей (ячеек) шириной 15 см, заполняемых газом, погружаемых в траншею с бентонитовым раствором.

В. *Экраны, создаваемые посредством насыщения или аэрации,* что особенно эффективно при работе в водонасыщенных грунтах. Этим достигают образования на пути распространения фронта ударной волны зон аэрированного грунта. Так, при введении в массив песчаного грунта 5–6 % объема газа происходит снижение энергии ударной волны в 20–30 раз, а при уменьшении значений скорости развития давления в поровой воле – в 100–200 раз [2, 3]. Волны отражаются на границе экрана с грунтом большей плотности; кроме того, происходит затухание их энергии в слое аэрированного грунта.

Для их создания вибрационным способом в грунт погружают трубы с перфорацией, через которые производят нагнетание воздуха. Показано, что введение

воздуха в объеме 4–5 % является достаточным для снижения упругости грунта примерно в 40–60 раз при давлении подачи компрессором, превосходящим природное давление грунта в 4 раза [68].

Г. *Монолитные стены в грунте преимущественно траншейного типа*, выполняемые различными способами. Для повышения сейсмоизолирующего эффекта монолитные стены зачастую выполняют из замкнутых сегментов, соединяемых под разными углами [68]. В данном случае предполагается, что возникнет эффект, при котором при отражении сейсмических волн от плоскостей сегментов грунт будет смещаться в центр замкнутого экрана и тем самым уплотнится с обеспечением более полного контакта с поверхностью фундамента здания.

При устройстве экранов посредством струйной цементации применяют режим параллельного размыва и аэрации грунтоцементного массива водогрунтовой пульпой. Цель – достижение плотности грунта не менее  $1,4 \text{ г/см}^3$  [4].

Д. *Экраны, состоящие из элементов с жидкостными демпферами*, энергию динамического воздействия в которых снижают за счет проталкивания вязкой жидкости между их замкнутыми полостями через гидравлические дроссели. Такие элементы жестко соединяют между собой и погружают в грунт вдоль сохраняемых конструкций фундаментов.

С учетом выполненного обзора автором установлены различные способы и технологические режимы возведения в грунте систем защиты существующих зданий и сооружений от динамических воздействий в грунте. Выполнен анализ эффективности применения таких способов в условиях стесненной застройки и наличия в геологических разрезах напластований слабых водонасыщенных грунтов.

Установлено, что представленные конструктивно-технологические решения отличаются как по физическим процессам, происходящим при гашении энергии динамического воздействия, так по затратам, необходимым на их возведение, по комплексу механизации и т. п. Таким образом, оценку их эффективности и определение рациональных областей применения следует выполнять исходя из анализа значений критерия технологичности. Вместе с тем оптимизацию параметров их

возведения (в отличие от подходов, предложенных автором для способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов) необходимо выполнять с учетом следующих дополнительных показателей:

- уровня индустриализации производства работ в стесненных условиях городской застройки;
- обеспечения эффекта снижения интенсивности динамического воздействия в условиях неустойчивых водонасыщенных грунтов;
- ремонтпригодности как приспособленности сооружений к восстановлению и замене, что следует учитывать при повторяющихся динамических воздействиях, распространяющихся в грунте.

При этом задача совершенствования конструктивно-технологических решений таких сооружений будет заключаться в анализе изменчивости системы с учетом целевой функции, представляющей собой следующее математическое выражение:

$$F(m_1, m_2, m_3, m_4) \rightarrow \text{extr}_{F \rightarrow \max} \rightarrow m_1^0, m_2^0, m_3^0, m_4^0, \quad (5.1)$$

где  $m_1^0, m_2^0, m_3^0, m_4^0$  – оптимальные группы показателей (по критерию  $F \rightarrow \max$ ) в заданных условиях функционирования.

Поставленная задача решена автором посредством нахождения функционала (5.1) при известных нормализованных значениях простых показателей и их коэффициентов весомости при учете указанных выше критериев.



## 5.2. Исследование областей применения различных способов устройства систем защиты

В предыдущем подразделе автором были установлены основные направления оптимизации конструктивно-технологических параметров способов защиты зданий и сооружений от воздействия динамического возмущения, распространяющегося в грунте.

При анализе соответствующих им технологических параметров в условиях производства работ в городской среде следует стремиться к полной индустриализации применяемых конструкций, чтобы сократить время работы на площадке и тем самым минимизировать ограничения в эксплуатации территории вблизи существующих зданий и сооружений. Для этого необходимо оценивать значения коэффициента внутрисменного использования рабочего времени машин ( $K_{ВИ} = T_{РАБ} / T_{СМ}$ ), который характеризует продолжительность использования машин на объекте по прямому назначению. Он определяется исходя из количества фактически отработанных машино-часов ведущей машиной ( $T_{РАБ}$ ) по отношению к средней продолжительности смены ( $T_{СМ}$ ). Причем непосредственно на строительной площадке значение этого коэффициента определяют средствами хронометража отработанного ведущими машинами времени в течение рабочей смены. Фактическое значение этого коэффициента составляет от 0,15–0,30 до 0,70–0,90. Его изменение можно принять по построенной автором графической зависимости, представленной на рисунке 5.2.

С учетом графических зависимостей, показанных на рисунке 5.2, можно дать следующую характеристику представленных выше способов:

- I – с эффективным использованием рабочего времени машин со значениями коэффициента  $K_{ВИ}$  от 0,65–0,7 до 0,9. Для этих способов характерно погружение в грунт элементов заводского изготовления с максимальным использованием времени строительных машин или устройства скважин без их дополнительного обустройства;

- II – способ с рациональным использованием рабочего времени машин со значениями коэффициента от 0,45 до 0,65–0,7;
- III – способ с нерациональным использованием рабочего времени машин со значениями коэффициента от 0,25 до 0,45. Для этого способа характерны простои машин, вызванные необходимостью проведения вспомогательных технологических операций (изготовление арматурных каркасов, приготовление буровых растворов или бетонных смесей, операции по погружению в грунт буровых мониторов, направляющих штанг и т. п.), в том числе выполняемых вручную.

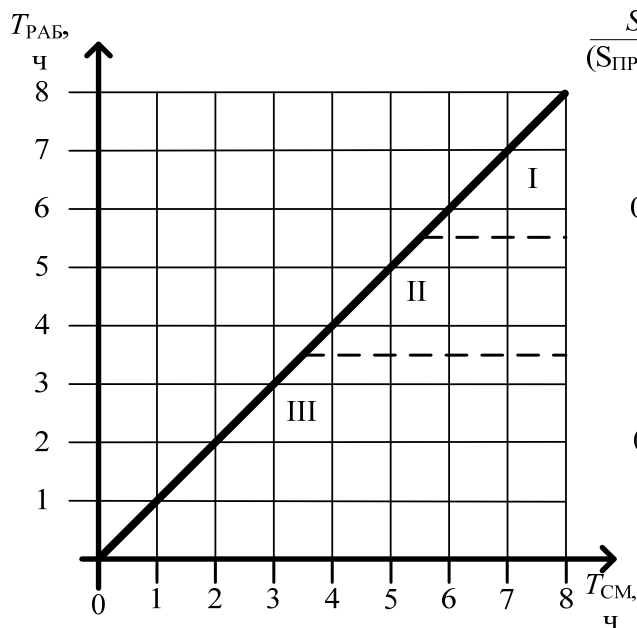


Рисунок 5.2 – Графические зависимости, определяющие эффективность использования машин при устройстве систем защиты в грунте:  $T_{СМ}$ ,  $T_{РАБ}$  – соответственно продолжительность рабочей смены и фактически отработанное время ведущей машиной. I–III – области эффективности способов

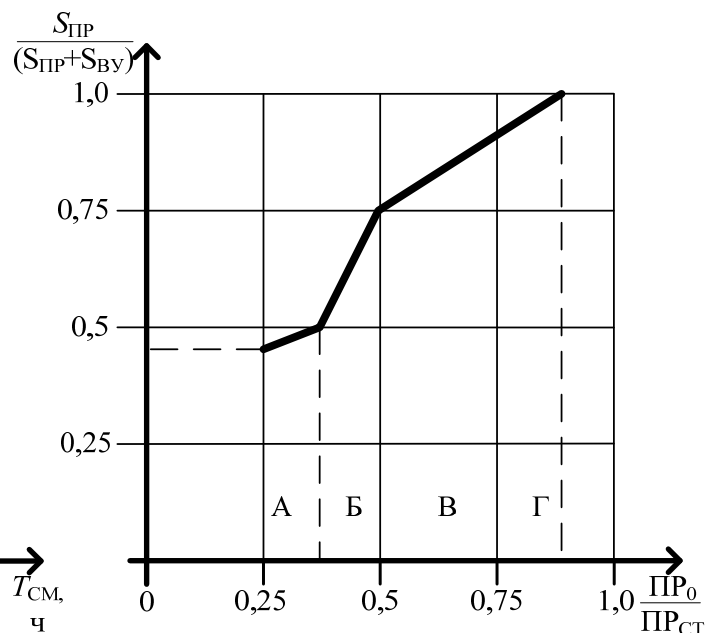


Рисунок 5.3 – Графические зависимости изменения относительного показателя производительности в зависимости от показателя площади участков работ: А–Г – характерные участки изменения производительности работ для различных технологий;  $S_{ПР}$ ,  $S_{ВУ}$  – соответственно площади строительной площадки для размещения строительных машин и вспомогательных участков;  $ПР_0$ ,  $ПР_{СТ}$  – соответственно значения продолжительности работ в «нормальных» и стесненных условиях

При устройстве таких систем в «городских» условиях эффективность способов следует оценивать на основании значений показателя размещения вспомогательных участков  $S_{ВУ}$ ; складирования; размещения заводов для приготовления

бетонной смеси, глинистого завода, площадок укрупнительной сборки арматурных каркасов и т. п. Данный показатель автор предлагает принимать в долях от площадей, необходимых для размещения участка работ с ведущими строительными машинами, задействованных в основном производственном цикле ( $S_{\text{ПР}}$ ). Соответственно, если значение показателя  $S_{\text{ВУ}} = 1,2-1,4 S_{\text{ПР}}$ , то для размещения вспомогательных участков потребуются площади, значения которых на 20–40 % превышают фактические площади строительных площадок.

Для таких условий автором проведены исследования изменения относительного показателя продолжительности возведения систем ( $\text{ПР}_0 / \text{ПР}_{\text{СТ}}$ ) в зависимости от показателя наличия вспомогательных участков, необходимых для реализации способов. Здесь  $\text{ПР}_0$ ,  $\text{ПР}_{\text{СТ}}$  – соответственно значения продолжительности работ на строительных площадках на свободных и застроенных участках. Таким образом, чем меньше значение показателя  $\text{ПР}_0 / \text{ПР}_{\text{СТ}}$ , тем ниже эффективность технологии в стесненных условиях. Его изменение исследовалось автором в зависимости от показателя, определяющего структуру площади участка работ, а именно долю площадей, приходящихся на размещение машин к вспомогательным участкам:  $S_{\text{ПР}} / (S_{\text{ВУ}} + S_{\text{ПР}})$ . Соответственно, чем меньше его значение, тем больше вспомогательных площадей требуется для реализации основного процесса по устройству систем защиты в грунте.

Результаты исследований изменения соотношений указанных показателей приведены на рисунке 5.3. Они получены на основании хронометража различных технологических процессов, выполняемого на различных строительных площадках в городских условиях.

На основе комплексного анализа графических зависимостей, представленных на рисунках 5.2 и 5.3, можно сделать следующие практически важные выводы. Показатель производительности при устройстве систем защиты в стесненных условиях городской застройки меняется в зависимости от структуры площадей, занятых при производстве работ. Кроме того, автором установлено, что для технологических процессов при увеличении площади, необходимой для размещения вспомогательных участков, снижение производительности составляет 25–30 %.

С учетом этого рассматриваемые способы можно разместить следующим образом в порядке возрастания эффективности их применения в стесненных условиях:

А. Стены в грунте траншейного типа:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,25-0,40$
Б–В. С укреплением массива грунта методами струйной цементацией:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,40-0,60$
В–Г. С погружением систем с гидравлическими демпферами:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,60-0,80$
В. С применением систем глубинного смешивания грунта:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,60 - 0,70$
Г–В. То же, с их заполнением различными материалами:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,75-0,85$
Г. Открытые транши, щели, скважины:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,8-0,9$
Г. Экраны из аэрированного массива водонасыщенного грунта:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,80-0,90$
Д. Погружение элементов с гидравлическими демпферами:	$PP_0 / PP_{CT} = 0,70-0,85$

Результаты анализа представленной совокупности способов с учетом потребности в оборудовании для их реализации представлены в таблице 5.1.

Анализ значений показателей, приведенных в таблице 5.1 (в совокупности с графическими зависимостями, представленными на рисунках 5.1 и 5.2), говорит о том, что для устройства систем защиты в грунте следует принимать технологические процессы, характеризующиеся наименьшими площадями для установки вспомогательного оборудования, максимальным использованием рабочего времени машин и минимальным использованием вспомогательных операций, выполняемых на строительных площадках.

Кроме того, для решения поставленной задачи следует учитывать особенности устройства таких систем в условиях напластований в грунтовом массиве слабых водонасыщенных глинистых грунтов. Для таких грунтов характерны различные негативные явления, представленные в таблице 5.3. При неправильно выбранных технологических режимах в грунтовом массиве происходит нарушение сплошности устраиваемых экранов в виде наличия различных дефектов – раковин, вымывания бетона, включения грунта в структуру выполняемого защитного барьера, – что приводит к потере его работоспособности. Помимо прочего, скважины или траншеи с незакрепленными стенками выполнить без запыливания их

грунтом практически невозможно. Это, в свою очередь, приводит к просадкам поверхности грунта, примыкающей к ограждению, и вызывает дополнительные технологические осадки конструкций фундаментов существующих зданий.

Таблица 5.1 – Показатели эффективности применения способов устройства различных систем защиты от динамических воздействий, распространяющихся в грунте

Технологии устройства систем защиты	Принцип демпфирования энергии динамического воздействия	Состав комплекта механизации	Показатель использования площадей размещения вспомогательных участков, $S_{ВУ}$	$K_{И}$	$K_{ВИ}$
Устройство траншей, щелей, скважин	Рассеяние	Экскаватор, бульдозер, буровая установка	$(0,20-0,25) S_{ПР}$	0,5–1,0	0,80–0,90
То же, с их заполнением различными материалами	Рассеяние и поглощение при деформации заполнителя	То же	$(0,30-0,50) S_{ПР}$	0,5	0,70
Экраны из аэрированного массива водонасыщенного грунта	Поглощение при деформации аэрированного массива	Буровая установка или кран с вибрационным погружателем, перфорированная труба, компрессор	$0,10 S_{ПР}$	1,0	0,60–0,75
Стены в грунте траншейного типа: – традиционные решения из монолитного бетона  – то же, сборные панели	Поглощение в массиве стены в грунте	Кран (3 шт.), грейферный ковш, арм. участок, бетонные трубы, завод для приготовления глиняного раствора и бетонной смеси, экскаватор, бульдозер, а/м Кран, грейферный ковш, завод для приготовления глиняного раствора, экскаватор, бульдозер, а/м	$(2,0-3,0) S_{ПР}$  $(2,0-2,5) S_{ПР}$	0,10–0,25	0,2–0,45
С закреплением массива грунта методами струйной цементации	То же	Буровая установка, завод для приготовления цементного раствора, силосы для хранения цемента, грязевой насос, пульпосборник	$(1,10-2,0) S_{ПР}$	0,25	0,4–0,50
С применением систем глубокого смешивания грунта	»	Буровая машин, бетонный насос, автобетоновоз	$(0,70-0,95) S_{ПР}$	0,3	0,50–0,60
С погружением систем с гидравлическими демпферами	Поглощение при перетоке вязкой жидкости	Самоходный кран, вибропогружатель, самоходная буровая установка	$(0,40-0,50) S_{ПР}$	0,5	0,60–0,80

*Примечание:*  $S_{пр}$  – площади, необходимые для размещения участка работ с ведущими строительными машинами (кранами, буровыми установками, экскаваторами и т. п.);  $K_{и}$  – коэффициент использования комплекта механизмов (его значение можно рассчитать отношением  $K_{и} = K_{о} / K_{в}$ , где  $K_{в}$  – количество вспомогательных машин, используемых при устройстве систем защиты (не учитываются сварочные посты и средства малой механизации);  $K_{о}$  – то же, задействованных в основном технологическом процессе;  $K_{ви}$  – коэффициент внутрисменного использования рабочего времени машин).

В этой связи автором был выполнен анализ технологических процессов, происходящих при разработке грунта для указанных выше способов, в ходе которого были выявлены характерные для них режимы, ведущие к нарушению сплошности устраиваемых конструкций. Результаты таких исследований приведены на схемах, представленных на рисунке 5.4.

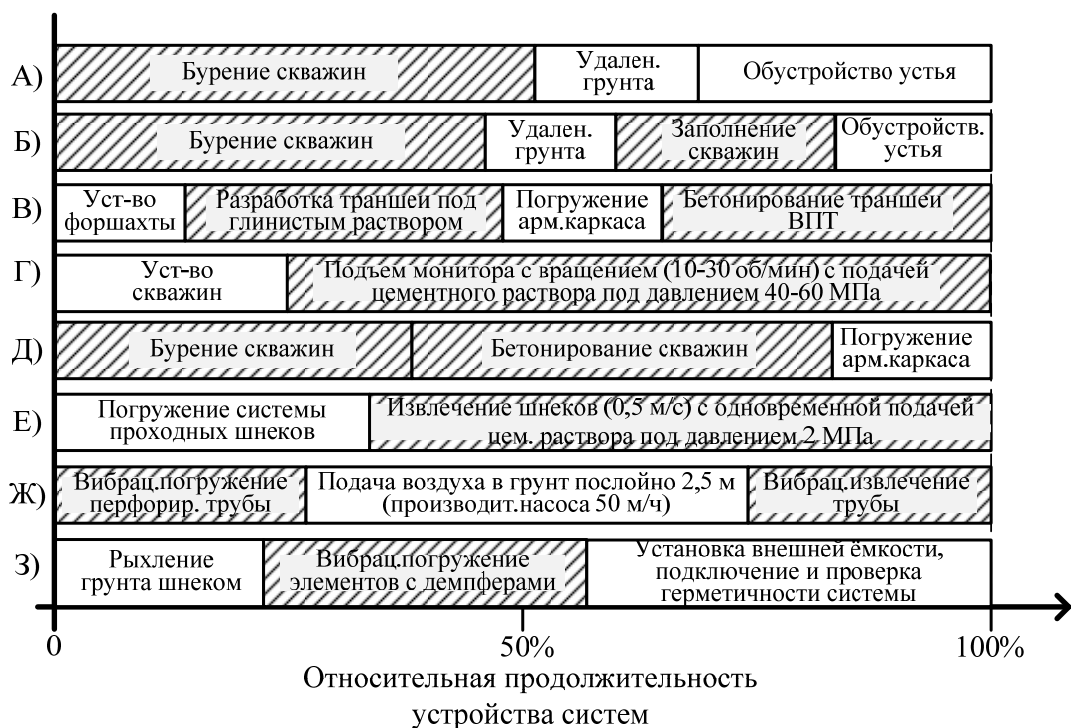


Рисунок 5.4 – Технологические этапы устройства систем защиты в грунте: а, б – соответственно устройство экранов из открытых траншей, щели и скважины, в том числе с их заполнением различными материалами; в – устройство траншейной стены в грунте; г – закрепление массива грунта методами струйной цементацией; д – устройство касательных или секущих буровых свай; е – то же, глубинного перемешивания породы; ж – устройство экранов из аэрированного массива грунта; з – погружение элементов с гидравлическими демпферами

На рисунке 5.4 выделены технологические операции, которые вызывают как различные негативные процессы в виде расструктурирования массива грунта, так и нарушение целостности защитных экранов. Их качественный анализ представлен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технологические факторы, характерные для различных способов возведения защитных экранов, приводящие к нарушению структуры массива грунта

Технологии устройства системы защиты	Технологический фактор	Влияние на структуру грунта	Количество основных технологических этапов / то же, с вероятным снижением качества работ	Способы снижения негативного воздействия факторов
1	2	3	4	5
Устройство открытых траншей, щелей, скважин	Процесс резания породы и ее извлечения на поверхность шнеком	Возможное извлечение грунта сверх расчетного объема. Разрушение массива грунта под буровой коронкой. Оплывание стенок скважины при эксплуатации	3/1	Не имеется
То же, с их заполнением различными материалами	То же	То же	4/2	–
Стены в грунте траншейного типа из монолитного бетона	Разработка траншеи под глинистым раствором. Бетонирование методами ВПТ	Потеря устойчивости стенок траншеи. Перебор грунта. Аварийный перерасход раствора при его прорыве в породе. Перерасход бетонной смеси при ее «уходе» в слоях слабого грунта. Появление дефектов в виде раковин	7/3	Изменение параметров бурового раствора, сокращение длины захватки
То же, при устройстве экраном из касательных или секущих свай	Бурение скважин преимущественно шнеками и заполнение под давлением их бетонной смесью	Извлечение сверх расчетного объема грунта. Расплыв (уход) бетонной смеси в пластах слабого грунта. Нарушение качества экрана в грунте	4/2	В зависимости диаметра скважин (свыше 400 мм отказ от применения технологии вблизи существующих конструкций)
С закреплением массива грунта методами струйной цементацией	Размыв в грунте полостей и заполнение их грунтоцементным материалом с образованием грунтоцементной сваи	Образование в толще слабого грунта полостей, не заполненных раствором. Нарушение качества экрана в грунте	4/2	Не имеется

1	2	3	4	5
С применением систем глубинного смешивания грунта	Извлечение бурового инструмента (0,5 м/с) из скважины с одновременной подачей раствора (В:Ц 0,5–2,0) под давлением 2 МПа	Распływ раствора в пластах слабого грунта. Нарушение монолитности защитного экрана в грунте, образование в нем полостей, заполненных грунтом	2/1	Не имеется
Экраны из аэрированного массива водонасыщенного грунта	Вибрационное погружение и извлечение трубы	Разуплотнение структуры грунта	4/1	Лидерное рыхление грунта
С погружением систем с гидравлическими демферами	Вибрационное погружение стальных элементов с гидравлическими демферами	При погружении с предварительным рыхлением грунта воздействие на его структуру минимально	5/1	То же

Анализ данных таблицы 5.2 позволяет сделать практически важный вывод об эффективности применения способа устройства систем защиты с гидравлическими демферами, для которых характерно сохранение качества изготавливаемой в грунте конструкции.

Основными факторами, приводящими к технологическим деформациям существующих зданий и сооружений, являются подъем (просадки) поверхности грунта или динамические воздействия, распространяющиеся в его массиве. Эти явления на практике чаще всего устраняют разбуриванием или предварительным рыхлением грунта, изменением технологических режимов и т. п.

Из ранее установленных критериев оптимизации следует, что для решения задач защиты конструкций фундаментов нужно, в частности, разрабатывать системы, воспринимающие повторяющиеся динамические воздействия, а также учитывать необходимость проведения ремонтов, возникающих при эксплуатации внутривортовых территорий в связи с прокладкой коммуникаций. При этом системы в грунте могут быть частично демонтированы или разрушены. В этой связи на основании существующих критериев оценки строительной продукции (ГОСТ 4.200–78) следует оценивать показатели ремонтпригодности и эксплуатационной надежности.



В рамках решаемой задачи под ремонтпригодностью понимается приспособленность конструкции к восстановлению и замене. Для оценки ремонтпригодности следует использовать системы критериев, к основным из которых относится время восстановления рабочего состояния конструкции, а также объем материальных и трудовых ресурсов, затраченных на ремонт или замену отказавших элементов. Для этого автором были проанализированы технологические операции, которые необходимо выполнить для восстановления работоспособности рассматриваемых систем.

Время на восстановление работоспособности элемента оценивалось по следующей формуле:

$$V = V_{\text{ЗАВ}} + V_{\text{МОНТ}} + V_{\text{ВСП}} + V_{\text{ДЕМ}} + V_{\text{ВОС}} + V_{\text{ВЫВ}}, \text{ сут}, \quad (5.2)$$

где  $V_{\text{ЗАВ}}$ ,  $V_{\text{МОНТ}}$ ,  $V_{\text{ВСП}}$ ,  $V_{\text{ДЕМ}}$ ,  $V_{\text{ВОС}}$ ,  $V_{\text{ВЫВ}}$  – соответственно время на завоз оборудования, его монтаж на участке работ, обустройство вспомогательных технологических площадей, демонтаж и утилизацию поврежденного участка, восстановление поврежденного участка, вывоз оборудования автотранспортом (с учетом его погрузки, сборки, частичного демонтажа и т. п.).

Таким образом, стоимость ремонтно-восстановительных работ, согласно требованиям действующей нормативной базы (ГОСТ 31937–2011, СП 13-102–2003), определяют с учетом целого комплекса мероприятий, включающих в себя обследование состояния конструкций с целью определения степени износа, разработки проектно-сметной документации на проведение капитального ремонта, выполнения строительного-монтажных работ и т. п. Результаты таких расчетов для различных систем защиты приведены автором в таблице 5.3. и на рисунке 5.5.

С учетом значений, приведенных в таблице 5.3 и на диаграмме рисунке 5.5, исследуемые способы можно расположить следующим образом в порядке убывания их эффективности по критерию минимальных трудозатрат (времени), необходимого для устройства экрана в грунте:

- экраны из аэрированного массива грунта;
- устройство отрытых траншей, щелей, скважин;
- то же, с их заполнением различными материалами;

Таблица 5.3 – Показатели ремонтпригодности различных конструктивно-технологических решений устройства защитных экранов в грунте

№ п/п	Технологии устройства системы защиты	Время восстановления работоспособного состояния защитного экрана, дн.	Трудозатраты, затраченные при производстве работ по восстановлению работоспособного состояния, чел.-ч	Показатели стоимости восстановительных работ, приведенные к длине защитного экрана 100 м, тыс. р.
1	Устройство открытых скважин	3–7	74–172	6,92
2	То же, с их заполнением различными материалами	5–9	164–295	8,79
3	Устройство открытых траншей	3–7	74–172	4,88
4	То же, с их заполнением различными материалами	5–9	164–295	28,60
5	Стены в грунте траншейного типа из монолитного бетона	28–35	3444–4305	256,00
6	То же, при устройстве экраном из секущих свай	28–30	1378–1476	193,82
7	С закреплением массива грунта методами струйной цементацией	28	1148	115,84
8	С применением систем глубинного смешивания грунта	14–28	574–1148	32,65
9	Экраны из аэрированного массива водонасыщенного грунта	3–5	74–123	3,50
10	С погружением элементов с гидравлическими демпферами	3–7	123–287	52,25

- с погружением элементов с гидравлическими демпферами;
- укрепление грунта через его глубинное смешивание с раствором;
- устройство экраном из касательных или секущих свай;
- закрепление массива грунта методами струйной цементацией;
- стены в грунте траншейного типа из монолитного бетона.

Следует отметить, что технологические параметры устройства траншей и скважин в грунте (для которых получены максимальные значения представленных показателей) не отличаются надежностью в условиях залегания у поверхности слабых водонасыщенных грунтов и в условиях примыкания к существующим сохраняемым конструкциям фундаментов. Для системы первого типа сложно обеспечить устойчивость стенок в структурно неустойчивых грунтах; при их по-

следующем заполнении демпфирующим материалом произойдет либо его смешивание с грунтом, либо деформация стенок выработки. Представленные выводы относятся и к способам устройства системы с аэрацией грунтового массива.

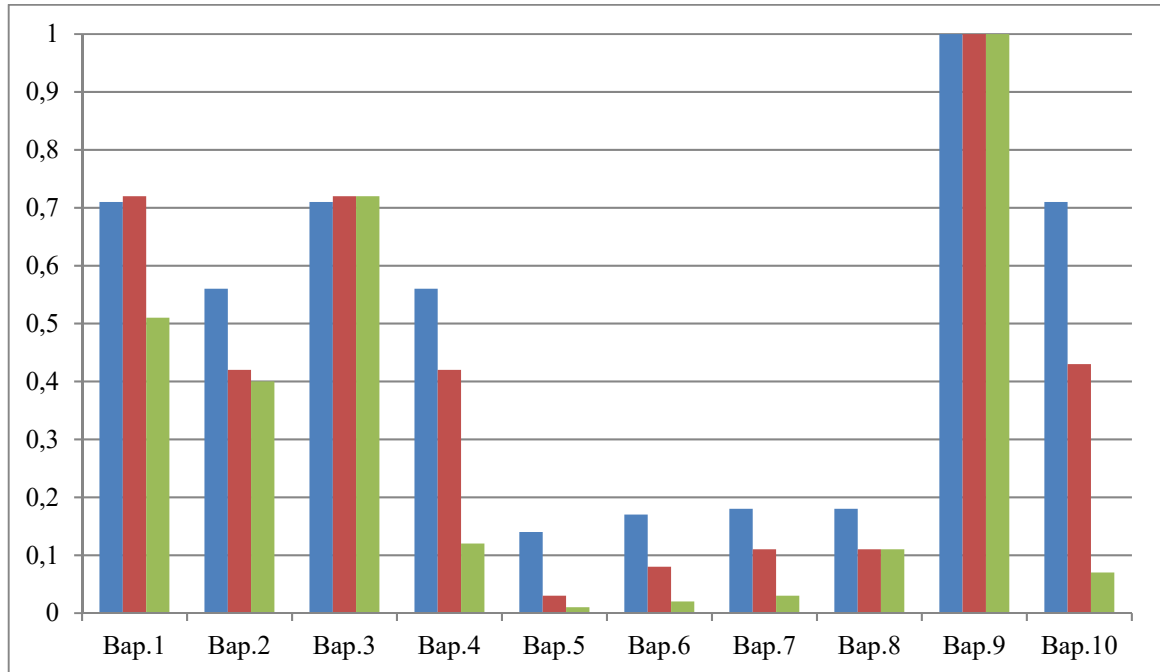


Рисунок 5.5 – Диаграмма распределения показателей ремонтпригодности способов устройства систем защиты в грунте: вар. 1 – способ устройства экранов из открытых скважин (значения показателей продолжительности работ – 0,71, трудозатрат – 0,72, стоимости – 0,51); вар. 2 – то же, с их заполнением различными материалами (0,55 – 0,41 – 0,40); вар. 3 – способ возведения открытых траншей (0,71 – 0,72 – 0,73); вар. 4 – то же, с заполнением их различными материалами (0,55 – 0,41 – 0,12); вар. 5– изготовление траншейных стен в грунте (0,15 – 0,02 – 0,01); вар. 6 – то же, из секущих свай (0,17 – 0,08 – 0,01); вар. 7 – закрепление массива грунта струйной цементацией (0,17 – 0,11 – 0,02); вар. 8 – то же, с глубинным смешиванием грунта с цементными растворами (0,17 – 0,11 – 0,11); вар. 9 – изготовление экранов из аэрированного грунта (1,0 – 1,0 – 1,0); вар. 10 – то же, погружаемыми элементам с гидравлическими демпферами (0,71 – 0,44 – 0,07). Для каждого варианта первый столбец (синий) отображает значения приведенных показателей: продолжительности, трудозатрат и стоимости работ (лучшему из рассматриваемых вариантов соответствует значение 1,0)

Кроме того, известно, что дополнительное разуплотнение массива грунта и снижение его бокового сопротивления, вызванное его воздухом насыщением, в случае территории с подземными коммуникациями или вблизи конструкций

фундаментов вызывает недопустимые деформации тех и других. В этой связи из диаграммы, показанной рисунке 5.5, были исключены указанные способы. Полученные результаты представлены на рисунке 5.6.

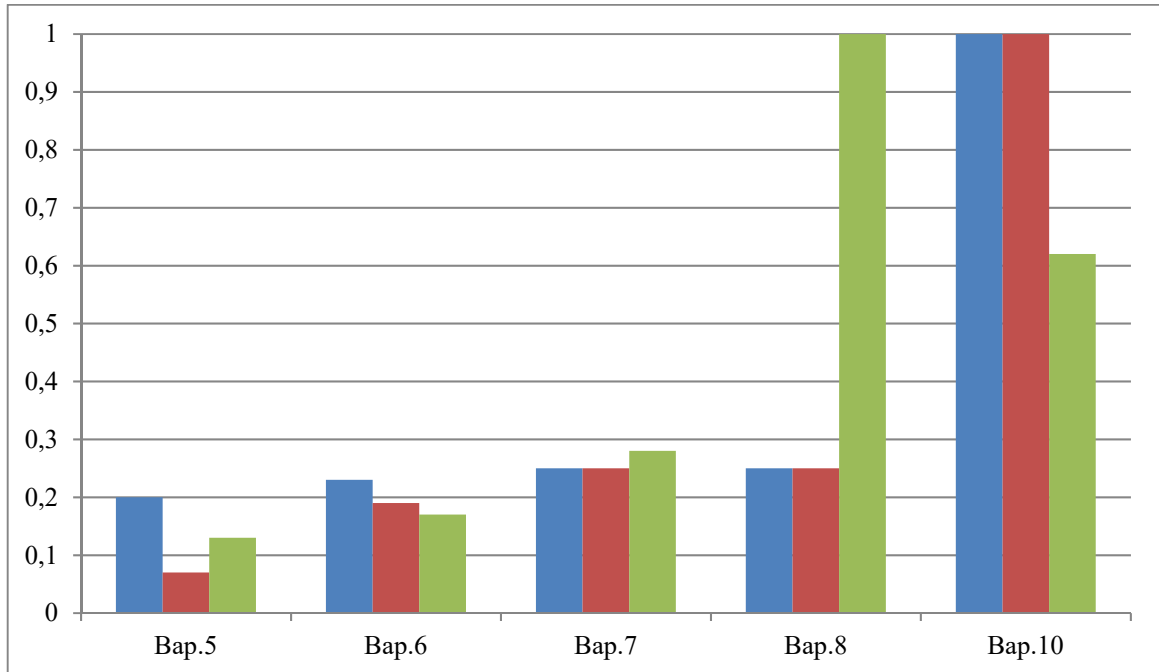


Рисунок 5.6 – Уточненная диаграмма распределения показателей ремонтпригодности способов устройства систем защиты в условиях плотной городской застройки и наличия в геологических разрезах напластований слабых водонасыщенных грунтов (обозначения вариантов способов соответствуют рисунку 5.5)

Исходя из представленных результатов исследований автором был выполнен расчет значений критериев технологичности для представленных выше способов. Их анализ позволил расположить способы в следующем порядке согласно убыванию значений их эффективности:

- с погружением элементов с гидравлическими демпферами ( $J_i = 1,0$ );
- экраны из аэрированного массива грунта ( $J_i = 0,95$ );
- устройство открытых траншей, щелей, скважин ( $J_i = 0,89$ );
- то же, с их заполнением различными материалами ( $J_i = 0,80$ );
- устройство экраном из касательных или секущих свай ( $J_i = 0,75$ );
- то же, при глубинном смешивании грунта с раствором ( $J_i = 0,60$ );

- закрепление массива грунта методами струйной цементации ( $J_i = 0,50$ );
- стены в грунте траншейного типа из монолитного бетона ( $J_i = 0,35$ ).

Таким образом, на основе вышеизложенных исследований автором была обоснована эффективность использования способа устройства систем, оснащенных гидравлическими демпферами. Дальнейшая его оптимизация выполнялась в следующих направлениях:

- обоснование конструктивных параметров изготовления элементов, реализующих эффект перетока вязкой жидкости через гидравлические дроссели;
- исследования конструктивно-технологических параметров, обеспечивающих минимизацию дополнительного воздействия на конструкции существующих фундаментов зданий и сооружений;
- обеспечение герметичности элементов при их погружении.

### 5.3. Определение параметров способов устройства систем защиты, оснащенных гидравлическими демпферами

На основе анализа расчета значений критерия технологичности автором была обоснована эффективность устройства систем защиты в грунте из элементов, оснащенных гидравлическим демпферами [27, 48].

Эффект гашения интенсивности динамического воздействия достигается за счет применения в устройстве защиты эффекта демпфирования, реализуемого при принудительном проталкивании демпфирующей жидкости через систему дроссельных элементов. В условиях, когда техническая система испытывает динамические воздействия, часть энергии удара затрачивается на сжатие вязкой жидкости и аккумулируется в ней в форме потенциальной энергии, а другая часть затрачивается на сообщение кинетической энергии вязкой жидкости, проталкиваемой через малые отверстия гидравлических демпферов во внутренней стенке из одной полости в другую. Энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления и нагрев, превращается в тепло и рассеивается в окружающую среду.

С учетом указанных предпосылок предложена следующая конструктивная система. На расстоянии от объекта, вдоль его защищаемых конструктивных элементов, подвергающихся динамическим воздействиям, погружают объемные элементы (поз. 4 рисунка 5.7) [27, 105]. При этом каждый из последующих элементов на поверхности грунта предварительно соединяют с уже погруженным в грунт посредством соединения замков Т- и  $\Omega$ -образной формы, установленных на боковых стенках элементов (поз. 2 рисунка 5.7).

Внешний вид элемента системы защиты и его поперечный разрез представлены на рисунке 5.8. Каждый элемент содержит узел крепления зажима вибропогружателя в виде стальной пластины толщиной 20 мм (поз. 7 рисунка 5.6). Она крепится к сплошной наружной стенке, что обеспечивает жесткость конструкции и сохранность узлов элемента при его вибрационном погружении в грунт.

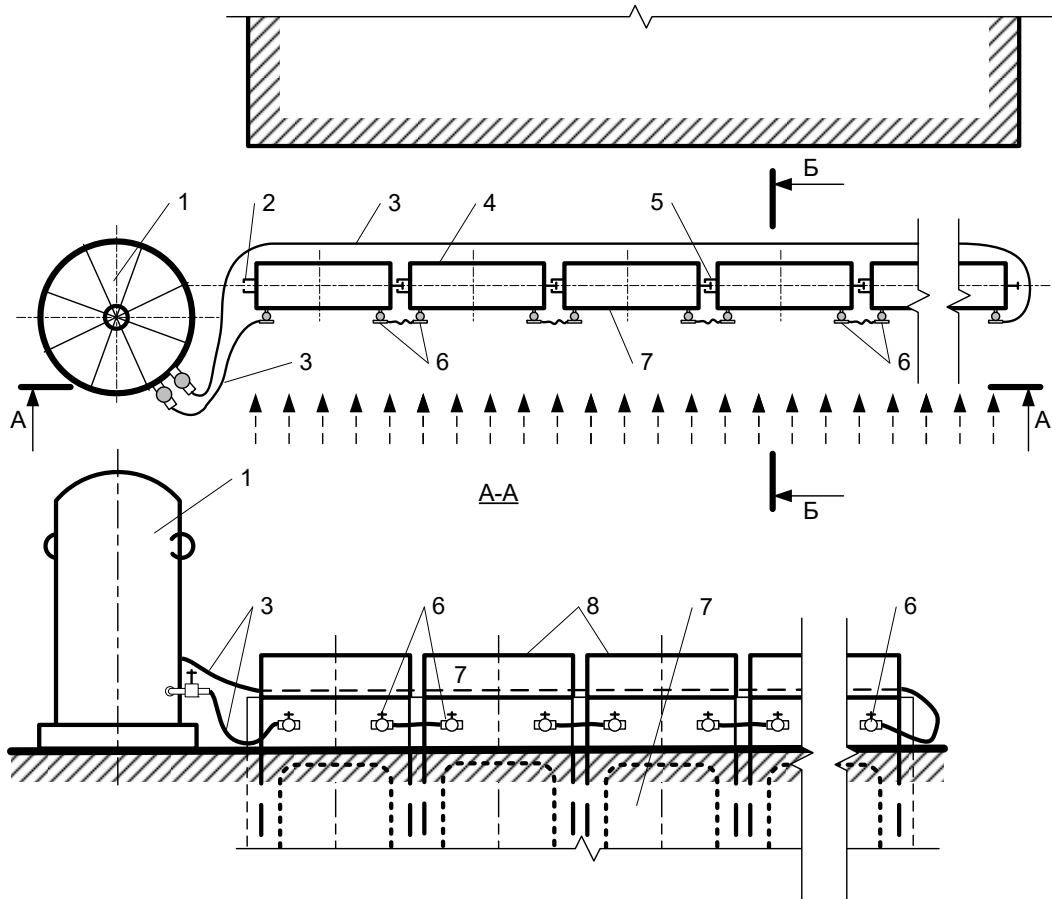


Рисунок 5.7 – План защищаемого объекта и продольный разрез системы защиты с гидравлическими демпферами: 1 – внешняя емкость, содержащая демпфирующую жидкость; 2, 5 – замковые элементы Т- и Ω-образной формы, установленные на боковых наружных стенках элементов; 3 – гидравлические шланги; 4 – сплошная наружная стенка элемента защиты; 6 – муфты с вентилями; 7 – стенка с продольными окнами (располагается со стороны распространения фронта динамического воздействия); 8 – пластина крепления гидравлического зажима вибропогружателя. Штриховыми стрелками показано направление распространения в грунте динамического воздействия

На верхнем торце элемента установлена съемная крышка, под которой расположены две одинаковые герметичные полости, заполненные демпфирующей жидкостью. Последняя обладает достаточной вязкостью и не вызывает коррозии стенок. На верхней заглушке установлены трубопроводы подачи и обратного перелива демпфирующей жидкости. На внутренней стенке, разделяющей герметичные полости, установлены дроссельные элементы с равным шагом. Наружная стенка каждого элемента со стороны распространения в грунте динамического воздействия выполнена с продольными окнами прямоугольной формы, распо-

женными с равным шагом. К продольным окнам присоединены упругие мембраны. Размеры таких окон назначены автором исходя из следующих требований:

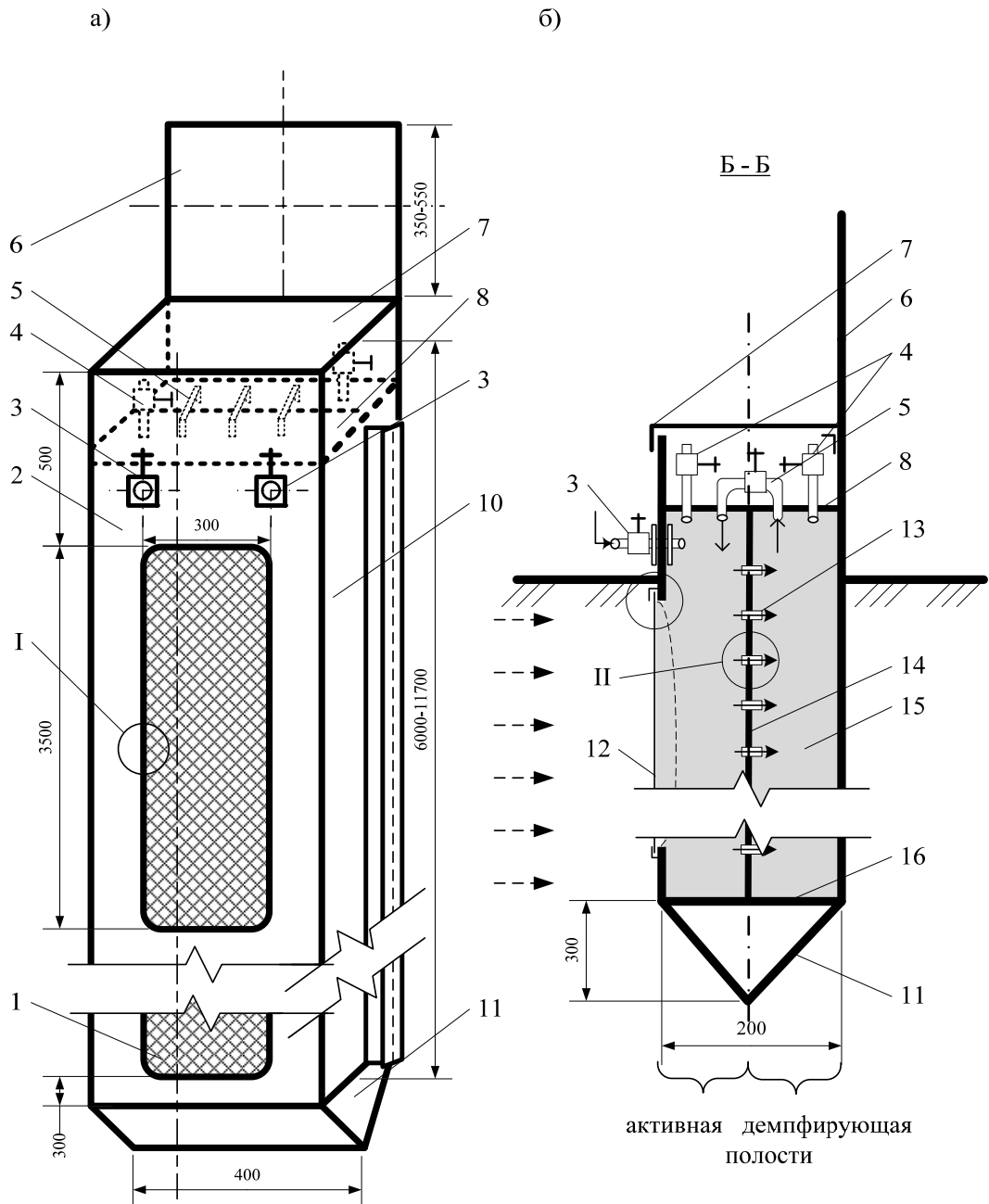


Рисунок 5.8 – Внешний вид элемента системы защиты (а) и его поперечный разрез (б): 1 – мембраны из полимерного материала; 2 – наружная стенка с продольными окнами; 3 – муфты с вентилями; 4, 5 – соответственно трубопроводы подачи и перелива демпфирующей жидкости; 6 – пластина крепления гидравлического зажима вибропогрузателя; 7 – съемная крышка; 8 – верхняя заглушка; 9 – замковые элементы; 10 – боковые стенки; 11 – направляющий элемент нижнего торца; 12 – мембрана; 13 – дроссельные элементы; 14 – внутренняя стенка; 15 – демпфирующая жидкость; 16 – нижняя сплошная заглушка



- достижение прочности и жесткости устройства защиты при его вибрационном погружении с целью добиться герметичности его полостей, содержащих демпферную жидкость;

- обеспечение прогиба мембраны в направлении динамического воздействия к внутренней стенке, на которой установлены дроссельные элементы.

С учетом вышеизложенных требований целесообразно выполнять окна длиной 3300–3500 мм и шириной 300 мм.

Нижний торец элементов выполнен в виде правильной треугольной призмы, чтобы обеспечить как устойчивое и стабильное заглубление элемента в грунт, так и вертикальность при вибрационном погружении (поз. 11 рисунка 5.8).

После заглубления всех элементов их соединяют между собой через муфты с вентилями, расположенными на наружной стенке, гидравлическими шлангами. При этом два крайних элемента соединяют с внешней цилиндрической емкостью, содержащей демпфирующую жидкость. Затем их последовательно заполняют этой жидкостью через трубопроводы. В результате все устройства защиты объединяются с внешней емкостью в единую гидравлическую систему. Она обеспечивает требуемое гидростатическое давление в полостях элементов, необходимое для осуществления перетока демпферной жидкости между ними.

Установлено, что традиционные технологические режимы при погружении рассматриваемых элементов либо приведут к дополнительным технологическим осадкам ближайших конструкций фундаментов, либо вызовут деформации стенок погружаемых коробчатых элементов, что повлечет нарушение герметичности их полостей и протечку демпферной жидкости [53]. Последнее нарушит работоспособность всей системы защиты. В этой связи предложена и обоснована новая технология для ее бездефектного устройства.

При исследовании ее параметров рассматривались следующие режимы:

- А) забивка – ударное воздействие молота на торец элемента;
- Б) вибрационное погружение – вибрационное воздействие от погружателя;

• В) вдавливание – приложение к торцу элемента или боковым граням статического усилия, значение которого зависит от сил сопротивления грунта. Для указанных параметров элемента его значение составляет от 700 до 1200 кН.

Результаты исследования указанных режимов в виде диаграмм их эффективности приведены на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Показатели эффективности устройства систем защиты с гидравлическими демпферами при различных режимах: Ст-ть, Пр-ть, Возд, Сохр – соответственно показатели стоимости, а также производительность оказываемого воздействия на существующие конструкции фундаментов и сохранности (герметичности) полостей элемента в процессе погружения. Режим забивки – сплошная линия, вдавливания – штриховая, вибрационного погружения – с засечками

При этом лучшему из указанных вариантов соответствует максимальное значение показателя. Таким образом, для рассматриваемых вариантов технологических режимов по показателям стоимости и производительности лучшее значение будет у забивного. Соответственно, по показателям негативного воздействия на окружающие конструкции наиболее щадящий режим – это вдавливание и вибрационное погружение; по показателям обеспечения герметичности полостей элемента в процессе погружения наиболее рационален вибрационный режим. Их качественная оценка представлена автором в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Показатели эффективности погружения элементов с гидравлическими демпферами для различных технологических режимов

Технологический режим погружения элементов	Качественная характеристика по показателям				Значения критерия технологичности, $J_i$
	стоимости	производительности	воздействия на существ. конструкции	сохранности элемента при погружении (обеспечение герметичности)	
Забивка	Мин.	Макс.	Макс.	Смятие оголовка	0,4
Вдавливание	Макс.	Мин.	Мин.	Деформационное смятие по боковой поверхности	0,7
Вибрационный	Средн.	Средн.	Мин.	Отсутствует	0,9

Исходя из комплексного рассмотрения данных рисунка 5.9 и таблицы 5.4, для дальнейшего рассмотрения автором был принят технологический режим вибрационного погружения, который имеет максимальные значения критерия технологичности.

Предлагаемая автором технология реализуется следующим образом (рисунок 5.10). Предварительно на расстоянии, предпочтительно составляющем 10–15 м от здания (или сооружения), вдоль его конструктивных элементов, подвергающихся динамическим воздействиям, устраивают траншеи бурением скважин шнеком без извлечения грунта на поверхность. Диаметр и глубина скважин принимают соответственно равными длине и ширине устройства защиты. Шаг бурения назначают из условия, чтобы на одно устройство защиты в плановом положении приходилось не менее двух скважин разрыхленного грунта. Глубину погружения устройства защиты в грунт от уровня муфт с вентилями на наружной принимают равным 11–12 м. Эти значения обусловлены следующими факторами:

- обеспечение защиты конструкций фундаментов зданий и сооружений с наиболее распространенными значениями заложения их подошвы 3–5 м;
- возможность погрузить устройство защиты без нарушения жесткости его конструктивных элементов и таким образом обеспечить надежную герметичность его полостей (об этом говорит анализ опыта работ по возведению в грунте ограждающих конструкций с применением современных вибропогружателей на глубину 11–12 м).

Результаты исследования автора по выбору оптимальных параметров бурения скважин приведены на рисунке 5.11.

Представленные на рисунке 5.11 графические зависимости позволили автору определить рациональные параметры устройства скважин без выемки грунта из них.

Затем в образованную траншею с разрыхленным грунтом погружают элементы защиты посредством вибропогружателя. Причем элементы при погружении ориентируют таким образом, чтобы их наружная стенка с продольными окнами была расположена со стороны источника динамического воздействия в грунте.

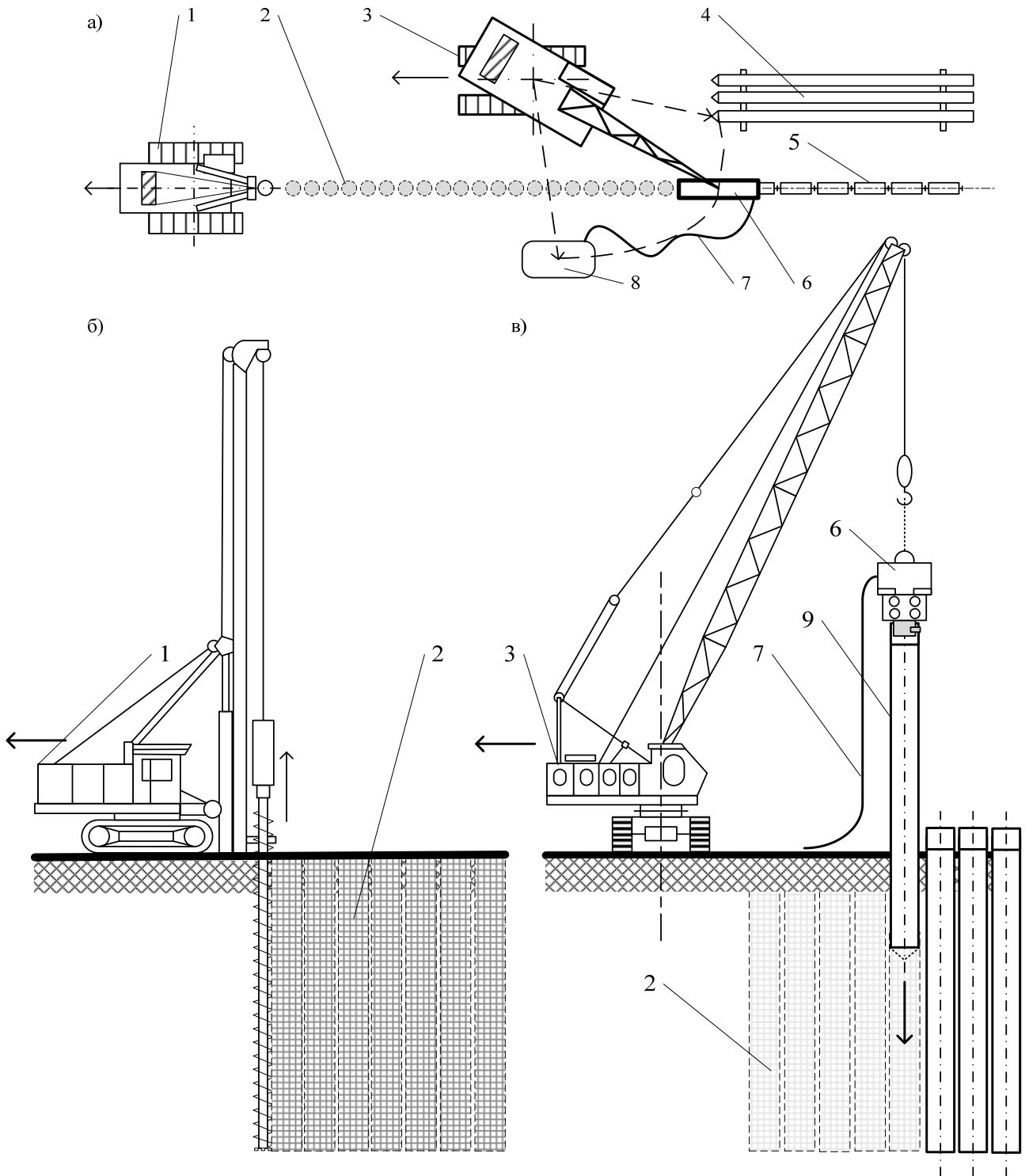


Рисунок 5.10 – Схема организации работ при устройстве сейсмозащитных экранов с гидравлическими демпферами: *а* – план схема; *б, в* – поперечные разрезы соответственно при рыхлении грунта шнеком и вибрационном погружении элементов защиты; *1* – установка шнекового бурения; *2* – скважины с разрыхленным грунтом; *3* – кран, *4, 5, 9* – соответственно элементы защиты на участке складирования, погруженные в грунт и на стадии вибрационного заглубления; *6* – вибрационный погружатель, *7* – гидравлические шланги, *8* – дизельная станция

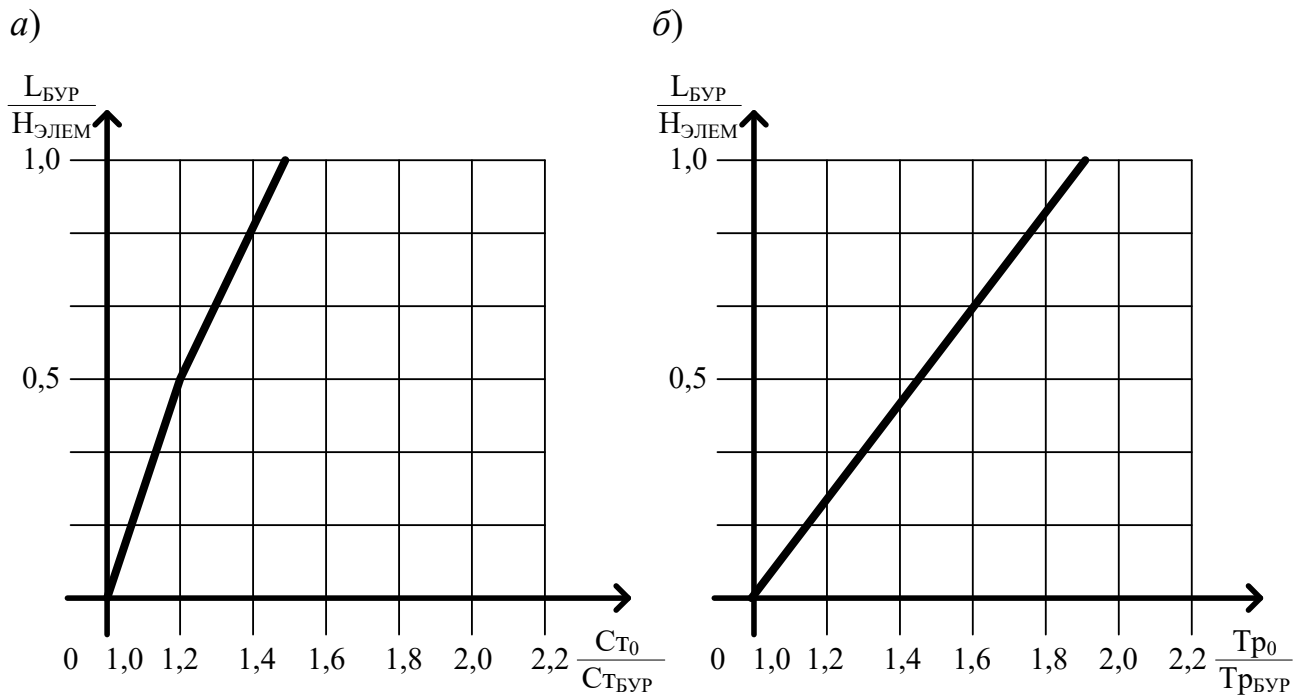


Рисунок 5.11 – Графики изменения показателей стоимости (а) и трудозатрат (б) в зависимости от глубины скважин:  $L_{\text{БУР}}$ ,  $H_{\text{ЭЛЕМ}}$ ,  $C_{\text{Т0}}$ ,  $C_{\text{ТБУР}}$ ,  $\text{Тр}_0$ ,  $\text{Тр}_\text{БУР}$  – соответственно значения глубины бурения, высоты элемента, стоимости устройства экрана в грунте с бурением и без него, трудозатраты устройства экрана в грунте с бурением и без него

Новая технология в виде вибрационного погружения устройства защиты в траншею с разрыхленным грунтом позволяет на период производства работ снизить уровень колебаний конструкций существующих фундаментов до приемлемых значений. На основе анализа опыта соответствующих работ автором установлено, что при вибрационном погружении элементов в скважины с предварительно разрыхленным грунтом (на глубину, равную длине элемента) уровень воздействия на существующие конструкции зданий практически не превышает соответствующих показателей от движущегося автотранспорта [51]. С помощью расчетов технологических параметров погружения по известной методике были установлены оптимальные параметры вибрационного погружения для инженерно-геологических условий с характерными напластованиями слабых водонасыщенных грунтов [52]. Они характерны для погружателя типа MS-24HFvar: частота колебаний дебалансов составила 2350 об/мин; статический момент – 0–24 кг·м;

вынуждающая сила – 1453 кН; масса без наголовника – 5050 кг; размеры – 1790×780×2145 мм.

Погружение элементов следует проводить с сопровождением геотехнического мониторинга. В качестве критерия оптимальности для установления оптимального режима погружения шпунта вблизи зданий необходимо провести предпроектные исследования условий «срыва» при различных значениях вынуждающей силы вибропогружателя [53].

В целях исключения отклонений от вертикальности элементов при вибрационном погружении до начала погружения в створе сооружения устраивают кондуктор, состоящий из маячных свай из шпунта, последовательно погружаемых в грунт с шагом 3–6 м, и закрепленных между ними горизонтальными направляющими из стальных балок периодического сечения.

С учетом вышесказанного, в таблице 5.5 представлены значения параметров, обеспечивающие как надежную работоспособность системы защиты от динамического воздействия, распространяющегося в грунте, так и приемлемые уровни технологические осадок конструкций фундаментов соседних зданий при погружении элементов с гидравлическими демпферами.

Таблица 5.5 – Технологические параметры нового способа возведения систем с гидравлическими демпферами

Наименование технологического параметра	Ед. изм.	Рекомендуемое значение	Факторы оптимизации
Диаметр скважины с разрыхленным грунтом $d_{\text{БУРЕН}}$	м	0,3–0,35	Снижение сопротивления грунта при погружении элементов и уровня его колебаний
Глубина бурения скважин $L_{\text{БУРЕН}}$	м	11–12	
Глубина погружения и конструкторская длина элементов $H_{\text{ПОГР}}$	м	11–12	Защита конструкций фундаментов существующих зданий и сооружений
Параметры вибрационного погружения элементов: – амплитуда, $A$ – частота колебаний $f$	мм	3–8	То же. Бездефектное погружение элемента на полную глубину с обеспечением герметичности его полостей
	Гц	30–35	

Значения параметров, представленных в таблице 5.6, получены на основе обработки экспериментальных данных. Их зависимости описываются следующим уравнением множественной регрессии:

$$Y(H_{\text{ПОГР}}) = 5,98 + 0,18X_1(L_{\text{БУРЕН}}) + 11,59X_2(d_{\text{БУРЕН}}). \quad (5.3)$$

Статистическая значимость уравнения (5.3) проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Его расчетное значение для фактора глубины бурения равно 2,593, что не превышает значения его «критического» значения 18,5. Аналогично, для второго фактора значение критерия Фишера равно 7,979.

Кроме того, установлено, что увеличение  $X_1$  на 1 ед. изм. приводит к увеличению  $Y$  в среднем на 0,185 ед. изм., а увеличение  $X_2$  на 1 ед. изм. – к увеличению  $Y$  в среднем на 11,593 ед. изм.

#### 5.4. Исследование гидродинамических процессов, происходящих в полостях демпферных устройств

Согласно классификации, предложенной Уздиным В. М. и Белаш Т. А., в новом решении был использован пассивный метод гашения динамического воздействия устройствами демпферного типа [132]. В этих устройствах 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 и на параметры элементов демпферной системы. Расчетная схема приведена на рисунке 5.12.

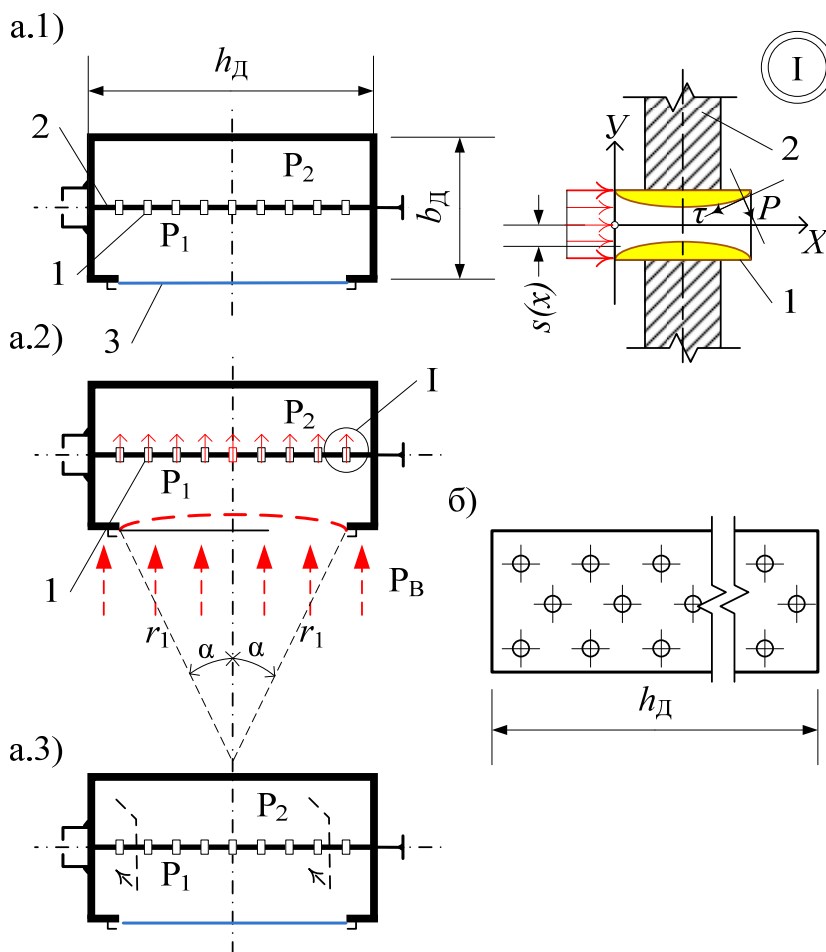


Рисунок 5.12 – Расчетная схема элемента системы защиты с демпферными гидравлическими элементами: *а* – поперечный разрез: *а.1–а.3* – соответственно элемента в состоянии покоя, при динамическом воздействии и его снятии; *б* – боковая поверхность промежуточной стенки.

$P_B$  – импульс динамического воздействия;  $P_1, P_2$  – значения давления жидкости во внутренних пространствах  $L_D, h_D$  – соответственно высота промежуточной стенки и её ширина;  $b_D$  – ширина элемента;  $s(x)$  – внутренний радиус гидравлического демпфера;  $\tau$  – сила трения; *1* – жидкость; *2* – гидравлический демпфер; *3* – мембрана в наружной стенке с окнами#



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  $\tau$ , которое больше времени распространения импульса в жидкости  $\tau_0$ . По истечении времени  $\tau_0$  в жидкости устанавливается некоторое квазиравновесное состояние, медленно изменяющееся во времени при динамическом воздействии. Это обусловлено тем, что квазиравновесное состояние устанавливается в диапазоне времени порядка  $\tau_0 \ll \tau$ .

Плотность демпферной жидкости  $\rho$  во внутренних пространствах элемента к моменту времени  $t + \Delta t$  определяется из уравнения

$$\rho(t + \Delta t) = (m + \Delta m) / (Q + \Delta Q), \quad (5.4)$$

где  $m$  – масса жидкости;  $Q$  – объем пространств элемента.

Уравнение (5.4) может быть представлено в виде:

$$\rho(t + \Delta t) = (m / Q + \Delta m / Q) [1 / (1 + \Delta Q / Q)]. \quad (5.5)$$

Заменив в (5.5) второй сомножитель первым членом биномиального ряда для производной по времени от непрерывной функции  $\rho(t)$ , получим следующее дифференциальное уравнение:

$$d\rho / dt = (1 / Q) [\Delta m / \Delta t - \rho \Delta Q / \Delta t]. \quad (5.6)$$

Мембрана обжата грунтом; при этом принято, что ее упругая деформация происходит по схеме, представленной на рисунке 5.12, а.2, где пунктиром показано положение ее деформированной части, которая отсекает сегмент с углом полураствора  $\alpha$ .

С учетом последнего обстоятельства изменение площади первого пространства  $\Delta S_{1к}$  за время  $\Delta t$  запишем в виде

$$\Delta S_{1к} = -r_1^2 (1 - \cos 2\alpha) \frac{d\alpha}{dt} \Delta t, \quad (5.7)$$

где  $r_1$  – условный радиус деформирования мембраны.

Изменение массы жидкости  $m_{1к}$  в первом пространстве за время  $\Delta t$  примет следующий вид:

$$\Delta m_{1к} = [-\rho_1(v)S_{\text{дм}} \cdot N]\Delta t, \quad (5.8)$$

где  $v$  – скорость перетока жидкости через гидравлический демпфер, определяющаяся уравнением Бернулли:

$$V = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} |P_1 - P_2| \text{sign}(P_1 - P_2)}, \quad (5.9)$$

где  $\rho_0$  – плотность невозмущенной жидкости;  $S_{\text{дм}}$  – наименьшая площадь внутреннего сечения гидравлического демпфера;  $N$  – количество гидравлических демпферов;  $\rho_1 \cdot v \cdot S_{\text{дм}}$  – количество жидкости, перетекающее через демпфер.

Изменение массы демпферной жидкости  $m_{2к}$  второго пространства за время  $\Delta t$  примет вид

$$\Delta m_{2к} = [\rho_2 \cdot v \cdot S_{\text{дм}} \cdot N]\Delta t, \quad (5.10)$$

Выполнив подстановку выражений (5.7), (5.8) в (5.6) получим дифференциальное уравнение, описывающее изменение плотности жидкости в первом пространстве с длиной элемента защиты  $h$ :

$$\frac{d\rho_1}{dt} = 1/Q_1 [-S_{\text{дм}} \cdot v \cdot \rho_1 \cdot N - \rho_1 \cdot h (-r_1^2 (1 - \cos 2\alpha) \frac{d\alpha}{dt})], \quad (5.11)$$

где

$$Q_1 = h [0,5h_{\text{д}} \cdot b_{\text{д}} - \alpha_0 \cdot r_1^2]. \quad (5.12)$$

Величины  $P(t)$  и  $\rho(t)$  связаны эмпирическим соотношением – «уравнением состояния в форме Тэта»:

$$P(t) = b \{[\rho(t)/\rho_0]^n - 1\}, \quad (5.13)$$

где  $P(t)$  – перепад давления;  $b$ ,  $n$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от физических свойств демпферной жидкости.

Расчетная схема гидродинамических процессов, происходящих в отдельном гидравлическом демпфере при перетоке жидкости, приведена на рисунке 5.12, вид I. Течение жидкости принимаем одномерным, а саму жидкость рассматриваем как несжимаемую. В этой связи уравнение движения примет вид

$$\frac{\partial q(t)}{\partial t} + \frac{\partial A(x, t)}{\partial x} = -\tau(x, t) 2\pi \cdot s(x) - \frac{\partial P}{\partial x} \pi \cdot s^2(x), \quad (5.14)$$

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

$$q(t) = \pi \cdot s^2(x) v_c(x, t) \rho_0, \quad (5.15)$$

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

$$A(x, t) = \rho(t) \pi \cdot \int_0^{r(x)} v_x^2(x, y, t) y dy, \quad (5.16)$$

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

$$v_x(x, y, t) = 2v_c(x, t) \left(1 - \frac{y^2}{s^2(x)}\right). \quad (5.17)$$

Для использования соотношений (5.14)–(5.17) достаточно, чтобы давление жидкости в направлении, перпендикулярном оси  $OX$ , изменялось пренебрежимо мало. С учетом зависимостей (5.15) и (5.17) уравнение (5.16) представим в виде

$$A = \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)\pi \cdot s^2(x)}. \quad (5.18)$$

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

$$\tau(x, t) = \mu \frac{4V_c(x, t)}{s(x)}, \quad (5.19)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости.

Уравнение (5.14) с учетом соотношений (5.15)–(5.19) примет вид

$$P(x, t) = -\frac{1}{\pi} \frac{dq}{dt} \int_0^x \frac{d\xi}{s^2(\xi)} - \frac{8\mu \cdot q(t)}{\pi \cdot \rho_0} \int_0^x \frac{d\xi}{s^5(\xi)} - \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)\pi} \int_0^x \frac{d\xi}{s^4(\xi)}, \quad (5.20)$$

где  $\xi$  – переменная интегрирования, описывающая геометрию демпфера.

Анализ выражения (5.20) 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, вызванного динамическим воздействием, при условии их упругого деформирования в общем виде:

$$m_{T_i} \frac{d^2 r_i(t)}{dt^2} = \frac{k [r_i(0) - r_i(t)] \delta_i}{r_i(0) r_i(t)} - P_+ k_+ + P_- k_- + R(t), \quad (5.21)$$

где  $m_{T_i}$  – масса единичной площадки выреза стенки в невозмущенном состоянии;  $r_i(t)$  – радиус кривизны мембран и стенки в момент времени  $t$ ;  $\delta_i$  – толщина стенки;  $k$  – коэффициент упругого сопротивления материала стенки (влияние гидравлических демпферов на упругие характеристики стенок не учитываем);  $P_-$ ,  $P_+$  – давление жидкости соответственно 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

$$R(t) = n_d \cdot R_d(t), \quad (5.22)$$

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

$$n_d = \frac{N}{L_d \cdot h_d}; \quad (5.23)$$

$$R_d = -\frac{dq}{dt} l - \frac{2\rho(t)q^2(t)}{3\rho^2(0)} \int_0^l \frac{dx}{s^2(x)} - \int_0^l \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} \pi \cdot s^2(x) dx, \quad (5.24)$$

где  $l$  – длина демпфера.

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

Перепад давлений в гидравлических демпферах  $\Delta P$ , 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 течении жидкости в демпферном элементе (трубке диаметром  $d$  и длиной  $l$ ) равны:

$$\Delta P = \lambda (l/d) \cdot \rho \cdot v^2 / 2 \quad \text{и} \quad P_A = \Delta P \cdot F, \quad (5.25)$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения;  $\rho$  – плотность жидкости;  $F$  – площадь поверхности промежуточной стенки.

Из анализа представленных выражений следует, 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 условия:

$$Re = (4\rho_r \cdot v) / \nu \geq 160 \quad (200), \quad (5.26)$$

где  $\rho_r$  – гидравлический радиус демпфера (для круглого отверстия он равен половине действительного радиуса), м;  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с.

В этой связи минимальный радиус отверстий демпфера следует принимать 3 мм при суммарной площади, составляющей 5 % от площади поверхности промежуточной стенки.

Рассмотренные процессы гашения динамического воздействия применяют в амортизаторах, которые являются разновидностью гидравлических систем, работающих при средних и высоких давлениях (телескопические при давлениях 3,0–7,5 МПа и рычажные при 15–30 МПа) (рисунок 5.13) [60].

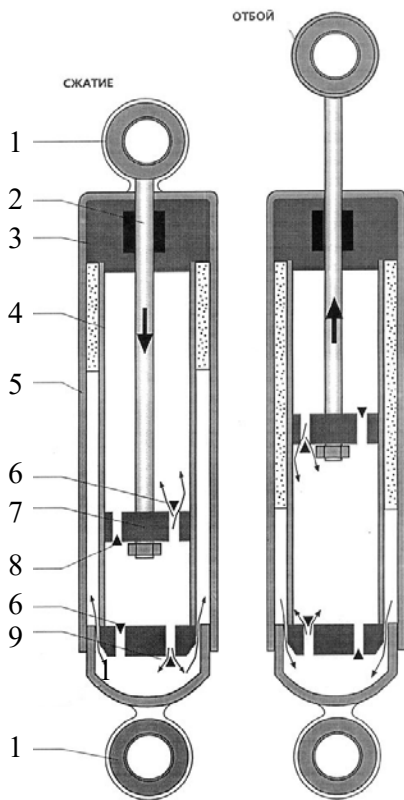


Рисунок 5.13 – Схема устройства амортизатора с гидравлическими демпферами: 1 – шарнир; 2, 3 – соответственно шток и направляющие; 4 – цилиндр; 5 – резервуар; 6 – перепускной клапан; 7 – поршень; 8 – клапан отбоя; 9 – клапан сжатия

Испытания на динамометрических стендах позволяют определять характеристики амортизатора, которые являются результатом взаимодействия совокупности конструктивных элементов и особенностей рабочего процесса [59]. Приведенные особенности работы амортизаторов в технических системах аналогичны демпфированию энергии волны возмущения в элементах, предложенных автором. В этой связи была проведена проверка сходимости полученных результатов теоретических исследований гидравлического демпфирования динамической нагрузки с известными экспериментальными данными испытаний гидравлических амортизаторов (рисунки 5.14–5.16) [60].

В условиях, когда техническая система испытывает ударные нагрузки (например, при посадке и движении самолета по аэродрому), часть энергии удара затрачивается на сжатие жидкости и аккумулируется в ней в форме потенциальной энергии. При этом другая ее часть затрачивается на сообщение ей кинетической энергии при проталкивании через малые отверстия гидравлических демпферов в поршне из одной полости цилиндра в другую. Энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления и нагрев, превращается в тепло и рассеивается в окружающую среду.

На рисунке 5.14 представлены полученные автором теоретические и известные экспериментальные зависимости разности гидродинамических давлений от скорости перетекания жидкости через систему демпферов под действием внешнего динамического воздействия.

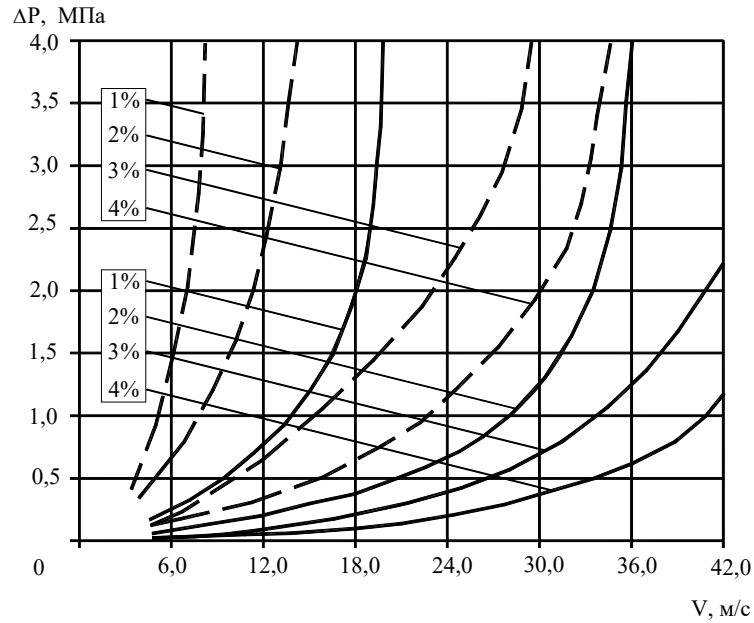


Рисунок 5.14 – Зависимости гидродинамических давлений от скорости перетекания жидкости:  
1–4 % – отношение суммарной площади отверстий гидравлических демпферов к площади поверхности промежуточной стенки (поршня):

————— – экспериментальные зависимости; — — — — — теоретические зависимости

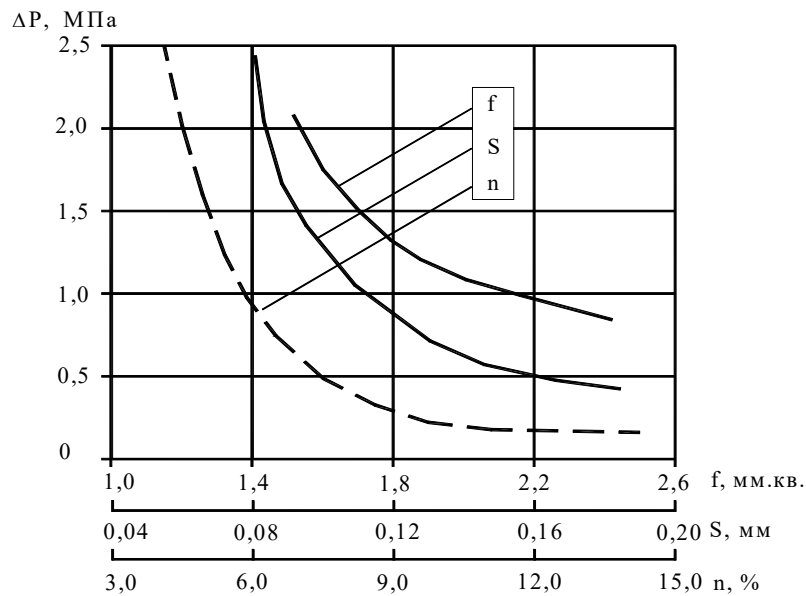


Рисунок 5.15 – Зависимости гидродинамических давлений от площади отверстий демпферов гидравлического амортизатора технической системы ( $f$ ), толщины зазора гидравлического амортизатора ( $S$ ), отношения суммарной площади отверстий демпферов к площади поверхности промежуточной стенки ( $n$ ):

————— экспериментальные зависимости, — — — — — теоретические зависимости

По представленным на рисунке 5.15 графикам можно проследить зависимость гидродинамических давлений от суммарного количества площадей отверстий демпферов гидравлического амортизатора и предложенной конструкции [46].

Теоретические и экспериментальные зависимости гидродинамических давлений, изображенные на рис. 5.16, позволяют выявить характер изменения энергоемкости амортизаторов с ростом интенсивности динамических нагрузок.

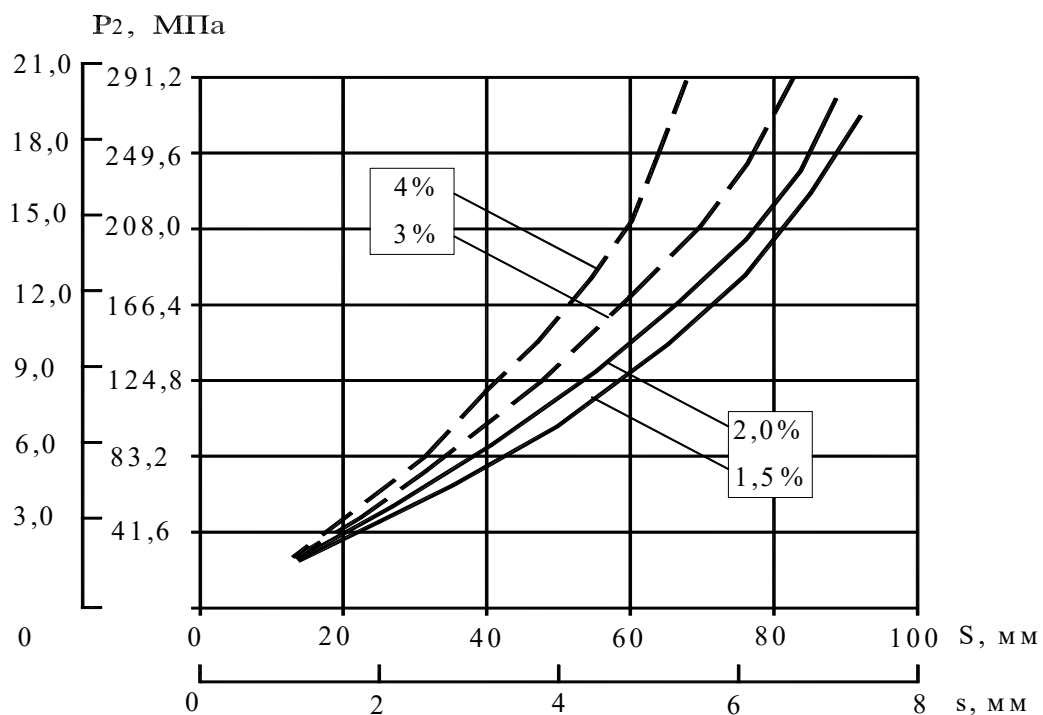


Рисунок 5.16 – Зависимости гидродинамических давлений от перемещения мембраны, штока амортизатора 1,5; 2; 3; 4 % – отношение суммарной площади отверстий гидравлических демпферов к площади поверхности промежуточной стенки (поршня):  
 ————— – экспериментальные зависимости, - - - - - – теоретические зависимости

При оценке сходимости представленных теоретических и экспериментальных зависимостей получены значения коэффициентов их корреляции в интервале от 0,993 до 0,998, что позволяет говорить о достоверности полученных результатов исследований с известными данными.

На основе проведенных исследований можно заключить, что предложенная математическая модель позволяет с достаточной для практики точностью опреде-



лять конструктивно-технологические параметры систем защиты с гидравлическими демпферами.

В ходе анализа представленных зависимостей установлено, что снижение уровня динамического воздействия, распространяющегося в толще грунта, определяется физическими свойствами жидкости, геометрическими размерами и количеством демпферов.

В этой связи сформулированы основные требования, предъявляемые к физическим свойствам жидкости:

- Недостаточная вязкость жидкости, как и ее снижение в результате нагрева, уменьшат силы сопротивления и энергоемкости амортизатора. Вместе с тем пониженная температура в зимних условиях приводит к ее чрезмерной вязкости, что ухудшит интенсивность перетекания через демпферы. В этой связи верхний предел вязкости жидкости при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  следует регламентировать величиной  $1500 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$  [48]. Температура замерзания не должна быть ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Жидкость при протечках не должна загрязнять массив грунта и вызывать коррозию стальных стенок элементов защиты.

- Стабильность, определяемая сохранением физических свойств. На изменение свойств жидкости могут повлиять следующие факторы: окисление при распылении в результате перетекания через демпферы, температура, наличие присадок и загрязнителей. Таким образом, величина окисления жидкости не должна превышать 1,0 мг КОН (число нейтрализации или кислотное число) на 1 г жидкости [48].

- Стоимость жидкости должна соответствовать условию [47]:  $(1,5C_{\text{ж}})/C_{\text{эл}} = 1:10$ , где  $C_{\text{ж}}$  – стоимость жидкости;  $C_{\text{эл}}$  – стоимость конструктивных элементов.

- Вышеперечисленным требованиям отвечают глицерин и силикон.

## 5.5. Выводы по пятой главе

В пятой главе сформирован комплексный научный подход обоснования как критериев технологичности возведения систем защиты зданий и сооружений от негативного динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте в инженерно-геологических условиях с напластованиями в геологическом разрезе слабых пород, так и условий стесненной застройки.

1. Исследована структура критериев технологичности устройства систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте. Получено следующее их распределение согласно убыванию сравнительной эффективности:

- погружение элементов с гидравлическими демпферами ( $J_i = 1,0$ );
- экраны из аэрированного массива грунта ( $J_i = 0,95$ );
- устройство открытых траншей, щелей, скважин ( $J_i = 0,89$ );
- то же, с их заполнением различными материалами ( $J_i = 0,80$ );
- устройство экраном из касательных или секущих свай ( $J_i = 0,75$ );
- то же, при глубинном смешивании грунта с цементными смесями ( $J_i = 0,60$ );
- закрепление массива грунта методами струйной цементацией ( $J_i = 0,50$ );
- устройство стены в грунте из монолитного бетона ( $J_i = 0,35$ ).

2. Обоснована эффективность способа создания специальных устройств, оснащенных гидравлическими демпферами, обеспечивающими гашение интенсивности динамического воздействия при проталкивании вязкой жидкости через каналы дроссельных элементов. Определены технологические режимы, позволяющие выполнить вибрационное погружение в грунт таких устройств без нарушения герметичности их полостей. Для этого предварительно вдоль соответствующего контура сохраняемого здания устраивают траншеи бурением грунта шнеком.

3. Получены математические выражения, позволяющие прогнозировать зависимости влияния на демпфирование динамической нагрузки свойств вязкой жидкости и параметров элементов демпферной системы.

Можно констатировать, что в пятой главе на основе выполненных теоретико-методологических и научно-методических исследований решена крупная научная проблема: с учетом анализа значений критериев технологичности разработан инновационный способ возведения систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте.

## **Глава 6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ**

### **6.1. Сравнительная эффективность способов производства специальных работ в грунтах на основании анализа значений критериев технологичности**

В результате выполненных исследований автором была разработана методика выбора способов производства специальных работ в грунтах на основе расчета и анализа значений интегрального критерия технологичности. Это дает возможность в единой оценочной шкале определять сравнительную эффективность способов для различных инженерно-геологических условий строительных площадок, включая стесненные городские территории.

На основе данных расчетов, приведенных в главах 3–5, установлено, что критерий технологичности ( $J_i$ ) следует задавать в виде функции в зависимости от факторов, определяющих особенности рассматриваемых условий строительства или характеристик способов. При устройстве свайных фундаментов эта функция имеет следующий вид:

$$J_i = F (K_{\text{П}}; N_{\text{СП}}; P_{\text{Р}}; C_{\text{Т}}; C_{\text{Т-Н}}; B_{\text{Б}}; K_{\text{СЛ}}; K_{\text{ПЛ}}), \quad (6.1)$$

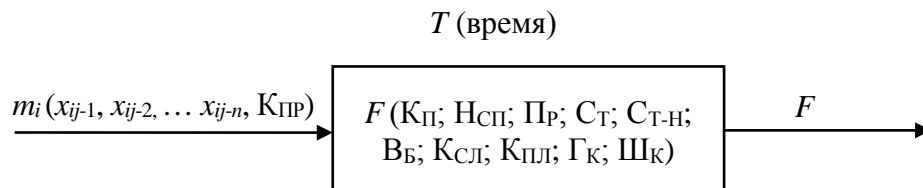
где  $K_{\text{П}}$  – конструктивные показатели устраиваемых свай (длина, сторона сечения и т. п.);  $N_{\text{СП}}$  – значения их несущей способности, в том числе допускаемые расчетные нагрузки на элемент;  $P_{\text{Р}}$  – показатели производительности погружения или изготовления свай в грунте;  $C_{\text{Т}}$  – стоимостные затраты;  $C_{\text{Т-Н}}$  – коэффициенты, определяющих степень стесненности участка работ;  $B_{\text{Б}}$  – факторы воздействия на биосферу;  $K_{\text{СЛ}}$  – факторы обеспечения качества стволов элементов в прослоях слабых водонасыщенных грунтов;  $K_{\text{ПЛ}}$  – коэффициенты, определяющие возможность погружения свай или проходки скважин в плотных породах.

При устройстве элементов ограждений котлованов и систем их креплений, в том числе погружения опускных колодцев, уравнение (6.1) примет вид

$$J_i = F(K_{\text{П}}; H_{\text{СП}}; I_{\text{Ж}}; P_{\text{Р}}; C_{\text{Т}}; C_{\text{Т-Н}}; B_{\text{Б}}; K_{\text{СЛ}}; K_{\text{ПЛ}}; \Gamma_{\text{К}}; \text{Ш}_{\text{К}}), \quad (6.2)$$

где  $I_{\text{Ж}}$  – показатели изгибной жесткости фрагментов ограждений;  $\Gamma_{\text{К}}$ ,  $\text{Ш}_{\text{К}}$  – соответственно глубина и ширина котлованов (параметров колодца). Наименование других показателей приняты теми же, что и в уравнении (6.2).

В подразделе 1.5 показано, что анализ эффективности и выбор эффективных способов на основании уравнений (6.1)–(6.2) необходимо строить на принципах системного подхода, иллюстрируемого следующим образом:



В процессе своего функционирования система преобразует различные «входящие» показатели ( $x_{ij}$ ), объединенные в группы ( $m_i$ ), под воздействием разнообразных факторов, включая различные условия внешней среды. С учетом представленных уравнений были получены зависимости критериев технологичности современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов для различных комбинаций представленных выше факторов.

Причем для анализа показателей надежности и качества работ в составе критерия технологичности автором предложена методика определения значений коэффициента эффективности применения таких способов ( $K_{\text{ПР}}$ ). Они рассчитываются посредством анализа характеристик способов, опирающегося на генеральные определительные таблицы (ГОТ), которые построены для следующих факторов:

- обеспечение качества стволов элементов в геологических разрезах с напластованиями слабых пород;
- возможность погружения свай или устройства буровых скважин в слоях плотных пород;
- обеспечение экологической и промышленной безопасности;
- достижение минимального технологического воздействия на конструкции зданий окружающей застройки и состояние массива грунта.

Причем оценка способы устройства фундаментов и ограждений котлованов на основе анализа единственного значения коэффициента эффективности ( $K_{\text{ПР}}$ ) будет недостаточной и неточной, так как это нарушает критерии, предъявляемые к соответствующим методикам: глобальности, единственности, всесторонности, сравнимости и точности.

Поэтому рассчитанные на основании ГОТ значения этих коэффициентов  $K_{\text{ПР}}$  следует вводить в структуру интегрального критерия технологичности. Затем на основании алгоритма, представленного в главе 2, нужно выполнять расчет значений критериев технологичности ( $J_i$ ). Полученные таким образом ранжированные ряды значений  $J_i$  можно использовать для выбора способов, обоснования рациональных областей их применения, выбора технологических режимов и т. п.

В целях практической реализации указанной методики автором на рисунке 6.1 построено графическое изображение изменения критерия  $J_i$  вследствие указанных факторов, характерных для современных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов. Соответствующие значения получены на основании расчетов в разработанном автором программном комплексе.

На рисунке 6.1 для различных способов устройства свайных фундаментов, ограждений котлованов и погружения опускных колодцев представлены соответствующие значения критериев технологичности в зависимости от коэффициентов эффективности их применения. Кроме того, на поле графика эти значения выделены в соответствующие области с различной степенью эффективности их применения. Такое графическое представление полученных в ходе исследований результатов имеет практическую значимость при выборе рациональных способов.

В результате специалист принимает решение о выборе способов с учетом их сравнительной эффективности и показателей качества, воздействия на окружающую застройку, биосферу и т. п. При этом в первую очередь следует прибегать к способам, находящимся в графической области «весьма перспективного применения». Также рационально рассматривать их реализацию в области «перспективного применения», но с учетом дальнейшего выбора способов по параметрам стоимости, производительности и т. п. Способы, находящиеся в области «малоперспективного» и «не рекомендованного» применения, рассматривать нежелательно.

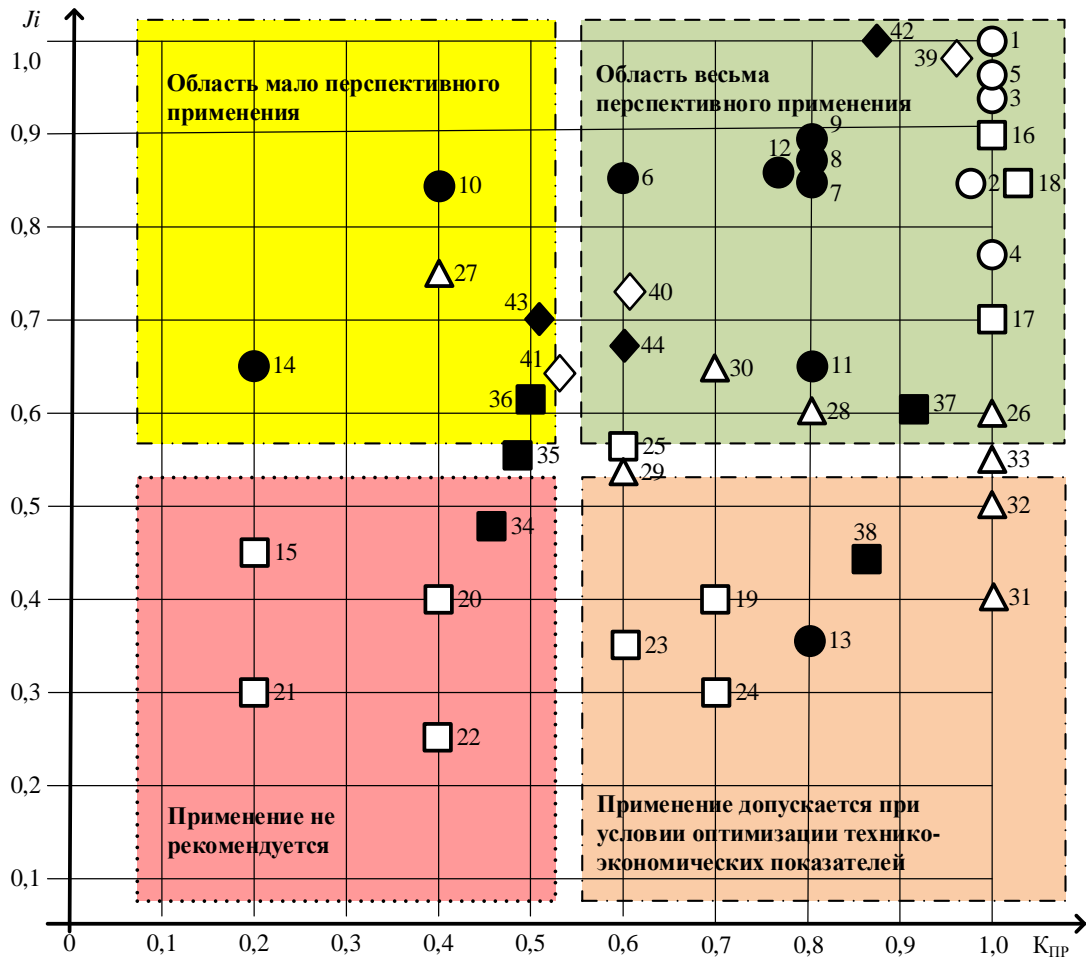


Рисунок 6.1 – Графическое изображение изменения значений критерия технологичности в зависимости от коэффициента эффективности применения способов производства специальных работ в грунтах: ○1 – погружение элементов заводского изготовления забивным способом; ○2 – погружение элементов заводского изготовления забивным способом в предварительно выполненные скважины; ○3 – вдавливание свай в целик грунта; ○4 – вдавливание свай в разрыхленный грунт; ○5 – погружение свай вибрированием; ●6 – способы устройства набивных свай типа фундакс; ●7 – способы устройства набивных свай вытеснения; 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 профильных элементов с забиркой из досок; □16–□18 – погружение стального шпунта соответственно забивкой, вдавливанием, вибрированием; □19–□20 – устройство траншейных монолитных стен в грунте соответственно грейферами и фрезами; □21–□22 – то же, соответственно из касательных свай и гидроизоляции их контактных зон методом струйной цементации грунта; □23–□24 – то же, соответственно из секущихся свай и со струйной цементации их контактных зон; □25 – то же, при закреплении грунта по буросмесительной технологии; Δ26 – устройство систем креплений ограждений с применением горизонтальных распорных балок; Δ27 – «островной способ» с грунтовыми бермами с подкосами для шпунтового ограждения; Δ28 – устройство дополнительных анкерных стен со стальными тягами; Δ29 – устройство грунтоцементных диафрагм в уровне дна котлована; Δ30 – устройство грунтовых анкеров; Δ31 – способ «сверху вниз»; Δ32 – то же, с бетонированием сегментов перекрытий по контуру ограждения; Δ33 – то же, с применением горизонтальных ферм; ■34 – погружение опускающего колодца с заполнением его полости водой; ■35 – то же, с предварительным рыхлением грунта по контуру его стен; ■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 ак-

ватории 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 демпферами; ◆43 – то же, бурением скважин, заполняемых пористым материалом; ◆44 – то же, закреплением грунта струйной цементацией

*Примечание:* длина свайного элемента составляет до 28 м, расчетная нагрузка – до 1300 кН; для ограждений котлованов (глубиной до 10 м) значение изгибной жесткости составляет до  $100 EI/1000$ , (Н · м<sup>2</sup>)/м. Рассмотрены вопросы реализации способов в геологических разрезах с преобладающими напластованиями водонасыщенных слабых пород.

Результаты исследований отражены в регламенте «Выбор эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности». Он содержит методику расчета критерия технологичности в зависимости от положения участка строительства относительно существующей застройки, а также его инженерно-геологических условий. В нем указаны аналитические алгоритмы по выбора технологических параметров, представленных в проектных решениях.

Кроме того, автором выполнен анализ экономической эффективности применения предлагаемой методики на основе данных реально осуществленных объектов строительства.



## 6.2. Практическая апробация разработанной методологии

В предыдущих главах автором были представлены результаты исследований, направленные на достижение цели работы, заключающейся в создании научных и методологических основ для выбора и разработки эффективных способов производства специальных работ в грунтах (устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов; погружение опускных колодцев; выполнение перемычек на акваториях, а также изготовление заглубленных систем защиты от негативного действия динамических воздействий) на основании расчетов критериев технологичности в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе для плотной городской застройки.

В целях их практической реализации были разработаны технологический регламент и нормативные документы, обеспечивающие внедрение и практическую реализацию в следующих областях:

- *На предпроектной стадии при выборе участка строительства под застройку.* Предлагаемые методики позволяют обосновать эффективность различных технологических режимов исходя из расчетов критерия технологичности с учетом инженерно-геологических особенностей, характерных для конкретных анализируемых условий. На основе таких расчетов формируют рекомендации по выбору способов и выполняют соответствующую оценку стоимости работ.

- *При анализе технологических решений, заложенных в соответствующие разделы проектной документации (раздела КЖ-0).* Предлагаемый подход позволяет выполнить их оценку и при необходимости выполнить их выбор на основании сравнительного анализа значений критериев технологичности с учетом альтернативных вариантов способов производства специальных работ в грунтах.

- *По завершении работ и в период эксплуатации здания при рассмотрении различных ситуаций, связанных с потерей качества фундаментов либо при развитии их недопустимых деформаций.*

С учетом вышесказанного и изучения практического опыта работ, в таблице 6.1 приведены сведения о специалистах строительных организаций, для кото-

рых применение новой методики будут обладать наибольшей практической значимостью.

Таблица 6.1 – Области применения новой методики выбора параметров эффективных способов производства специальных работ в грунтах, основанной на расчете и анализе значений критериев  $J_i$

№ п/п	Участники процесса строительства, использующие методику	Особенности применения методики
1	Руководители или менеджеры проекта службы заказчика. Специалисты тендерных отделов	На предпроектной стадии при выборе способов производства работ и составлении соответствующих заданий на проектирование (в том числе при оценке поступающих расценок стоимости работ)
2	Специалисты организаций, выполняющих инженерно-геологические изыскания	При формировании отчетов по результатам изысканий и составлении рекомендаций по применению различных технологических режимов либо описанию факторов, вызывающих снижение качества работ
3	Специалисты проектных организаций – разработчиков проектной документации	При оценке эффективности предлагаемых способов производства работ на основе критерия $J_i$
4	Специалисты генеральных или субподрядных организаций	При оценке и выборе технологических решений в представленной на рассмотрение проектной документации
5	Специалисты, проводящие вневедомственную экспертизу проектной документации	То же
6	Студенты, обучающиеся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по профилю «Технологии и организация строительства»	То же, в ходе исследований в составе выпускных квалификационных работ (магистерских диссертаций)
7	Специалисты проектных организаций машиностроительной промышленности, разрабатывающие конструкторскую документацию на создание новой строительной техники	При разработке новых типов строительных машин

С учетом данных таблиц 6.1 автором обоснованы виды проектной и организационно-технологической документации, в рамках которой следует приводить расчеты и анализ значений критериев технологичности при выборе способов производства специальных работ в грунтах. Результаты исследований представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Рекомендации по назначению состава разделов проектной и организационно-технологической документации

№ п/п	Наименование документа или его раздела	Этап реализации строительного проекта
1	Выбор и обоснование технико-экономических показателей специальных работ в грунтах	Предварительный выбор участка строительства под застройку
2	Техническое задание на проведение инженерно-геологических изысканий	Подготовка строительного производства
3	То же, на разработку проектной документации	То же
4	Рекомендации в выводах отчетов об инженерно-геологических изысканиях	Изыскания
5	Геотехническое обоснование строительства	Разработки проектной документации
6	Заключение по результатам вневедомственной экспертизы соответствующих разделов проектной документации	Экспертиза проектной документации
7	Рекомендации по совершенствованию проектных решений в коммерческих предложениях от субподрядных организаций	Проведение тендерных торгов. Выбор подрядных организаций
8	Анализ коммерческих предложений при определении стоимости и выбора соответствующих способов производства работ	То же
9	Мероприятия контроля качества в технологических регламентах и проектах производства работ	Строительство
10	Выбор способов в соответствующих разделах выпускных квалификационных работ	Образование

Анализ данных таблиц 6.1 и 6.2 позволяет говорить о широкой области применения разработанной автором методики, которую могут использовать специалисты различных направлений. На основе анализа получаемых результатов расчета критериев можно делать заключения, позволяющие составлять соответствующие обоснования на всех стадиях – от выбора участка под застройку до разработки технологической документации в виде ППР, технологических регламентов и т. п.

Следует отметить, что многие этапы применения новой методики относятся к предпроектной стадии или даже к этапам выбора участка под застройку. Причем на данной стадии важно сделать обоснованный выбор технологических режимов способов производства специальных работ в грунтах. Это позволит исключить дополнительные риски потери их качества и развития недопустимых деформаций конструкций зданий и сооружений на прилегающих территориях, вызванных не-

обоснованным применением технологических режимов, а также, как будет показано в следующем подразделе, получить ощутимый экономический эффект от реализации предлагаемых методических подходов. Кроме того, известно, что внесение соответствующих корректировок в проектную документацию в процессе производства работ приводит к необоснованному росту затрат (до 40–50 %) и затягиванию сроков работ, включая возможные простои на строительной площадке.

Опираясь на выполненные исследования и собственный опыт, автор разработал алгоритм определения параметров производства специальных работ для предпроектной стадии при отсутствии утвержденных проектных решений, не позволяющий, однако, определить все показатели, присущие различным способам. Такой алгоритм представлен на рисунке 6.2.

Детализация этой аналитической модели выбора технологических параметров приведена в таблице 6.3.

Из представленной аналитической модели следует, что ее практическая значимость подтверждается целями заказчика, заинтересованного в квалифицированном выборе оптимальных технологических параметров по устройству свайных фундаментов и ограждений котлованов для различных инженерно-геологических условий.

На основе представленной аналитической модели составляют задание на проектирование подземных конструкций зданий, включая ограждение котлована с указанием предполагаемых способов производства работ и основных конструктивных параметров. Как будет показано далее, применение такой методики позволит существенно повысить обоснованность выбора эффективных способов производства специальных работ в грунте, а также снизить затраты на их реализацию, включая устранение дефектов возводимых и существующих конструкций фундаментов зданий.

На основе представленных в диссертации результатов исследований автором разработан и утвержден на техническом совете ООО «Вертикаль» и ООО «Строительный трест № 28» технологический регламент «Выбор эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности». Он содержит следующие разделы:

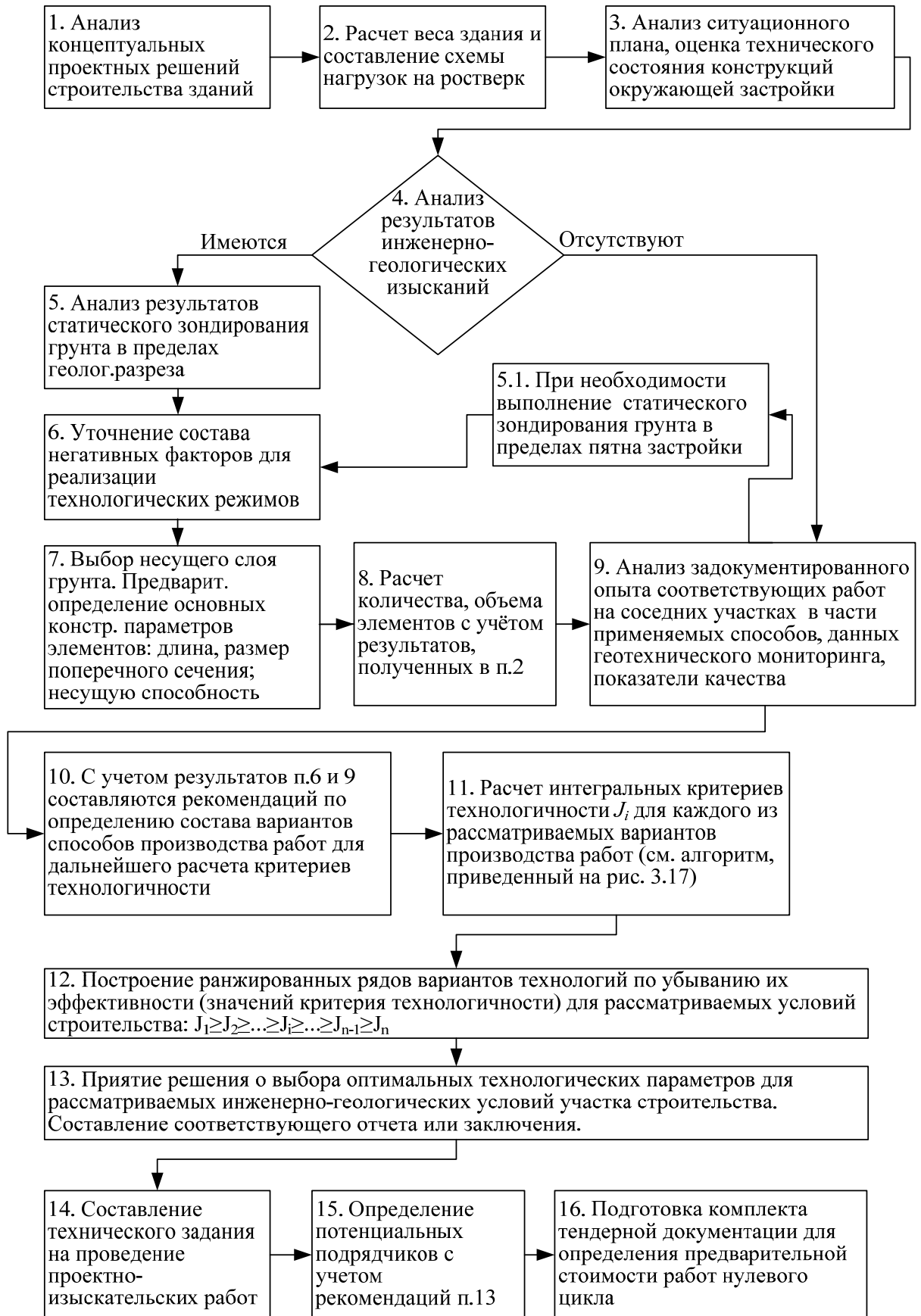


Рисунок 6.2 – Алгоритм обоснования технологических параметров способов производства специальных работ в грунтах на предпроектной стадии

Таблица 6.3 – Описание аналитической модели выбора технологических параметров способов производства специальных работ в грунтах на предпроектной стадии строительства

Номер и наименование этапа	Описание этапа
1. Анализ концептуальных проектных решений строительства	На основе анализа уточняются основные конструктивные параметры здания, положение несущих конструкций, наличие подземных помещений (включая пристроенные заглубленные паркинги и т. п.). Рассчитывается строительный объем здания
2. Составление схемы нагрузок на ростверк	Расчет выполняется на основе рекомендаций СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», п. 7. В первом приближении вес здания оценивается с учетом его объемного веса, составляющего $5 \text{ кН/м}^3$
3. Анализ ситуационного плана, оценка технического состояния конструкций окружающей застройки	Определяются положение участка относительно застроенной территории, включая подземные сети. При необходимости определяют показатели стесненности по формулам (2.21)–(2.23)
4–7. Анализ результатов инженерно-геологических изысканий. Выбор несущего слоя грунта	Уточнение параметров опорного слоя грунта, включая глубину его заложения. С учетом изучения геологических разрезов и графиков статического зондирования грунтов уточняют показатели геологических элементов в пределах глубины заглубления сваи и соотносят их с показателями эффективности, полученными на основании расчета $K_{пр}$ (формулы (2.24)–(2.27)). На основе такого анализа выполняют предварительную оценку ключевых конструктивных параметров свай или ограждений котлованов: длины, размера и формы поперечного сечения, несущей способности по грунту
8. Расчет количества элементов	Для свайных элементов расчет выполняется согласно п. 7.1.12 СП 24.13330. Для ограждений котлованов из шпунта количество элементов следует рассчитывать с учетом периметра ограждения по контуру здания
9. Анализ опыта проведения специальных работ на соседних участках	Этап следует проводить на основе анализа информационных баз данных с результатами испытаний свайных фундаментов и дефектов работ, а также анализа результатов геотехнического мониторинга и исполнительной документации. Как следствие, следует уточнить основные риски, которые сопутствуют процессу реализации технологического режима: снижение качества работ, вызванные технологическими факторами, а также негативные воздействия на окружающую застройку
10. С учетом результатов п. 6 и 9 составляют рекомендации по составу вариантов способов производства работ для дальнейшего расчета критериев технологичности	Такие варианты следует принимать с учетом негативных факторов, действующих на строительной площадке, включая их влияние на качество работ. Рекомендации для такого выбора представлены автором в разработанном автором <b>регламенте</b> с учетом расчетов критериев технологичности для современных способов производства работ в различных инженерно-геологических условиях
11–13. Этапы расчета и анализа значений критериев технологичности	См. описание этапов, представленных в таблице 3.3

Номер и наименование этапа	Описание этапа
14–16. Предварительная оценка стоимости работ	Соответствующими лицами или службами (руководителем проекта, сметно-договорными или тендерными отделами) составляются задания для подачи их потенциальным подрядчикам с указанием выбранных способов производства работ и основных показателей возводимых конструкций, а также требований по проведению соответствующих испытаний, необходимых для составления калькуляций затрат. К этим заданиям прикладываются схемы участка строительства и основные архитектурные решения здания, отчет по инженерно-геологическому заключению участка строительства и т. п.

- общие сведения;
- область применения;
- основные сведения о технологических параметрах производства специальных работ в грунтах;
- методические подходы к выбору эффективных способов, основанные на расчете и анализе значений критерия технологичности;
- область применения методики расчета критерия технологичности;
- описание и практические рекомендации по работе в программном комплексе по расчету критериев технологичности;
- алгоритмы обоснования и выбора технологических параметров современных способов специальных работ в грунте на различных стадиях реализации строительных проектов, а также система контроля качества;
- приложения со значениями критериев технологичности для различных инженерно-геологических условий площадок строительства и конструктивных схем зданий и сооружений.

Регламент содержит методику расчета критерия технологичности в зависимости от положения участка строительства относительно существующей застройки, а также его инженерно-геологических условий. Представлены аналитические алгоритмы по выбору эффективных способов.

В регламенте содержатся практические рекомендации по выбору параметров современных способов специальных работ в грунтах для различных инженерно-геологических условий с учетом их показателей качества. Они представлены в виде наборов таблиц, графиков и аналитических зависимостей для выбора значений критерия технологичности. Это дает возможность в зависимости от конкретных условий строительства выполнять выбор критериев технологичности. В результате составляют ранжированные ряды, содержащие наименования различных способов производства работ в порядке убывания их эффективности, полученные на основании значений критерия  $J_i$ . Таким образом определяют их состав, на основании которого выполняют дальнейшее проектирование и технико-экономические расчеты.

Такой подход позволит существенно повысить обоснованность выбора эффективных способов производства специальных работ в грунте, а также снизить затраты на их реализацию, включая устранение дефектов возводимых и существующих конструкций фундаментов зданий.

Так, в таблице 6.4 приведены полученные автором усредненные значения критериев технологичности для современных способов устройства свайных фундаментов в зависимости от расчетных нагрузок, передаваемых на один элемент.

Представленные в таблице 6.4 значения получены с учетом современной практики проектирования, на примере традиционных конструктивных схем многоэтажных жилых зданий. На стадии проектирования эти значения позволяют в первом приближении решить задачу определения параметров изготовления или устройства свайных элементов в зависимости от значения действующих на них расчетных нагрузок.

Для определения сравнительной эффективности и выбора способов устройства ограждения котлованов в табл. 6.5 приведены полученные в расчетном комплексе усредненные значения критериев  $J_i$  в зависимости от показателей изгибной жесткости одного погонного метра ограждения ( $EI/1000$ , Н · м<sup>2</sup>/м). Такие данные получены для условий производства работ в геологических разрезах с преобладанием напластований в геологических разрезах водонасыщенных грунтов.



Таблица 6.4 – Значения критериев технологичности способов устройства свайных фундаментов в зависимости от расчетных нагрузок, передаваемых на один элемент

Наименование способа	Значения критерия технологичности в зависимости от показателя расчетной нагрузки, передаваемой на элемент, 0,1 кН							
	<120	120–160	160–200	200–250	250–300	300–350	350–400	>400
Погружение секционных свай заводского изготовления								
1. Забивка в целик	1,00	1,00	–	–	–	–	–	–
2. То же, в разрыхленный грунт	0,86	0,086	–	–	–	–	–	–
3. Вдавливание в целик	0,96	0,97	1,00	–	–	–	–	–
4. То же, в разрыхленный грунт	0,78	0,78	0,81	–	–	–	–	–
Изготовление буронабивных свай								
5. Изготовление набивных свай с теряемым наконечником (фундекс)	0,86	0,86	0,88	0,98	1,00	–	–	–
6. То же, вытеснения	0,87	0,87	0,90	1,00	–	–	–	–
7. То же, с забивкой буровых труб (симплекс)	0,92	0,92	0,93	–	–	–	–	–
8. То же, с их вибрационным погружением (вибрекс)	0,93	0,93	0,94	–	–	–	–	–
9. Изготовление буровых свай проходными шнеками	0,74	0,84	0,87	0,97	0,97	–	–	–
10. То же, за счет бурения двойным вращением элементов	0,79	0,86	0,88	–	–	–	–	–
11. То же, с промывкой скважин глинистым раствором (диаметр 150–450 мм)	0,65	–	–	–	–	–	–	–
12. То же, устраиваемых в обсадных трубах (диаметр свыше 600 мм)	0,35	0,36	0,38	0,44	0,55	1,00	1,00	1,00

*Примечание.* Значения критерия технологичности нормализованы относительно максимального, которому присвоено значение  $J_i = 1,0$ .

Данные таблицы 6.5 позволяют выполнять предварительную оценку эффективности современных способов устройства ограждений котлованов на основании параметров их жесткости, указанных в техническом задании на проектирование.

Практическая значимость предлагаемой методики и получаемых на основе ее применения данных, представленных в технологическом регламенте, заключается в том, что они позволяют осуществлять выбор специальных способов устройства свайных фундаментов и ограждений котлованов и т. п. для различных типов зданий и их параметров, а также различных инженерно-геологических разрезов.

Таблица 6.5 – Значения критериев технологичности способов устройства ограждений котлованов в зависимости от значений изгибной жесткости одного погонного метра

Наименование способа	Значения изгибной жесткости одного погонного метра ограждения ( $EI/1000$ ), ( $H \cdot m^2$ )/м				
	<100	100–200	200–300	300–3000	3000–10 000
1. Погружение забивка стальных элементов с устройством забирки между ними из досок или бетонных панелей	1,00	–	–	–	–
2. Вибрационное погружение корытообразного стального шпунта типа Л-4	0,70	–	–	–	–
3. То же, Л-5ум	0,60	0,90	–	–	–
4. Погружение Z-образного стального шпунта типа AZ-18	0,84	–	–	–	–
5. То же, трубошпунта типа Т-1420	0,39	0,55	1,00	1,00	–
6. Вдавливание железобетонного шпунта толщиной 300–400 мм	0,66	1,00	–	–	–
7. Устройство монолитной стены в грунте толщиной 600 мм грейферами	0,41	0,53	–	–	–
8. То же, с контрфорсными Т-образными элементами	0,33	0,38	0,70	0,70	1,00
9. Устройство ограждения из буровых касательных свай в обсадной трубе (диаметром 600 мм)	0,34	0,42	–	–	–
10. То же, с гидроизоляцией контактных зон между ними грунтоцементными шпонками	0,30	0,35	–	–	–
11. Устройство ограждений посредством закрепления грунта по бурсмесительной технологии диаметром 600 мм (Deep Soil Mixing – DSM)	0,56	0,84	–	–	–

*Примечания.* 1. Значения критерия  $J_i$  нормализованы относительно максимального, которому присвоено значение  $J_i = 1,0$ .

2. Варианты 1 и 11 недопустимо применять без получения дополнительных результатов по обеспечению водо- и грунтонепроницаемости ограждения на опытном котловане.

3. Для варианта 11 грунтоцементная цементация контактных зон свай применяется для дополнительного обеспечения водо- и грунтонепроницаемости ограждения.

Кроме того, результаты исследований автора по выбору параметров погружения свай вдавливанием в слои плотных грунтов при сопротивлении грунта, превышающем максимальное усилие вдавливающей установки, вошли в стандарт организации СТО 38051320-001-2018 «Современные технологии погружения свай вдавливающими установками» [50]. Он одобрен на заседании секции научно технического совета НИИОСП им. Герсевича АО «НИЦ» «Строительство» 19.07.2018. В разделе 6.3 и приложении Б этого документа содержатся соответствующие рекомендации по выбору технологических режимов погружения свай и обсадных труб в условиях, когда сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств.

Следует отметить, что результаты исследований внедрены при подготовке магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство» по профилю «Технология и организация строительства» на базе Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Составлены рекомендации по оценке и выбору различных параметров способов при подготовке выпускных квалификационных работ. При этом такая методика в учебном процессе представлена впервые. Она утверждена на заседании кафедры технологии строительного производства 28 августа 2019 г., протокол № 1.

### 6.3. Оценка экономической эффективности результатов исследований

Разработанные методики апробировались автором при выборе способов производства специальных работ в грунтах ходе обоснования их технико-экономических показателей при проведении подрядных торгов и составлении соответствующей тендерной документации. Данные для таких исследований представлены компаниями ООО «Строительный трест № 28» и ООО «Вертикаль».

Их результаты, полученные автором при выборе конструктивно-технологических параметров устройства свайного фундамента, приведены далее. К рассмотрению были приняты проектные решения по устройству свайного фундамента для объекта строительства многоквартирного жилого дома со встроенно-пристроенными помещениями и встроенным гаражом по следующему адресу: г. Санкт-Петербург, пересечение ул. Коллонтай и Дальневосточного пр. (напротив дома 7, лит. А, по Дальневосточному проспекту). По расположению участок строительства относится к категории Б.1 – тоже в квартале современной застройки в пределах 30-метровой зоны от существующих зданий и сооружений (согласно классификации, приведенной в главе 2). Схема участка строительства представлена на рисунке 6.3.



Рисунок 6.3 – Схема участка с расположением жилого многоквартирного дома по адресу Дальневосточный пр., д. 12, к. 2

К территории участка строительства, на расстоянии 40 м от блока 7, примыкают здания автомобильного центра по адресу Дальневосточный пр., д. 12, к. 1, и многоквартирного жилого дома по адресу Союзный пр., д. 4 (на расстоянии 35 м от блока 1). Кроме того, со стороны Дальневосточного пр. на расстоянии менее чем 10 м находятся подземные инженерные сети с напорными трубопроводами.

Характерный геологический разрез участка строительства приведен на рисунке 6.4. Основные нормативные и расчетные значения характеристик грунтов даны в таблице 6.6

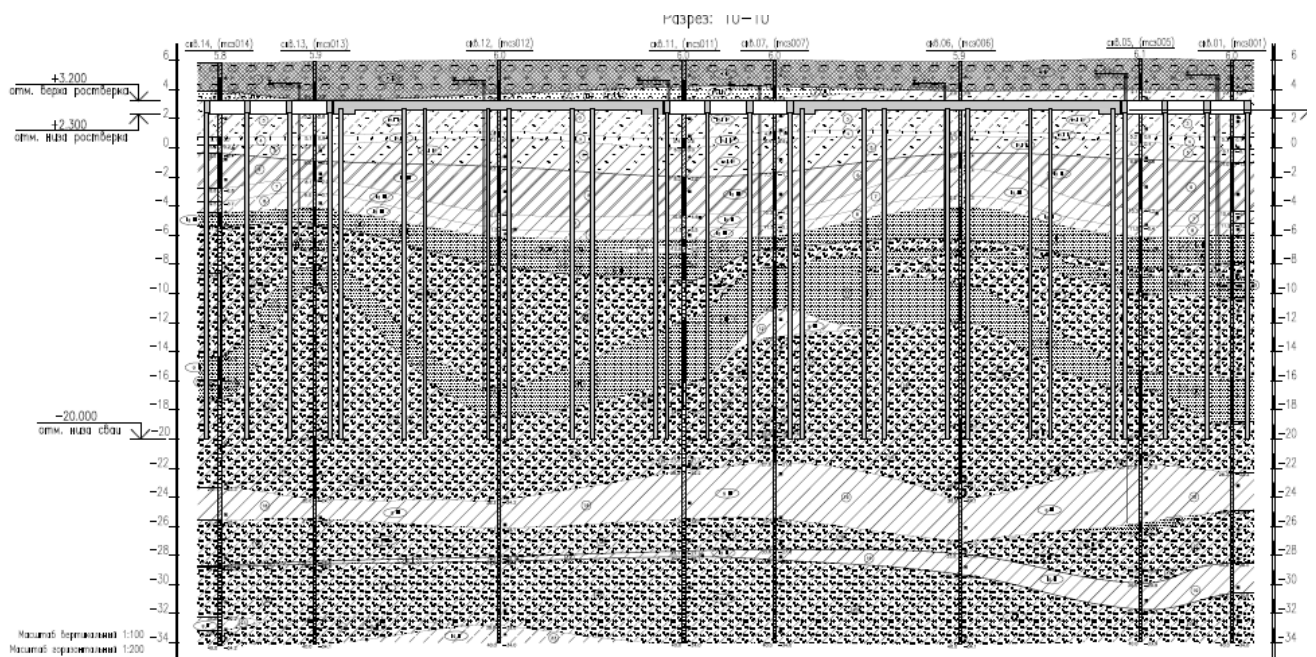


Рисунок 6.4 – Характерный геологический разрез участка строительства

По результатам выполненных в 2015 г. инженерно-геологических исследований условия строительства характеризуются 3-й категории сложности – «сложная» (см. СП 11-105-97, приложение Б).

Проектируемый жилой дом с монолитными несущими конструкциями состоит из семи блоков условно прямоугольной формы, размерами в плане 45,7×17,7; 40,0×17,7; 40,5×20,0; 36,0×14,0 м, с высотой 10 и 48 м (рисунок 6.5). Глубина подвала – 3 м от отметки планировки. Толщина плитного ростверка – 600 мм. Этажность: 1–14. Общая площадь жилых помещений 39 842 м<sup>2</sup>. Строительный объем 265 313 м<sup>3</sup>. Количество квартир 627.

Таблица 6.6 – Нормативные значения характеристик грунтов

№ слоя	Номенклатурное наименование слоя	Нормативные значения характеристик грунтов						
		$I_p$	$W$	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$e$	$I_L$	$\varphi$ , град/С, кг/см <sup>2</sup>	$E$ , кг/см <sup>2</sup>
1	Насыпные грунты: пески, насыщенные водой		–	–	–	–	–	–
2	Пески пылеватые средней плотности, насыщ. водой	–	–	1,9	0,81	–	24/0,01	80
3	Супеси пылеватые заторфованные, пластичные	0,07	0,37	1,76	1,05	0,89	14/0,08	50
4	Среднезаторфованные грунты	–	1,01	1,41	2	–	20/0,12	9
5	Суглинки слоистые тиксотропные	0,10	0,27	1,94	0,79	0,73	20/0,08	75
6	Суглинки тиксотропные, глины текучие	0,15	0,41	1,80	1,15	1,13	8/0,08	50
7	Суглинки тиксотропные	0,12	0,34	1,88	0,94	0,95	13/0,12	65
8	То же, пластичные	0,06	0,25	1,99	0,70	0,83	21/0,12	90
9	Пески пылеватые средней плотности, насыщ. водой	–	–	1,96	0,71	–	25/0,03	135
10– 11	Пески пылеватые с прослоями супеси плотные, насыщенные водой	–	–	2,04	0,59	–	32/0,05	240– 290
12	Супеси пылеватые тиксотропные пластичные	0,06	0,21	2,04	0,59	0,29	25/0,15	115
13	Суглинки легкие мягкопластичные	0,08	0,21	2,09	0,56	0,58	18/0,19	85
14	То же, тугопластичные	0,09	0,19	2,09	0,55	0,36	21/0,31	115
15	То же, полутвердые	0,08	0,17	2,14	0,48	0,16	23/0,37	135
16	То же, слоистые тиксотропные	0,13	0,30	1,93	0,85	0,60	15/0,19	90
17	То же, с гравием, галькой, валунами твердые	0,08	0,15	2,18	0,42	–0,1	27/0,42	155

*Примечание:*  $I_p$  – число пластичности;  $W$  – природная влажность грунтов;  $\rho$  – плотность грунта;  $e$  – коэффициент пористости;  $I_L$  – показатель консистенции;  $C$  – сцепление;  $E$  – модуль деформации.

Изначально по техническому заданию, составленному проектной организацией в декабре 2015 г., планировалось выполнять сваи по технологии фундекс (набивная свая с теряемым наконечником) диаметром 520 мм, с заложением пяты в толщах слоев ИГЭ 14–15 на абсолютной отметке –20,00. Длина сваи при работе с уровня поверхности грунта – 26 м. Расчетная нагрузка на сваю принята 1500 кН. В результате общее количество свай по проекту составило 1260 шт.

На основе алгоритма выбора оптимальных технологических параметров, представленном в п. 3.4, автором выполнено следующее.

С учетом анализа имеющейся проектно-сметной документации (задания на погружение предпроектных свай, предварительного проекта свайного поля, технического отчета о результатах дополнительных инженерно-геологических изысканий на объекте, проекта организации строительства) автором выявлены факторы, негативно влияющие на реализацию технологических параметров при производстве работ, представленные в таблице 6.7.

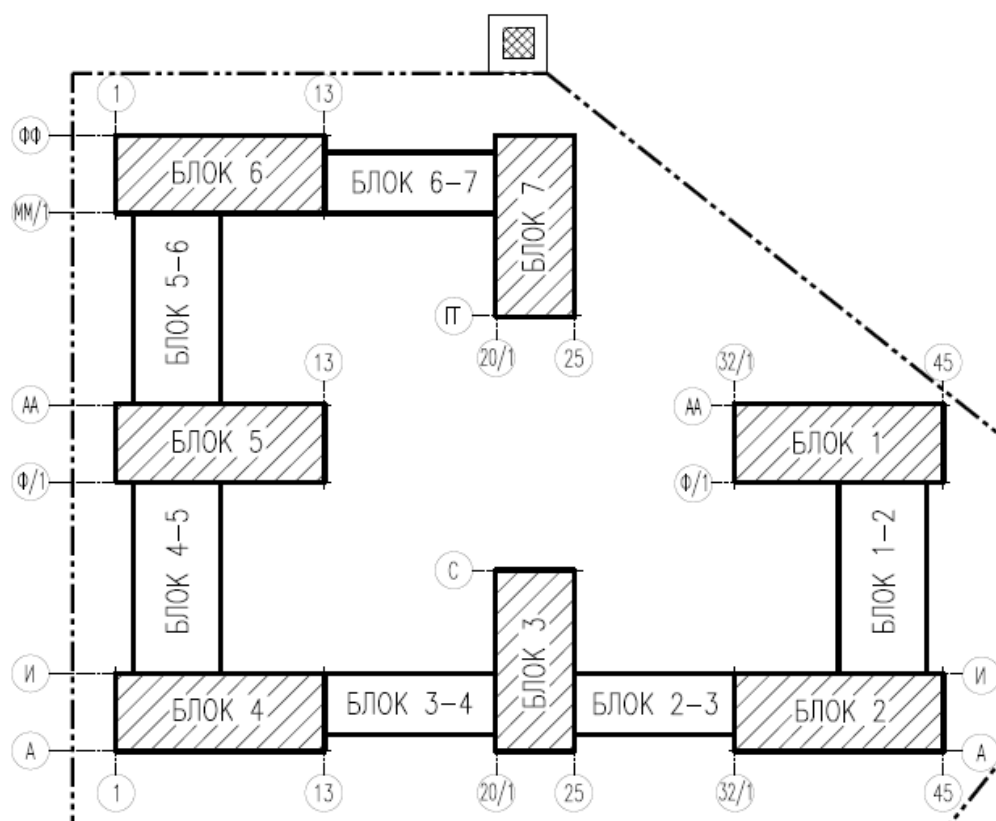


Рисунок 6.5 – Схема расположения секций здания

С учетом анализа данных, представленных в таблице 6.7, следует, что факторы, характерные для рассматриваемых геологических разрезов, негативно влияют на качество свайного фундаментов как при погружении элементов заводского изготовления, так и при устройстве буронабивных свай. Для первых характерно недопогружение свай до проектных отметок в слоях песков и верхнечетвертичных ледниковых отложениях с включениями гравия, гальки и валунов. Для буронабивных режимов для указанных условий характерны дефекты в виде потери сплошности ствола в пластичных глинистых грунтах, а при устройстве свай в обсадных трубах наблюдают неконтролируемое запыление таких пород в обсадные трубы и перемешивание бурового шлама с бетоном. Кроме того, невозможно выполнить скважины при разрушении бурового инструмента в пластах с наличием плотных включений пород.

В этой связи, с учетом практических рекомендаций, составленных автором (см. подраздел 6.1) и первоначального технического задания, выданного проектной организацией, для расчетов критерия технологичности были приняты следующие способы:

Таблица 6.7 – Факторы, негативно влияющие на реализацию технологических параметров при устройстве свайных фундаментов

№ п/п	Описание факторов, источник информации	Негативное влияние факторов на качественные показатели различных режимов изготовления и устройства свай	
		при погружении элементов заводского изготовления	при изготовлении буронабивных свай
1	Выявлены при совместном анализе проекта устройства свайного поля и инженерно-геологических характеристик участка строительства:		
1.1	Наличие плотных песков в пределах глубины погружения свай ИГЭ-10 и 11. Кроме того, пылеватые пески ИГЭ 2, 9–11 при динамическом воздействии могут переходить в «плавунное» состояние со значительным снижением несущей способности	Эффект «ложного отказа»: неоднородное заглубление свай при погружении свыше 5–6 шт. в пределах одной захватки (шириной 5 м). Недопогружение элементов до проектной отметки и несущего слоя	Потеря сплошности ствола свай. Подпор водонасыщенных песков в обсадные трубы. При массовом устройстве набивных свай при локальном уплотнении песков под торцом буровых труб скважины «не доводят» до проектных отметок
1.2	Нахождение в опорном слое прослоев крупнообломочного материала (галька, валуны)	Разрушение элемента в слое грунта	Разрушение режущего наконечника буровых труб – недостижение проектных отметок скважин
1.3	Наличие в пределах верхней трети свай пластичных, тиксотропных, пучинистых глинистых грунтов, в том числе заторфованных	–	Потеря сплошности ствола свай, «уход» бетонной смеси в пласт грунта
1.4	Выявлены пласты, содержащие напорные грунтовые воды	–	Размыв ствола свай, подпор водонасыщенных песков в обсадные трубы (смешивание бетонной смеси со шламом)
2	Выявлены при анализе ПОС и генерального плана участка строительства:		
2.1	Наличие подземных инженерных сетей, жилого дома и здания автосервиса вблизи участка	Исключаются режимы с шумовым воздействием; ограничены уровни динамического воздействия, распространяющегося в грунте	

- изготовления набивных свай без извлечения грунта: с теряемым наконечником (фундекс);
- изготовления буровых свай с извлечением грунта: проходными шнеками, в обсадных трубах;
- при заглублении элементов заводского изготовления (квадратного сечения 40×40 см): вдавливанием через прослой плотных грунтов на глубину до 16 м диамет-



ром 350 мм. При этом длина элементов была принята с учетом конструктивных особенностей заглубленного объема здания. В отличие от буронабивных элементов, отпадает необходимость в технологическом удлинении свай для интервала глубин в пределах подземного пространства.

Опираясь на анализ результатов статического зондирования грунта в пределах геологических разрезов, автор определил для каждого варианта значения несущей способности, положение несущего слоя и количество свай. Эти значения представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Параметры свайных фундаментов, устраиваемых при различных технологических режимах

№ п/п	Технологические характеристики варианта изготовления (устройства) свай	Несущий слой грунта (обозначение согласно геологическому разрезу)	Длина/ диаметр свай, м	Кол-во, шт./ то же, пог. м	Расчетная нагрузка на сваю, тс (кН)
1	Изготовление набивных свай с теряемым накопчиком (фундекс)	ИГЭ-15	26/0,52	1260/32 760	150 (1500)
2	То же, буровых свай с извлечением грунта проходными шнеками	ИГЭ-15	26/0,60	1260/32 760	150 (1500)
3	То же, в обсадных трубах большого диаметра с извлечением грунта на Келли-штанге	ИГЭ-18	33/0,60	990/32 670	210 (2100)
4	Вдавливание свай заводского изготовления в скважины с предварительно разрыхленным грунтом	ИГЭ-15	23 (до погружения на 3 м) 26/0,4×0,4 (сварной стык)	1434/30 922 (рыхление грунта на 16 м, всего 21 248 пог. м)	140 (1400)

Обоснование значений технико-экономических показателей для таких вариантов способов представлено в таблице 6.9.

На основе полученных данных с учетом алгоритма, представленного на рисунке 3.17, были выполнены расчеты значений интегрального критерия технологичности. Результаты таких расчетов представлены на рисунке 6.6.

Таблица 6.9 – Технико-экономические показатели вариантов устройства и изготовления свай

№ п/п	Наименование варианта изготовления (устройства) свай	Срок выполнения работ, календ. мес.	Трудозатраты, чел.-ч	Трудоемкость, чел.-ч/пог. м	Стоимость, руб., в том числе НДС 18 %
1	Изготовление набивных свай с теряемым наконечником	3	8118	0,25	111 670 600
2	То же буровых свай проходными шнеками	3,3	10716	0,33	116 677 600
3	То же в обсадных трубах большого диаметра	4,5	17048	0,52	332 700 000
4	Вдавливание свай заводского изготовления	2,9	8659	0,28	84 650 868

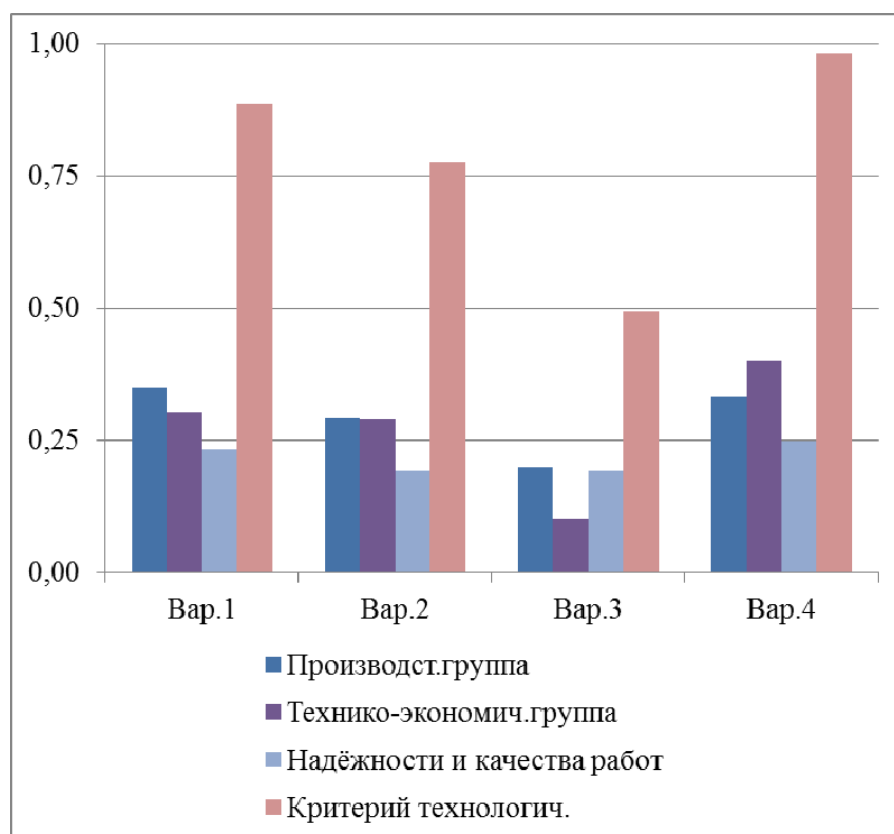


Рисунок 6.6 – Результаты расчета критерия технологичности

Причем на диаграмме рисунке 6.5 для каждого из рассматриваемых вариантов представлены также промежуточные результаты расчета в виде значений обобщенных групп показателей (производственной, технико-экономической, надежности и качества работ).

Принимая во внимание эти результаты, рассматриваемые варианты способов производства работ можно расположить в следующем порядке согласно убыванию их эффективности, определяемому значениями критерия технологичности:

Вариант 4 – вдавливание свай заводского изготовления в скважины с предварительно разрыхленным грунтом ( $J_i = 0,98$ ).

Вариант 1 – изготовление набивных свай с теряемым наконечником ( $J_i = 0,89$ ).

Вариант 2 – то же, буровых свай с извлечением грунта проходными шнеками ( $J_i = 0,77$ ).

Вариант 3 – то же, в обсадных трубах большого диаметра ( $J_i = 0,50$ ).

Таким образом, для практического применения был рекомендован способ вдавливания свай заводского изготовления в скважины с разрыхленным грунтом.

Для обоснования применения различных конструктивно-технологических показателей были построены графические зависимости, представленные на рисунке 6.7.

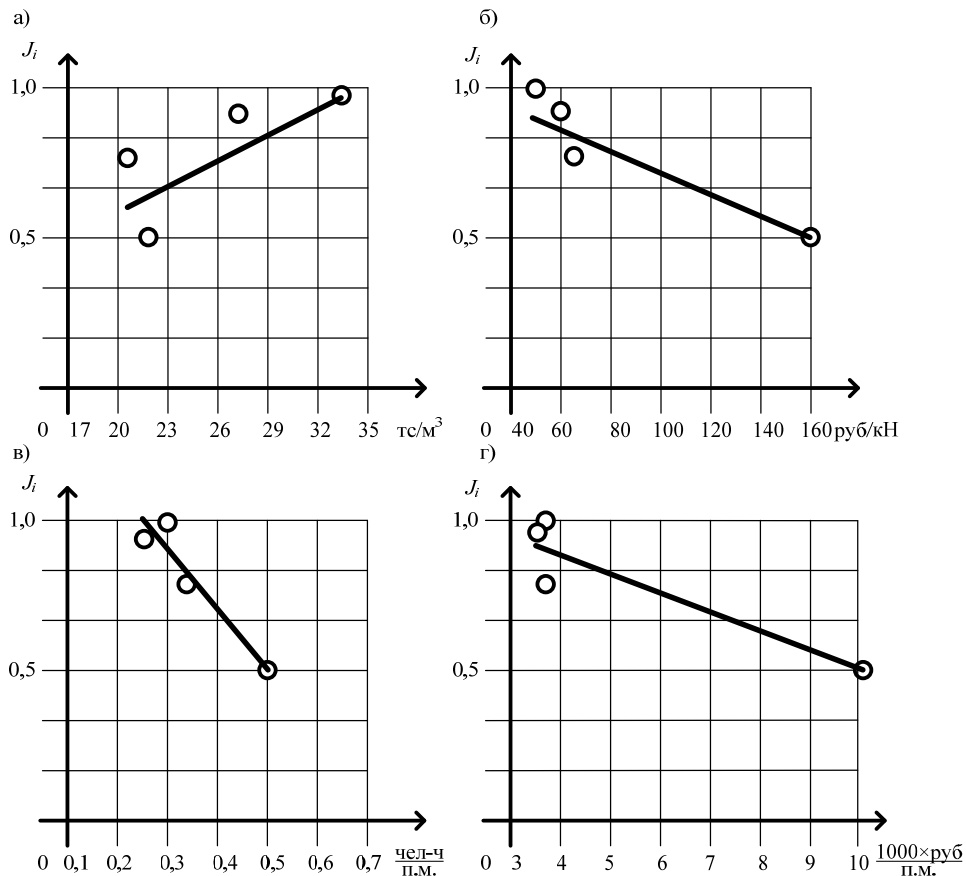


Рисунок 6.7 – Графические зависимости изменения значения критерия технологичности при изменении следующих конструктивно-технологических показателей способов: а – несущей способности сваи, отнесенной к  $1 м^3$  ее материала; б – стоимости изготовления (погружения) одного элемента, отнесенной к ее несущей способности; в – трудоемкости; г – стоимости работ, отнесенной к суммарной длине всех изготавливаемых или погружаемых свай

На основе соответствующей математической обработки графиков, показанных на рисунке 6.6, были получены математические зависимости, позволяющие определять для конкретных инженерно-геологических условий эффективные технологические параметры исходя из значений критерия технологичности. Зависимости имеют следующий вид:

$$J_i = A + B \cdot x, \quad (6.3)$$

где  $x$ ,  $A$  и  $B$  – соответственно переменная и коэффициенты, значения которых представлены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Значения коэффициентов в уравнении (6.3)

Вид зависимости для значения $J_i$	$A$	$B$
Несущая способность свай, отнесенная к 1 м <sup>3</sup> ее материала, тс/м <sup>3</sup>	0,12	0,02
Стоимость изготовления (погружения) одного элемента, отнесенная к ее несущей способности, руб./кН	1,12	-0,004
Трудоемкость, чел.-ч./пог. м	1,35	-1,63
Стоимость работ за 1 погонный метр изготавливаемых или погружаемых свай, 1000 руб./пог. м	1,08	-0,06
Несущая способность свай, отнесенная к суммарной длине свай, кН/пог. м	-3,46	0,07

Совместное рассмотрение рисунка 6.6 и уравнения (6.3) позволяет сделать следующие практически важные выводы:

- Максимальные значения критерия технологичности соответствуют способам с наибольшим использованием несущей способности по грунту материала изготовления свай (свыше 27 тс/м<sup>3</sup>), полученные для вариантов 1 и 4. При этом для варианта 3 изготовления свай в обсадных трубах получены минимальные значения критерия технологичности (0,50), что вызвано недостаточными значениями обобщенного показателя производственной группы, определяемыми значениями сопротивления грунта по боковой поверхности элемента, не позволяющими воспринимать такими сваями нагрузки свыше 2100 кН.

- Расчеты подтверждают ранее полученные выводы прямой зависимости значения критерия технологичности от показателей затрат изготовления свайного фундамента, отнесенных к погонному метру изготовления свай и их несущей способности. Те же результаты подтверждены автором и для показателей трудоемкости.

- Для рассматриваемых инженерно-геологических условий, неблагоприятных для формирования ствола свайного элемента в грунте (особенно верхней его трети, воспринимающей изгибающие моменты), максимальные значения критерия технологичности, близкие к 1,0, были получены для режимов погружения свай заводского изготовления.

Такие результаты были представлены и согласованы специалистами авторского и технического надзора, проводящими соответствующие работы на объекте.

С учетом представленного анализа полученных результатов, был рекомендован вариант вдавливания свай заводского изготовления квадратного сечения 400×400 мм с локальным допогружением на 3 м в предварительно разрыхленный грунт. Экономический эффект от предлагаемых технологических решений составил 27 016 732 руб.

В результате фундаменты были выполнены по предлагаемому варианту. Сверхнормативных деформаций как конструкций окружающей застройки, так и возводимого здания не было выявлено.

Согласно приведенному выше алгоритму была выполнен анализ проектных решений по устройству свайных фундаментов и ограждений котлованов на различных участках строительства. Полученные результаты в виде различных технико-экономических показателей приведены в таблице 6.11.

Полученные результаты подтверждают экономическую эффективность применения на практике разработанного автором научно-методического подхода выбора способов производства специальных работ в грунтах на основании расчета критерия технологичности.

Таблица 6.11 – Результаты выбора проектных решений по устройству свайных фундаментов и ограждений котлованов, полученные на основании расчетов критерия технологичности для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга

Наименование объекта, адрес, краткая характеристика	Характеристика застраиваемой территории	Описание предлагаемых автором решений	Экономический эффект от реализации предлагаемых решений, руб.	Результат (стадия реализации этапа строительства)
<b>При устройстве свайных фундаментов</b>				
Строительство жилого дома по адресу ул. Прилуцкая, д. 20, лит. А (9 эт. с подземным паркингом – 4,5 м)	Вблизи участка расположено административное здание (15 м) и помещение склада (металлический контейнер)	Анализ существующих проектных решений. Предложен альтернативный способ устройства свайных фундаментов	1 898 541	Сдан в эксплуатацию в июле 2018 г., недопустимых деформаций конструкций прилегающей застройки не обнаружено
Строительство жилого комплекса по адресу ул. Большой Сампсониевский пр., д. 68	Существующие здания на расстоянии 20 м	То же. Изменение заложения пяты сваи и корректировка расчетной нагрузки. Предложен альтернативный способ работ	47 842 600	В стадии производства специальных работ в грунтах
Строительство гостинично-делового центра по адресу ул. Черниговская, д. 8, лит. К	Здание примыкает к ул. Черниговской	То же. Предложен альтернативный способ работ, включая изменение конструктивных параметров свай без изменения положения несущего слоя	120 000 000	Работы завершены. Недопустимых деформаций конструкций прилегающей застройки не обнаружено
<b>При комплексном устройстве ограждений котлованов и свайных фундаментов</b>				
Жилой комплекс со встроенными помещениями по адресу ул. Тележная, д. 32, лит. А	На расстоянии 16 м от котлована находится здание 2-й категории технического состояния	Анализ конструктивно-технологического решения ограждения котлована с применением стального шпунта Л5-ум. Осуществлена замена способа устройства свай с сохранением опорного слоя	96 777 022	В стадии производства специальных работ
Жилой комплекс со встроенными помещениями по адресу ул. Алтайская, д. 39	Существующее здание на расстоянии 40 м границы от котлована	То же, при отказе от варианта устройства ограждения в виде несущей стены в грунте шириной 800 мм и объемом 2640,4 м <sup>3</sup>	101 000 000	В стадии проектирования

*Примечание.* Расчеты выполнялись на основании данных, предоставляемых специалистами ООО «Вертикаль» и ООО «Строительный трест № 28».

#### 6.4. Выводы по шестой главе

В шестой главе представлены результаты апробации представленной методологии в практику строительства.

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

Полученные результаты использованы при разработке нормативно-технических документов, которые утверждены НТС НИИОСП им. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»» и ООО «Строительный трест № 28».

и другими специализированными строительными организациями. Эти документы содержат указания по выбору эффективных технологических решений при проектировании конструкций фундаментов и ограждений котлованов, погружении опускных колодцев, составлении проектов производства работ, контроле качества работ и т. п.

Представлены графики изменения критерия  $J_i$  от значений коэффициента эффективности применения  $K_{ПР}$  производства специальных способов в грунтах. С учетом анализа полученных результатов представлен алгоритм обоснования эффективных способов при выборе их конструктивно-технологических решений.

На основе представленного алгоритма, реализованного в программном комплексе, осуществлен выбор способов производства специальных работ в грунтах для реальных объектов строительства. В результате экономический эффект может составить до 120,0 млн руб. в зависимости от рассматриваемых объемов работ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная новизна исследований, представленных в диссертации, заключается в создании методологии выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах, а также обосновании областей их применения в различных инженерно-геологических условиях. Выбор следует производить на основе анализа значений критерия технологичности как комплексной количественной характеристики различных свойств таких способов. Разработаны методические положения, позволяющие с помощью данного критерия учитывать разнородные технологические параметры современных способов (таких как устройство свайных фундаментов и ограждений котлованов, возведение перемычек на акваториях, обеспечение заглубленных систем защиты от негативного влияния динамических воздействий, а также погружение опускных колодцев).

В ходе выполненных теоретических и 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. Установлено, что такие параметры в разной степени проявляются в конкретных условиях строительной площадки. Необоснованный выбор технологических режимов чреват появлением различных дефектов в виде снижения несущей способности свай, потери устойчивости элементов ограждения и аварийных ситуаций, приводящих к развитию деформаций конструкций соседних зданий и сооружений.

2. Проанализированы современная нормативно-техническая и методологическая база, а также научные труды в области обоснования выбора технологических параметров. При этом было установлено, что единого подхода для выбора способов специальных работ в грунтах не существует. Показано, что для указанных целей необходимо выполнять расчет и анализ значений интегрального критерия технологичности как комплексной количественной характеристики разнородных качеств подобных способов. Таким образом, в единой оценочной шкале



определяют сравнительную эффективность их применения в различных инженерно-геологических условиях строительных площадок, включая стесненность городских территорий.

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

4. В целях учета показателей надежности и качества работ в составе интегрального критерия технологичности была разработана методика их количественного анализа посредством генеральных определительных таблиц. На ее основании нами был получен алгоритм количественной оценки качественных показателей способов производства специальных работ в грунтах для различных условий их реализации.

5. На базе выполненных исследований была разработана и формализована математическая модель выбора параметров эффективных способов производства работ. При этом поставленная задача была решена путем анализа изменчивости системы с учетом целевой функции – критерия технологичности. Эти положения реализованы в алгоритме, на основании которого разработан программный комплекс по расчету критерия технологичности для различных инженерно-геологических условий строительства (см. Свидетельство о регистрации № 2015660159 от 14.12.2015). Результаты его практического применения представлены в разработанных нормативно-технических документах.

6. На основе анализа построенных зависимостей изменения критериев технологичности обоснованы области применения современных способов устройства свайных фундаментов в зависимости от удаления участка строительства относительно окружающей застройки. В результате были получены ранжированные ряды эффективности применения этих способов в условиях строительства в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений:

➤ буровая технология с промывкой ствола скважин глинистым раствором ( $J_i = 0,88$ );

- вдавливание свай заводского изготовления в предварительно пробуренные скважины ( $J_i = 0,85$ );
- набивные технологии без извлечения грунта с теряемым башмаком, а также сваи вытеснения, погружаемые в предварительно разрыхленный грунт ( $J_i = 0,80$ );
- вдавливание свай заводского изготовления в целик ( $J_i = 0,75$ );
- набивные технологии без извлечения грунта с теряемым башмаком, а также сваи вытеснения ( $J_i = 0,71$ );
- буровая технология с образованием скважины двойным вращением элементов ( $J_i = 0,61$ );
- то же, проходными шнеками ( $J_i = 0,45$ );
- то же, в обсадных трубах (диаметр свыше 600 мм) с удалением грунта буровым инструментом ( $J_i = 0,35$ ).

7. Посредством анализа значений критериев технологичности были обоснованы рациональные области применения способов устройства свайных элементов в геологических разрезах с преобладающими напластованиями слабых водонасыщенных грунтов. Как следствие, была обоснована эффективность использования следующих способов: с погружением элементов заводского изготовления ( $J_i = 0,82-0,88$ ); изготовление набивных элементов с бетонированием их стволов посредством жестких бетонных смесей ( $J_i = 0,70-0,75$ ). В таких условиях изготовление свай буровым способом с извлечением грунта на поверхность менее эффективно ( $J_i = 0,4-0,52$ ); при этом наиболее рационален режим устройства свай под защитой глинистого раствора ( $J_i = 0,68$ ). Получены закономерности изменения показателей обеспечения сплошности ствола свай в зависимости от технологии обеспечения устойчивости стенок скважины и режимов извлечения грунта на поверхность.

8. С учетом такого подхода были обоснованы граничные условия применения указанных способов для следующих факторов:

- в зависимости от расчетных нагрузок, передаваемых на элемент: при их значениях свыше 2000 кН эффективны способы изготовления

набивных свай ( $J_i = 0,98$ ), буровых свай проходными шнеками ( $J_i = 0,97$ ) и в обсадных трубах большего диаметра ( $J_i = 0,50$ );

➤ в зависимости от размеров погружаемых свай: при их длине свыше 28–30 м эффективны способы погружения готовых свай ( $J_i = 0,8–0,95$ ), изготовление набивных свай типа фундакс ( $J_i = 1,0$ ); то же в обсадных трубах ( $J_i = 0,3–0,7$ ), а также траншейных свай, эффективность применения которых проявляется при длине свыше 40 м ( $J_i = 0,60–0,70$ ).

9. На основе анализа представленных значений обозначено направление совершенствования для условий, при которых сопротивление грунтов превышает погружающую способность технических средств. Для этих случаев рациональными представляются следующие технологические приемы:

➤ 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;

➤ увеличение усилия вдавливания в слоях плотных грунтов до значения, равного несущей способности элемента в интервале погружения, а также уменьшение скорости вдавливания  $v$  до минимального значения согласно выражению  $v = n(F_{вд} - F_d)/F_d$ , где  $n = 0,4–0,9$  – опытный коэффициент;

➤ придание элементу вращательных колебаний, обеспечивающих его целостность при обоснованных вибрационных параметрах (частота колебаний – 600 кол./мин, амплитуда – 12–20 мм).

10. Посредством алгоритма, реализованного в программном комплексе, получены зависимости изменения сравнительной эффективности применения способов устройства ограждений котлованов с учетом изгибной жесткости элементов. Для значений до  $200 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{м}$  обосновано следующее распределение применения таких способов:

➤ вдавливание железобетонного шпунта 300–400 мм ( $J_i = 1,00$ );

➤ вибрационное погружение стального шпунта типа Л5ум ( $J_i = 0,9$ );

- устройство монолитных ограждений толщиной 600 мм по буросмесительной технологии ( $J_i = 0,84$ );
- то же, стен в грунте, выполняемых грейферами ( $J_i = 0,53$ );
- то же, из бурокасательных свай в обсадных трубах диаметром 600 мм ( $J_i = 0,42$ );
- устройство стен в грунте с контрфорсными элементами ( $J_i = 0,38$ ).

При значениях изгибной жесткости  $300 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/м}$  эффективны способы погружения трубошпунта типа Т-1420 ( $J_i = 1,00$ ) и устройство стен в грунте с контрфорсами ( $J_i = 0,70$ ).

11. Для устройства ограждений из элементов заводского изготовления получены граничные значения критерия для глубины котлованов  $H_K = 15 \text{ м}$  ( $J_i = 0,75\text{--}0,95$ ); из буровых свай –  $H_K \leq 20 \text{ м}$  ( $J_i = 0,40\text{--}0,90$ ); из монолитных стен в грунте –  $H_K \leq 30 \text{ м}$  ( $J_i = 0,20\text{--}0,70$ ); из опускных колодцев –  $H_K \leq 65\text{--}70 \text{ м}$  ( $J_i = 0,10\text{--}1,00$ ).

Получены зависимости влияния показателя ширины и глубины котлована на параметры устройства элементов креплений его ограждений в геологических разрезах с напластованием водонасыщенных четвертичных отложений. Способы выполнения креплений из стальных подкосов эффективны для глубины котлованов  $H_K \leq 5 \text{ м}$  ( $J_i = 0,00\text{--}0,10$ ), тогда как способы с установкой горизонтальных стальных балок следует применять при условии  $H_K \leq 20 \text{ м}$  ( $J_i = 0,65\text{--}0,10$ ). Островной способ с грунтовыми бермами следует применять для глубины котлованов  $H_K \leq 15\text{--}17 \text{ м}$  ( $J_i = 0,80\text{--}0,10$ ), при обязательном опытном подтверждении обеспечения устойчивости берм под действием динамических нагрузок. Для изготовления систем креплений в условиях строительных площадок получены следующие распределения их эффективности: с устройством грунтоцементных диафрагм –  $H_K \leq 10 \text{ м}$  ( $J_i < 0,60$ ); то же, грунтовых анкеров –  $10 < H_K \leq 20 \text{ м}$  ( $J_i < 0,65$ ); способ с устройством сплошных монолитных перекрытий «сверху вниз» –  $15 < H_K \leq 30\text{--}35 \text{ м}$  ( $J_i < 0,80$ ); то же, с их сегментами –  $15 < H_K \leq 30\text{--}35 \text{ м}$  ( $J_i < 0,90\text{--}0,95$ ).

12. Обозначены области применения ограждений котлованов из стального шпунта, погружаемого в городской застройке при высокочастотных режимах гар-

монических колебаний в условиях «срыва» относительно прилегающего массива грунта. При этом было определено эффективное направление виброударного заглубления шпунта в плотные грунты без деформаций его стенок и разрывов замков. Это обеспечивало устойчивость и водонепроницаемость возводимого шпунтового ограждения. Таким образом, была проверена адекватность методического подхода расчета значений критериев технологичности при выборе режимов устройства ограждений котлованов.

13. Установлены эффективные режимы погружения опускных колодцев для создания подземных объемов зданий и сооружений при минимальных технологических деформациях близкорасположенных зданий и сооружений. В результате были получены следующие критерии технологичности, основанные на сравнительной эффективности применения такого способа:

- с заполнением полости колодца водой или глинистым раствором – ( $J_i = 0,20-0,90$ );
- предварительным рыхлением грунта – ( $J_i = 0,60-0,70$ );
- погружением в тиксотропной рубашке – ( $J_i = 0,60-0,65$ );
- задавливанием ( $J_i = 0,50-0,65$ );
- антифрикционными обмазками ( $J_i = 0,50-0,60$ );
- предварительным устройством фильтрационных завес ( $J_i = 0,50$ );
- при совершенствовании конструкции ножевой части с разработкой грунта из-под ножа ( $J_i = 0,40-0,50$ ).

14. При анализе критериев технологичности была решена задача выбора и совершенствования параметров, обеспечивающих комплексную надежность конструкций перемычек на акваториях из стальных тонкостенных оболочек большого диаметра.

Исходя из расчетов критерия технологичности определены следующие эффективные способы заглубления оболочек:

- в режиме вибрационного воздействия ( $J = 0,82-1,00$ );
- вибрационное погружение ( $J = 0,62$ );
- свободная установка ( $J = 0,52$ ).

15. Исследована структура критериев технологичности устройства систем защиты сооружений от негативного действия динамического возмущения различного происхождения, распространяющегося в грунте. Получено следующее их распределение согласно убыванию сравнительной эффективности:

- с погружением элементов с гидравлическими демпферами ( $J_i = 1,0$ );
- экраны из аэрированного массива грунта ( $J_i = 0,95$ );
- устройство открытых траншей, щелей, скважин ( $J_i = 0,89$ );
- то же, с их заполнением различными материалами ( $J_i = 0,80$ );
- устройство экраном из касательных или секущих свай ( $J_i = 0,75$ );
- то же, при глубинном смешивания грунта с цементными смесями ( $J_i = 0,60$ );
- закрепление массива грунта методами струйной цементации ( $J_i = 0,50$ );
- устройство стены в грунте из монолитного бетона ( $J_i = 0,35$ ).

Определена эффективность создания специальных устройств, оснащенных гидравлическими демпферами, обеспечивающими гашение интенсивности динамического воздействия при проталкивании вязкой жидкости через каналы дроссельных элементов. Разработаны технологические режимы, позволяющие выполнить погружение в грунт таких устройств без нарушения герметичности их полостей. Предложена математическая модель, описывающая развитие процессов гидродинамического демпфирования.

16. Применение разработанной методологии позволит существенно повысить обоснованность выбора 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), а также снизить затраты на их реализацию, включая устранение дефектов возводимых и существующих конструкций фундаментов зданий.

**Список литературы**

1. *Абелев, К. М.* Результаты исследования особенностей строительства зданий и сооружений на территориях с водонасыщенными глинистыми грунтами / К. М. Абелев, Р. Р. Бахронов, В. Б. Некрылов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 8. – С. 57–59.
2. *Абелев, М. Ю.* Методы строительства на слабых водонасыщенных грунтах / М. Ю. Абелев – М.: МИСИ. – 1975. – 53 с.
3. *Абовский, Н. П.* Об эффективности применения экранов в грунте для сейсмозащиты зданий и сооружений / Н. П. Абовский // Основания фундаменты, механика грунтов. – 2011. – № 3. – С. 31–32.
4. *Абрамова, Т. Т.* Снижение вибрационных воздействий на грунтовые массивы с помощью волногасящих массивов / Т. Т. Абрамова // Геотехника. – 2016. – № 4. – С. 36–49.
5. *Азгальдов, А. А.* Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании / Г. Г. Азгальдов. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
6. *Азгальдов, Г. Г.* Квалиметрия – наука об измерении качества продукции / Г. Г. Азгальдов, А. В. Гличев, З. Н. Крапивенский, Ю. П. Кураченко, В. П. Панов, М. В. Фёдоров, Д. М. Шпекторов // Стандарты и качество. – 1968. – № 1. – С. 34–35.
7. *Азгальдов, Г. Г.* Экспертные методы в оценке качества товаров / Г. Г. Азгальдов, Э. П. Райхман. – М.: Экономика, 1974. – 151 с.
8. *Бадьин, Г. М.* Механизация свайных работ в зимних условиях / Г. М. Бадьин. – Л.: Стройиздат, 1987. – 184 с.
9. *Бадьин, Г. М.* Научные основы повышения эффективности и качества сваебойных работ: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.08. – Ленинград, 1991. – 43 с.
10. *Бадьин, Г. М.* Игровое моделирование при подготовке строительного производства: учеб. пособие / Г. М. Бадьин, Э.-К. К. Завадскас, Ф. Ф. Пелдшус. – Л.: ЛИСИ, 1989. – 41 с.
11. *Бадьин, Г. М.* Комплексная оценка технологичности возведения зданий и сооружений / Г. М. Бадьин, Б. С. Мосаков // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 7 (667). – С. 103–111.
12. *Байбурин, А. Х.* Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08: защищена 15.04.2012 / А. Х. Байбурин; науч. консультант С. Г. Головнев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т. – СПб., 2012. – 408 с.
13. *Байбурин, А. Х.* Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А. Х. Байбурин. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 336 с.

14. *Баркан, Д. Д.* Виброметод в строительстве / Д. Д. Баркан. – М.: Гос. изд-во строит. лит., 1959. – 315 с.
15. *Баркан, Д. Д.* Динамика оснований и фундаментов / Д. Д. Баркан. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – 411 с.
16. *Блюмберг, В. А.* Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В. А. Блюмберг, В. Ф. Глущенко. – Л.: Ленииздат, 1982. – 160 с.
17. *Богов, С. Г.* Проблемы устройства свайных оснований в городской застройке в условиях слабых грунтов Санкт-Петербурга / С. Г. Богов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2004. – № 8. – С. 119–127.
18. *Болотин, С. А.* Стохастическая квалиметрия строительных потоков / С. А. Болотин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – № 4. – С. 55–60.
19. *Буров, В. П.* Исследования процессов погружения свай методом вдавливания с целью обоснования выбора оптимальных параметров сваевдавливающих установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Буров Владимир Петрович. – Омск, 1996. – 20 с.
20. *Верстов, В. В.* Безопасное вибропогружение шпунта вблизи существующих зданий / В. В. Верстов, Г. Г. Азбель, И. В. Гольденштейн // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2002. – № 1. – С. 22–25.
21. *Верстов, В. В.* Вибрационная техника и технология в свайных и буровых работах / В. В. Верстов, М. Г. Цейтлин, Г. Г. Азбель. – Л.: Стройиздат, 1987. – 262 с.
22. *Верстов, В. В.* Совершенствование технологических решений по погружению и извлечению шпунта вибрационным методом / В. В. Верстов, Г. А. Белов // Вестник гражданских инженеров. – 2007. – № 4 (13). – С. 38–44.
23. *Верстов, В. В.* Экспериментальное сравнение эффективности различных сваебойных средств при забивке шпунта в тяжелые грунты / В. В. Верстов, М. Г. Цейтлин, Я. К. Байтингер, Г. Ф. Ольшевский // Сборник трудов ВНИИГС. – 1984. – С. 13–17.
24. *Верстов, В. В.* Ячеистые перемишки из тонкостенных стальных оболочек / В. В. Верстов, Е. М. Перлей, А. Я. Серебро, М. Ю. Николаевский, А. И. Певзнер, Ю. Н. Редянов, Г. Ф. Ольшанский, В. Т. Климов, А. М. Рукавцов // Транспортное строительство. – 1988. – № 2. – С. 26–28.
25. *Гайдо, А. Н.* Анализ результатов определения несущей способности грунтов / А. Н. Гайдо, Г. В. Левинтов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2013/2. – С. 117–124.
26. *Гайдо, А. Н.* Анализ результатов определения несущей способности грунтов, полученных при статических испытаниях свай с выпором / А. Н. Гайдо, Г. В. Левинтов // Геотехника. – 2013. – № 3. – С. 4–15.



27. *Гайдо, А. Н.* Возведение в грунте экранов с гидравлическими демпферами для защиты зданий и сооружений от динамических воздействий / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 5. – С. 65–73.
28. *Гайдо, А. Н.* Информационное моделирование здания (BIM) с учетом технологических параметров при производстве работ нулевого цикла // Жилищное строительство. – 2019. – № 4. – С. 47–55.
29. *Гайдо, А. Н.* Исследование конструктивно-технологических решений стыков заводских свай / А. Н. Гайдо // Геотехника. Научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах. Межвузовский тематический сборник трудов; СПбГАСУ. – 2007. – С. 28–33.
30. *Гайдо, А. Н.* Исследование параметров статического вдавливания свай при действии вращательных колебаний / А. Н. Гайдо // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 9 (876). – С. 2–7.
31. *Гайдо, А. Н.* Исследование процессов смещений свай, погруженных вблизи котлованов / А. Н. Гайдо // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 8 (875). – С. 25–29.
32. *Гайдо, А. Н.* Исследование сравнительной эффективности заглубления стального шпунта в плотный грунт различными погружающими машинами / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов // Механизация строительства. – 2013. – № 2. – С. 44–49.
33. *Гайдо, А. Н.* Исследование технологических параметров вдавливания свай / А. Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2012/4 (33). – С. 129–137.
34. *Гайдо, А. Н.* К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12–15.
35. *Гайдо, А. Н.* Критерии сравнительной эффективности технологий устройства свайных фундаментов / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, Б. Г. Фрейдман // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2004. – № 8. – С. 12–16.
36. *Гайдо, А. Н.* О смещении элементов в свайном фундаменте при откопке котлована / А. Н. Гайдо, В. П. Вершины, Ю. С. Сергеев // Геотехника. – 2016. – № 6. – С. 30–37.
37. *Гайдо, А. Н.* Обоснование выбора рациональных способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности в различных условиях строительства / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2013. – № 4. – С. 6–12.

38. *Гайдо, А. Н.* Особенности разработки проектов производства работ по устройству свайных фундаментов в стесненных условиях городской застройки / А. Н. Гайдо // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 74–85.
39. *Гайдо, А. Н.* Оценка несущей способности свай в зависимости от технологических параметров их устройства или изготовления / А. Н. Гайдо // Геотехника. – 2016. – № 2016/6. – С. 42–51.
40. *Гайдо, А. Н.* Оценка показателей надежности и качества способов производства работ нулевого цикла / А. Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров – 2020. – №1 (78). – С. 116–126. – Doi: 10.23968/1999-5571-2020-17-1-116-126.
41. *Гайдо, А. Н.* Особенности разработки проектов производства работ по устройству свайных фундаментов в стесненных условиях городской застройки / А. Н. Гайдо // Материалы всероссийской национальной конференции с международным участием. Пермь. – 2017. – С. 333–342.
42. *Гайдо, А. Н.* Повышение эффективности устройства ограждений котлованов на акваториях / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, А. Ф. Юдина // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2020. – № 1. – С. 19–21.
43. *Гайдо, А. Н.* Производство шпунтовых и свайных работ / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов. – СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 292 с.
44. *Гайдо, А. Н.* Пути безопасного погружения опускных колодцев в условиях слабых грунтов и наличия окружающей застройки / А. Н. Гайдо, А. А. Мотовилова // Актуальные проблемы современного строительства и архитектуры: международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – В 2 ч. – Ч. 1. – СПб., 2012 – 266 с.
45. *Гайдо, А. Н.* Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки / А. Н. Гайдо // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12–15.
46. *Гайдо, А. Н.* Совершенствование технологий погружения опускных колодцев в условиях городской застройки / А. Н. Гайдо // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 4 (871). – С. 27–32.
47. *Гайдо, А. Н.* Совершенствование технологий погружения стальных оболочек, применяемых при устройстве водонепроницаемых ограждений на акватории / А. Н. Гайдо // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2015. – № 3 (870). – С. 28–32.
48. *Гайдо, А. Н.* Совершенствование технологии устройства водозаборных скважин, устойчивых к действию динамических нагрузок: дис. ... канд. тех. наук. – СПб., 2000. – 161 с.

49. *Гайдо, А. Н.* Совершенствование технологических схем и параметров извлечения грунта при погружении опускных колодцев / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, Я. А. Туркевич // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5 (70). – С. 84–93.
50. *Гайдо, А. Н.* Современные технологии возведения свайных фундаментов / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. – 160 с.
51. *Гайдо, А. Н.* Стандарт организации. Современные технологии погружения свай вдавливающими установками. СТО 38051320-001-2018 / А. Н. Гайдо, В. В. Верстов, В. П. Вершинин [и др.]. – СПб. – 72 с.
52. *Гайдо, А. Н.* Технология и комплексная механизация шпунтовых и свайных работ / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 288 с.
53. *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.
54. *Гайдо, А. Н.* Технология устройства свайных фундаментов / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 180 с.
55. *Гайдо, А. Н.* Цели и задачи исследований технологических решений устройства фундаментов многоэтажных зданий и сооружений / А.Н. Гайдо // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 4 (29). – С. 81–90.
56. *Гмошинский, В. Г.* Инженерное прогнозирование технологии строительства / В. Г. Гмошинский. – М.: Стройиздат, 1988. – 269 с.
57. *Гурский, А. В.* Методы расчета влияния вдавливания шпунта на дополнительную осадку соседних зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. В. Гурский. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. – 21 с.
58. *Далматов, Б. И.* Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: учеб. пособие / Б. И. Далматов, В. Н. Бронин, А. В. Голли, В. Д. Карлов, Р. А. Мангушев, Н. Н. Морарескул, И. И. Сахаров, С. Н. Сотников, В. М. Улицкий, А. Б. Фадеев – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2001 – 440 с.
59. *Даховски, Р.* Систематизация конструктивно-технологических мероприятий, направленных на совершенствование способа опускного колодца в стесненных условиях. – СПб., 2005. – 60 с.
60. *Дембаремдикер, А. Д.* Гидравлические амортизаторы автомобилей / А. Д. Дембаремдикер. – М.: Машиностроение, 1969. – 236 с.
61. *Жусупбеков, А. Ж.* Зонирование территории г. Астаны по типам основания для оптимизации длин свай / А. Ж. Жусупбеков, Н. Т. Алибекова, Ё. Ивасаки // Труды международной конференции по геотехнике. Геотехнические проблемы мегаполисов. Т. 4. – М.: ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1244–1249.

62. *Знаменский, В. В.* Учет технической составляющей геотехнического риска при устройстве ограждения котлована с помощью траншейной стены в грунте в стесненных городских условиях / В. В. Знаменский, Е. Б. Морозов, Д. Ю. Чунюк // Численные методы расчетов в практической геотехнике // Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. – СПб., 2012. – С. 210–213.
63. *Ильичев, В. А.* Опыт освоения подземных пространств российских мегаполисов / В. А. Ильичев, Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова // Основания фундаменты, механика грунтов. – 2012. – № 2. – С. 17–20.
64. *Ильичев, В. А.* Прогнозирование деформаций оснований окружающей застройки с учетом технологической осадки / В. А. Ильичев, Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова, А. В. Коннов // Бюллетень строительной техники. – 2017. – № 6 (994). – С. 68–69.
65. *Калюжный, М. М.* Сваебойные работы при реконструкции / М. М. Калюжный, В. К. Рудь. – Л.: Стройиздат, 1989. – 160 с.
66. *Колчеданцев, Л. М.* Организационно-технологические решения по устройству фундаментов высотных зданий / Л. М. Колчеданцев, С. В. Волков, Л. В. Волкова // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 50–54.
67. *Конюхов, Д. С.* Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения / Д. С. Конюхов. – М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.
68. *Кранцфельд, Я. Л.* О конструктивных решениях экранов для инженерной сейсмозащиты территории объектов строительства / Я. Л. Кранцфельд // Основания фундаменты, механика грунтов. – 2011. – № 1. – С. 13–16.
69. *Кузнецова, Е. В.* Модели и методы оценки технологичности объектов строительства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Е. В. Кузнецова. – СПб., 2000. – 26 с.
70. *Лapidус, А. А.* Информационное взаимодействие участников строительного проекта как дополнительный фактор оценки организационно-технологического потенциала / А. А. Лapidус, А. О. Фельдман // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 101–106.
71. *Лapidус, А. А.* Исследование факторов, влияющих на показатель потенциала строительной площадки / А. А. Лapidус, Л. П. Демидов // Вестник МГСУ. – 2014. – № 4. – С. 160–166.
72. *Лapidус, А. А.* Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта / А. А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 175–180.
73. *Мангушев, Р. А.* Анализ практического применения завинчиваемых набивных свай / Р. А. Мангушев, В. В. Конюшков, И. П. Дьяконов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – № 5. – 2014. – С. 11–16.

74. Мангушев, Р. А. Влияние грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждений глубоких котлованов / Р. А. Мангушев, С. В. Ланько // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 28. – С. 54–59.
75. Мангушев, Р. А. Деформации сооружений при их возведении в условиях уплотнительной застройки Санкт-Петербурге / Р. А. Мангушев, А. Б. Фадеев, В. А. Лукин, А. В. Кузнецов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 1. – С. 25–27.
76. Мангушев, Р. А. Изменение характеристик грунтов при устройстве подземной части здания в котлованах большого объема в условиях городской застройки / Р. А. Мангушев, А. А. Веселов, Л. Н. Кондратьева, С. В. Ланько // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – С. 114–121.
77. Мангушев, Р. А. Применение современных конструктивных и технологических методов для устройства подземного пространства в г. Санкт-Петербурге / Р. А. Мангушев // Геотехника. – 2010. – № 2. – С. 58–67.
78. Мангушев, Р. А. Разработка информационно-поисковой системы определения несущей способности свай на базе данных полевых статических испытаний / Р. А. Мангушев // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 4 (45). – С. 63–65.
79. Мангушев, Р. А. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 168 с.
80. Мангушев, Р. А. Опыт сохранения соседних зданий при устройстве при котлованах больших объемов в условиях плотной застройки / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, Л. В. Гарных // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2016. – № 5. – С. 2–7.
81. 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.
82. Мангушев, Р. А. Определение параметров безопасного устройство траншейной стены в грунте в плотной застройке / Р. А. Мангушев, Д. А. Сапин // Жилищное строительство. – 2016. – № 9. – С. 27–32.
83. Мангушев, Р. А. Численное моделирование технологической осадки соседних зданий при устройстве траншейной стены в грунте / Р. А. Мангушев, Д. А. Сапин, А. А. Веселов, В. В. Конюшков // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 5 (34). – С. 87–97.
84. Матвеева Н. М. Выбор рационального типа крепления стен котлованов, расположенных вблизи зданий / Н. М. Матвеева, Г. В. Обухова, В. Ф. Раюк // Сборник трудов ВНИИГС. – Л., 1992. – С. 16–21.
85. Методические рекомендации. Выбор рациональных конструкций свайных фундаментов жилых зданий, возводимых на слабых грунтах в Ленинграде // Б. В. Бахолдин, Е. В. Светинский, В. П. Вершинин и др. – Л.: ЛенНИИПроект, 1977. – 15 с.

86. *Минаев, О. П.* Основы и методы уплотнения грунтов оснований зданий и сооружений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / Минаев Олег Петрович. – Санкт-Петербург, 2014. – 225 с.
87. *Мирсаяпов, И. Т.* Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии / И. Т. Мирсаяпов, И. В. Королева // Известия КГАСУ. – 2011. – № 2 (16). – С. 121–128.
88. *Морарескул, Н. Н.* Опыт типизации оснований и фундаментов в районах массовой застройки / Н. Н. Морарескул, Л. Г. Заварзин. – Л.: ЛДНТП, 1984.
89. *Никифорова, Н. С.* Закономерности деформирования оснований зданий вблизи глубоких котлованов и защитные мероприятия: дис. .... д-ра техн. наук: 05.23.02 / Н. С. Никифорова. – М., 2008. – 324 с.
90. *Никифорова, Н. С.* Обеспечение сохранности зданий в зоне влияния подземного строительства / Н. С. Никифорова. – М.: Изд-во МГСУ, 2016. – 154 с.
91. *Николаевский, М. Ю.* Экспериментальные исследования работы стальных оболочек большого диаметра, заполненных грунтом, на волновые и ледовые нагрузки / М. Ю. Николаевский, А. Я. Серебро, С. Я. Смолко // Сборник трудов ВНИИГС. – Л., 1988. – С. 26–30.
92. *Новожилов, Г. Ф.* Бездефектное погружений свай в талых и вечномёрзлых грунтах / Г. Ф. Новожилов. – Л.: Стройиздат, 1987. – 112 с.
93. *Орлов, А. И.* Организационно-экономическое моделирование. Ч. 2. Экспертные оценки / А. И. Орлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 281 с.
94. *Парамонов, В. Н.* Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники / В. Н. Парамонов. – СПб.: Геореконструкция, 2012. – 263 с.
95. *Парамонов, В. Н.* Численное моделирование задач геотехники / В. Н. Парамонов. – СПб.: Изд-во ПГУПС, 2014. – 58 с.
96. *Парамонов, В. Н.* Эффект увеличения несущей способности свай усиления под нагрузкой / В. Н. Парамонов, П. А. Кравченко // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 7–8 (644). – С. 117–122.
97. *Парамонов, В. Н.* Процессы промерзания и оттаивания при устройстве подземных и заглубленных сооружений / В. Н. Парамонов, И. И. Сахаров, М. В. Парамонов // Жилищное строительство. – 2012. – № 9. – С. 21–25.
98. Пат. 2164988 Российская Федерация, МПК 7E02B3/12. Водозаборная скважина / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, В. В. Топчин; патентообладатель С.-Петерб. гос. архит.-строит. ун-т. – № 99110798/03; заявл. 25.05.1999; опубл. 10.04.2001, Бюл. № 10.
99. Пат. 2491387 Российская Федерация, МПК E02D 29/00. Способ возведения заглубленных сооружений и подземных конструкций зданий / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, А. А. Мотови-

- лова; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2012107729/03; заявл. 29.02.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.
100. Пат. 2498017 Российская Федерация, МПК E02D 7/20. Способ погружения сваи вдавливанием / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2012116176/03; заявл. 20.04.2012; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31.
101. Пат. 2500857 Российская Федерация, МПК E02D 7/20. Способ погружения сваи вдавливанием / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2012129490/03; заявл. 11.07.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.
102. Пат. 2535860 Российская Федерация, МПК E02D 7/18. Способ погружения шпунта с заглублением в плотный водоупорный грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2013140902/03; заявл. 05.09.2013; опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.
103. Пат. 2549789 Российская Федерация, МПК E02D 7/18. Способ погружения тонкостенных стальных оболочек с заглублением в плотный водоупорный грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2014137366/13; заявл. 15.09.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12.
104. Пат. 2580338 Российская Федерация, МПК E02D 7/26. Способ вибровращательного вдавливания сваи в грунт / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2015107407/13; заявл. 03.03.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
105. Пат. 2622279 Российская Федерация, МПК E02D 31/08. Способ защиты фундаментов зданий, сооружений от динамических воздействий в грунте и устройство для его осуществления / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо; патентообладатель С.-Петербур. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2016119464; заявл. 19.05.2016; опубл. 13.06.2017, Бюл. № 17.
106. *Перлей, Е. М.* О совместной работе цилиндрических стальных оболочек большого диаметра с грунтом заполнения и основания / Е. М. Перлей, А. Я. Серебро, Л. Р. Мороз, В. И. Руденко // Сборник трудов ВНИИГС. – Л., 1988. – С. 31–41.
107. *Перлей, Е. М.* Свайные фундаменты и заглубленные сооружения при реконструкции действующих предприятий / Е. М. Перлей, В. Ф. Раюк, В. В. Раюк, А. Н. Алмазов. – Л.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
108. *Петрухин, В. П.* Геотехнические проблемы строительства в Москве / В. П. Петрухин // Жилищное строительство. – 2010. – № 7. – С. 4–10.
109. *Полищук, А. И.* Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий / А. И. Полищук. – Томск, 2005. – 427 с.

110. *Пономарев, А. Б.* Геотехническое моделирование влияния глубокого котлована при реконструкции здания / А. Б. Пономарев, С. В. Калошина, А. В. Захаров, Д. Г. Золотозубов, М. А. Безгодков, Р. И. Шенкман // *Жилищное строительство*. – 2014. – № 9. – С. 38–42.
111. *Пономарев, А. Б.* Геотехнический мониторинг жилого дома / А. Б. Пономарев // *Вестник ПНИПУ*. – 2015. – № 1. – С. 103–119.
112. *Пономарев, А. Б.* Применение метода статического зондирования с измерением порового давления для оценки несущей способности свай / А. Б. Пономарев, М. А. Безгодков // *Вестник гражданских инженеров*. – 2015. – № 6 (53). – С. 108–114.
113. *Пономарев, А. Б.* Свайный фундамент как элемент устойчивого строительства / А. Б. Пономарев, А. В. Захаров [и др.] // *Жилищное строительство*. – 2015. – № 9. – С. 41–45.
114. *Прозозин, Я. А.* Решение геотехнических вопросов при устройстве эксплуатируемых подвальных этажей в условиях реставрации / Я. А. Прозозин, М. А. Степанов и др. // *Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции*. – СПб., 2017. – С. 301–307.
115. *Савинов, О. А.* Вибрационный метод погружения свай и его применение в строительстве / О. А. Савинов, А. Я. Лускин. – Л.: Стройиздат. 1960. – 248 с.
116. *Савинов, О. А.* Фундаменты под машины: основы проектирования / О. А. Савинов. – Л.: Государственное изд-во по строительству и архитектуре. Л., 1955. – 292 с.
117. *Савин, Д. А.* Дополнительные технологические осадки фундаментов зданий соседней застройки при устройстве стены в грунте: автореф. дис. канд. техн. наук / Д. А. Савин; СПбГАСУ. – 2016. – 24 с.
118. *Сахаров, И. И.* Расчет подземных сооружений, возводимых в условиях тесной городской застройки / И. И. Сахаров, Н. И. Лыкова // *Жилищное строительство*. – 2009. – № 2. – С. 19–21.
119. *Сахаров, И. И.* Некоторые особенности застройки территорий над эскалаторными тоннелями метрополитена в г. Санкт-Петербурге / И. И. Сахаров, В. Н. Парамонов // *Геотехника*. – 2010. – № 6. – С. 60–63.
120. *Сахаров, И. И.* О взаимодействии сооружений с основанием в задачах статики и динамики / И. И. Сахаров, Г. Ф. Пеньковский // *Вестник гражданских инженеров*. – 2008. – № 2. – С. 48–50.
121. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015663197 от 14.12.2015. Российская Федерация. Сравнительный анализ эффективности способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности / А. Н. Гайдо; правообладатель С.-Петерб. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2015660159; заявл. 26.10.2015, опублик. 20.01.2016.



122. *Смирнов Е. Б.* Оценка экологической безопасности проектируемых зданий / Е. Б. Смирнов, Т. А. Дацюк, В. Р. Таурит // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 3(71). – С. 83–99.
123. *Сомервилл, С. Г.* Словарь по геотехнике / С. Г. Сомервилль, М. А. Пауль. – Л.: Недра, 1986. – 240 с.
124. *Сотников, С. Н.* Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих зданий и сооружений (Опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР) / С. Н. Сотников, В. Г. Симагин, В. П. Вершинин; под ред. С. Н. Сотникова. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.
125. *Сотников, С. Н.* Методика выбора проектного решения фундаментов зданий, возводимых около существующих домов и сооружений, и его технико-экономическое обоснование / С. Н. Сотников, Г. Л. Кофф. – Л.: ЛДНТП, 1990. – 36 с.
126. *Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения* / В. А. Ильичев, Р. А. Мангушев [и др.] // Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник / под общ. ред. В. А. Ильичева, Р. А. Мангушева; Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Рос. общество по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению. – Москва: Изд-во АСВ, 2016. – 2-е изд., доп. и перераб. – 1040 с.
127. *Теличенко, В. И.* Технология возведения высотных большепролетных специальных зданий и сооружений / В. И. Теличенко, А. И. Гныря, А. П. Бояринцев. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 744 с.
128. *Тер-Мартirosян, А. З.* Взаимодействие фундаментов зданий сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02 / А. З. Тер-Мартirosян. – М., 2016. – 324 с.
129. *Тер-Мартirosян, З. Г.* Механика грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 550 с.
130. *Технологичность конструкции изделия: справочник* / Ю. Д. Амиров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
131. *Уздин, А. М.* Об эффективности применения экранов в грунте для сейсмозащиты зданий и сооружений / А. М. Уздин, М. В. Фрезе // Основания фундаменты, механика грунтов. – 2011. – № 1. – С. 17–19.
132. *Уздин, А. М.* Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А. М. Уздин, Т. А. Сандович, Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. – СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1993. – 176 с.
133. *Улицкий, В. М.* Геотехническая оценка строительства паркингов-сейфов в застроенной центральной части Санкт-Петербурга / В. М. Улицкий, С. Г. Богов // Вестник «Зодчий 21 век». – 2011. – № 1 (38). – С. 80–83.

134. Улицкий, В. М. Геотехнический мониторинг при сложной реконструкции на слабых грунтах / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, Л. М. Глозман, А. М. Вяземский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – № 5. – С. 15–18.
135. Улицкий, В. М. Геотехническое обоснование сложных технологий реконструкции зданий на слабых грунтах / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1997. – № 3. – С. 3–8.
136. Улицкий, В. М. Геотехническое сопровождение развития городов / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – СПб.: Изд-во «Стройиздат Северо-Запад», 2010. – 551 с.
137. Улицкий, В. М. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям) / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – СПб.: Изд-во ПИ «Гео-реконструкция», 2012. – 288 с.
138. Улицкий, В. М. Деформирование основания при устройстве глубоких котлованов: сравнение различных методов расчета с данными натурных наблюдений / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин, М. Б. Лисюк, В. А. Васенин // Развитие городов и геотехническое строительство. Труды международной конференции по геотехнике. – 2008. – С. 3–28.
139. Улицкий, В. М. Закономерности работы слабых глинистых грунтов при устройстве глубоких котлованов / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин // Геотехнические проблемы мегаполисов. Труды международной конференции по геотехнике. – 2010. – Т. 1. – С. 321–354.
140. Улицкий, В. М. Натурные исследования как основа для разработки методологии расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта при устройстве подземных сооружений / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 4. – С. 2–9.
141. Улицкий, В. М. Развитие подземного пространства города в целях сохранения его исторического облика / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин // Геотехника. – 2011. – № 6. – С. 20–31.
142. Фадеев, А. Б. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве / А. Б. Фадеев, А. Н. Драновский. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1993. – 355 с.
143. Фадеев, А. Б. Расчетные параметры шпунтовых стен профиля Ларсен / А. Б. Фадеев, Р. А. Мангушев, Г. А. Матвеев, В. А. Лукин // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 1 (22). – С. 91–95.
144. Филиппов, Е. Н. Вибрационная технология погружения и извлечения полимерного шпунта: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Филиппов. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 18 с.
145. Фрейдман, Б. Г. Совершенствование технологии вдавливания свай и шпунта в условиях плотной застройки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Г. Фрейдман. – СПб.: СПбГАСУ, 2002. – 23 с.

146. *Цейтлин, М. Г.* Вибрационно-вращательное вдавливание трубчатых элементов в грунт / М. Г. Цейтлин, О. Ш. Кенцин, В. О. Исофов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1992. – № 1. – С. 13.
147. *Шахрай, С. М.* О плагиате в диссертациях на соискание ученой степени / С. М. Шахрай, И. И. Аристер, А. А. Тедеев. – М.: МИИ, 2015. – 192 с.
148. *Шашкин, А. Г.* Геотехнические критерии при проектировании сложной реконструкции и нового строительства в условиях городской застройки / А. Г. Шашкин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – № 5. – С. 48–54.
149. *Шашкин, А. Г.* Натурные исследования развития деформаций слабых глинистых грунтов при устройстве котлованов / А. Г. Шашкин // Инженерная геология. – 2011. – № 2. – С. 18–24.
150. *Шашкин, А. Г.* Оценка факторов инженерно-геологического риска для урбанизированной территории (на примере Санкт-Петербурга) / А. Г. Шашкин // Геориск. – 2011. – № 2. – С. 24–31.
151. *Шашкин, А. Г.* Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / А. Г. Шашкин. – М.: Изд-во «Академическая книга», 2014. – 352 с.
152. *Штоль, Т. М.* Технология возведения подземной части зданий и сооружений / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 282 с.
153. *Шулятьев, О. А.* Основания и фундаменты высотных зданий / О. А. Шулятьев. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 392 с.
154. *Шулятьев, О. А.* Освоение подземного пространства городов / О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева, В. С. Поспехов. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 510 с.
155. *Ahmed, H.* Foundation subsidence due to trenching of diaphragm walls and deep braced excavations in alluvium soils / H. Ahmed, Saed M. El-Sayed Abdel-Rahman // Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Egypt, 2009.
156. *Albert, A.* Does the potential safety risk affect whether particular construction hazards are recognized or not? / A. Albert, B. Pandit, Y. Patil, J. Louis // Journal of Safety Research. – 2020. – Vol. 75, December 2020. – Pp. 241–250. – Doi: 10.1016/j.jsr.2020.10.004.
157. *Ali, A. M.* Numerical modelling of small scale model piles under axial static loads / A. M. Ali, H. K. Kareem // Journal of Engineering Science and Technology. – 2020. – Vol. 15, issue 6, December 2020. – Pp. 3528–3546.
158. *Andreichicov, A. V.* New Paradigms of Decision-Making and Qualimetry / A. V. Andreichicov, Y. A. Firsov, A. A. Zudinov, E. V. Tabunov, O. N. Andreichicova // Proceedings of the 2018 International Conference “Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies”. – 2018. – Pp. 119–203. – Doi: 0.1109/ITMQIS.2018.8525105.

159. *Anthony D. Barly*. Windsor Recent Advanced in Ground Anchor and Ground Reinforcement Technology with Reference to the development to the Art / Anthony D. Barly, Chris R. Windsor // GteoEng 2000. Proceeding of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering. – Melbourne, 2000. – 2018. – Pp. 1048–1094.
160. *Argotti, Y.* Quality quantification in systems engineering from the qualimetry eye / Y. Argotti, C. Baron, P. Esteban // SysCon 2019 – 13<sup>th</sup> Annual IEEE International Systems Conference, Proceedings of 13<sup>th</sup> Annual IEEE International Systems Conference, SysCon 2019. – Orlando, United States, 8 April 2019. – Pp. 8836756. – Doi: 10.1109/SYSCON.2019.8836756.
161. *A-Lacher, H. P.* A comparison between monitoring data and numerical calculation of diaphragm wall construction in Rotterdam / H. P. A-Lacher, G. Gebeyhu Neher // Proceeding of the International Conference on Numerical Simulation of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment. – 23/24 March 2006, Bochum, Germany.
162. *Bereslavskii, E.* On flow over zhukovskii sheet pile in an irrigated ground mass / E. Bereslavskii // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – No 84 (3). – Pp. 515–525.
163. *Chavda, J. T.* Experimental Studies on Circular Open Caisson: Load-Penetration Response and Soil Flow Mechanism / J. T. Chavda, G. R. Dodagoudar // International Journal of Physical Modelling in Geotechnics. – 14 September 2020. – Pp. 1–53.
164. *Chen, B.-G.* Experimental study on compatible deformation of diaphragm wall support system for deep foundation pit / B.-G. Chen, T.-F. Yan, C.-P. Wang, Q.-L. Zong // Rock and Soil Mechanics. – 2020. – Vol. 41, issue 10. – Pp. 3289–3299. – Doi:10.16285/j.rsm.2019.2190.
165. *Comodromos, E. M.* Effects on adjacent buildings from diaphragm wall installation / E. M. Comodromos, M. C. Papadopoulou, G. K. Konstantinidis // Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris, 2013.
166. *Conte, G.* Centrifuge modelling to investigate the performance of piled rafts. Deep Foundations on Bored and Auger Piles (BAR IV) / G. Conte, A. Mandolini, M. F. Randolph; Van Impe (ed.). – Rotterdam: Millpress, 2003. – Pp. 359–366.
167. *Duncan, J. M.* Nonlinear analysis of stress and strain in soils / J. M. Duncan, C. Y. Chang // Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, 1970. – Vol. 96. – Pp. 1629–1653.
168. *Fei, Y.* Shear behaviour of sand-concrete interface with side post-grouting considering the unloading effect // Y. Fei, N. Yasufuku, N. Zhao, C. Zhao, K. Xu // Soils and Foundations. – 2020. – Vol. 60, issue 6. – December 2020. – Pp. 1440–1449. – Doi: 10.1016/j.sandf.2020.09.002.
169. *Feng, Z.* Discussion on Construction Technology of Deep Foundation Pit Support in Construction Engineering / Z. Feng, Y. Shen // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 787, issue 1, 4. – March 2020. – No 012038. – Doi: 10.1088/1757-899X/787/1/012038.

170. *Furukawa, T.* An automated system for simulation and parameter identification of inelastic constitutive models / T. Furukawa, T. Sugata, S. Yoshimura, M. Hoffman // *Int. J. Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* – 2002. – Vol. 191. – Pp. 2235-2260.
171. *Gajdo, A. N.* Comparative Efficiency Investigation of Various Types of Dynamic Influences on the Dipped Pile [Сравнительная эффективность погружения свай при различных динамических воздействиях] / A. N. Gajdo, V. V. Verstov, A. F. Judina // Vol. 23, No 6. – July 2013. – Pp. 817–822. – Doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.06.13109.
172. *Gajdo, A. N.* The technology of protecting objects of transport infrastructure from dynamic impacts in the ground [Технология защиты объектов транспортной инфраструктуры от динамических воздействий в грунте, вызванных различными источниками] / A. N. Gajdo, V. V. Verstov, A. F. Judina // *Transportation Research Procedia.* – 2018. – Vol. 36. – Pp. 766–776. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.089>.
173. *Gajdo, A. N.* Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction / A. N. Gajdo, V. V. Verstov, A. F. Judina // *New Materials, Structures, Technologies and Calculations.* – April 30, 2019. – Vol. 2. – Pp. 402–406.
174. *Gloimüller, S.* Analytical and numerical load evaluation from excavation shoring on the powerhouse Kirchbichl / S. Gloimüller, P. Pánová, G. Lang // *Geomechanik und Tunnelbau.* – 2020. – Vol. 13, issue 5. – 1 October 2020. – Pp. 566–573. – Doi: 10.1002/geot.202000031.
175. *Guo, S.* System dynamics model based on evolutionary game theory for quality supervision among construction stakeholders / S. Guo, P. Zhang, J. Yang, S. Guo, P. Zhang, J. Yang // *Journal of Civil Engineering and Management.* – 2018. – Vol. 24, issue 4. – 2018. – Pp. 316–328. – Doi: 10.3846/jcem.2018.3068.
176. *Guo, Y.-C.* Incremental analytical method for prestressed anchor and soil nail wall composite support system / Y.-C. Guo, M.-Y. Li, Y.-W. Zhang // *Rock and Soil Mechanics.* – 2019. – Vol. 40. – 10 July 2019. – Pp. 253–258, 266. – Doi: 10.16285/j.rsm.2018.1363.
177. *Jamshidi, R.* Experimental evaluation of dynamic deformation characteristics of sheet pile retaining walls with fiber reinforced backfill / R. Jamshidi, I. Towhata, H. Ghiassian, A. R. Tabarsa // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.* – No 30 (6). – Pp. 438–446.
178. *Jiang, B.* The Influence of Soil Surrounding the Caisson Cutting Edge to Excavation and Sinking / B. Jiang, J. Ma, J. Chu // *IACGE 2018: Geotechnical and Seismic Research and Practices for Sustainability.* – Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019. – Pp. 435–448.
179. *Karji, A.* Identifying the key barriers to promote sustainable construction in the United States: A principal component analysis / A. Karji, M. Namian, M. Tafazzoli // *Sustainability (Switzerland).* – 2020. – Vol. 12, issue 12. – 1 June 2020. – Pp. 50–88. – Doi: 10.3390/su12125088.

180. *Katzenbach, R.* Combined Pile-Raft Foundation and Energy Piles – Recent Trend in Research and Practice / R. Katzenbach // International Conference on Deep Foundations/ CPRF and Energy Piles. – Frankfurt on Main, 2009.
181. *Konder, R. L.* Hyperbolic stress-strain response cohesive soils / R. L. Konder // Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. – 1963. – Vol. 89. – Pp. 115–143.
182. *Viswanathan, K.* Causal Modeling of Disputes in Construction Projects / K. Viswanathan, S. Panwar, A. Kar, S. Lavingiya, R. Jha // Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction. – 2020. – Vol. 12, Issue 4. – No 0450035.
183. *Kurnia, M.* Performance Analysis of “Toga” Foundation with Cap on Thick Soft Soil Based on Laboratory Models and Finite Element Analysis / M. Kurnia, P. P. Rahardjo // UKaRsT. – 2020. – Vol. 4, No 2. – Pp. 222–236.
184. *Lee, H. J.* Development of an optimal path algorithm for construction equipment / H. J. Lee, S. Y. Lim // Processes. – 2020. – Vol. 8, issue 6. – June 2020. – Pp. 674. – Doi: 10.3390/PR8060674.
185. *Lings, M. L.* The lateral pressure of wet concrete in diaphragm wall panel cast under bentonite / M. L. Lings, C. W. W. Ng, D. F. T. Nash // Proceedings of Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering. – 1994. – Vol. 107. – Pp. 163–172.
186. *Li, X.* Game analysis on prefabricated building evolution based on dynamic revenue risks in China / X. Li, C. Wang, A. Alashwal, S. Bora // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 267. – 10 September 2020. – No 121730. – Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121730.
187. *Ju, S.* Research on Quality Evaluation Method of TRD Cement-soil Continuous Wall Based on Analytic Hierarchy Process / S. Ju, Y. Liu, Z. Dong, D. Gui // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 780, issue 4. – 9 April 2020. – No 042005. – Doi: 10.1088/1757-899X/780/4/042005.
188. *Lu, Y.* Numerical Analysis of Deformation of Deep Foundation Excavation in Soft Clay Considering Influences of Time-effect / Y. Lu, Y. Bian, F. Liu, J. Huang, J. Chen // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 780, Issue 2. – 9 April 2020. – No 022020. – Doi: 10.1088/1757-899X/780/2/022020.
189. *Lu, Y.* Consensus of large-scale group decision making in social network: the minimum cost model based on robust optimization / Y. Lu, Y. Xu, E. Herrera-Viedma, Y. Han // Information Sciences. – 2021. – Vol. 547. – 8 February 2021. – Pp. 910–930. – Doi: 0.1016/j.ins.2020.08.022.
190. *Luo, L.* How to promote prefabricated building projects through internet of things. A game theory based analysis / L. Luo, X. Liang, C. Fang, Z. Wu, X. Wang, Y. Wang // Journal of Cleaner Production. 2020. – Vol. 276. – December 2020. – No 124325. – Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124325.

191. *Ma, J.* Deformation of anchor-sheet pile wall retaining system and deep excavations in soft soils overlying bedrock / J. Ma, B. S. Berggren, H. Stille, S. Hintze // Geotechnical Special Publication GeoShanghai International Conference. Deep and Underground Excavations // In: Proceedings of Sessions of the 2010 GeoShanghai International Conference. – Pp.: 126–131.
192. *Mangushev, R. A.* Analysis of practical application of screw-in cast piles / R. A. Mangushev, V. V. Konyushkov, I. P. Dyakov // Soil mechanics and foundation engineering. Springer New York Consultants Bureau. – 2014. – Vol. 51, issue 5. – Pp. 227–233.
193. *Niina, M.* Investigation for hole wall position of root hardening diameter in bored pile by using resistivity method / M. Niina, T. Kodama, N. Chikusa, M. Kodera, K. Watanabe, M. Fujii // AIJ Journal of Technology and Design. – 2020. – Vol. 26, issue 64. – 20 October 2020. – Pp. 887–892. Doi: 10.3130/aijt.26.887.
194. *Nouh Meshref, A. S.* Systematic decision support system to select methods of grouted base plug construction : comparative study between Tam versus multi-sleeve injection / A. S. Nouh Meshref, A. Shehata // Innovative Infrastructure Solutions. – 2020. – Vol. 5, issue 3. – 1 December 2020. Doi: 67.10.1007/s41062-020-00319-6.
195. *Pietruszczak, S.* Numerical Analysis Accounting or Material Hardening and Softening / S. Pietruszczak, Z. Mroz // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1980. – Vol. 17. Issue 4. – Pp. 199–207.
196. *Ralli, P.* Investigation and Comparative Analysis of Learning Curve Models on Construction Productivity: The Case of Caisson Fabrication Process / P. Ralli // Journal of Engineering, Project, and Production Management. – 2020. – Vol. 10, issue 3. – Pp. 219–230.
197. *Ramm, H.* High rise building Omniturm – Construction pit and foundation under complex urban site conditions / H. Ramm, O. Reul, A. Ruiken, W. Kissel, E. Toker // Bautechnik. – 2020. – Vol. 97, issue 9. – 1 September 2020. – Pp. 656–663. – Doi: 10.1002/bate.202000059.
198. *Royston, R. B.* Monitoring the construction of a large-diameter caisson in sand / R. B. Royston, B. Sheil, W. Byrne // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering. – 2020. – Pp. 1–17.
199. *Rudenko, V.V.* Concept of development in the science of qualimetry of subsoil / V. V. Rudenko // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2018. – Vol. 2018, issue 6. – Pp. 5–12. – Doi: 0.25018/0236-1493-2018-6-0-5-12.
200. *Taiyari, F.* Optimal design of pile wall retaining system during deep excavation using swarm intelligence technique / F. Taiyari, M. Kharghani, M. Hajihassani // Structures. – 2020. – Vol. 28. – December 2020. – Pp. 1991–1999. – Doi: 10.1016/j.istruc.2020.10.044.
201. *Tan, Y.* Semiempirical approach for estimation of DDC-induced deflections of sheet pile walls in a peat / Y. Tan // Journal of Performance of Constructed Facilities. – No 24 (1). Pp. 87–95.

202. *Triantafyllidis, Th.* Impact of diaphragm wall construction on the stress state in soft ground and serviceability of adjacent foundation / Th. Triantafyllidis, R. Schafer // Proceedings of the 18<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2007. – Madrid, Spain. – Vol. 2. – Pp. 683–688.
203. *Trillo-Cabello, A. F.* Perception of risk in construction. Exploring the factors that influence experts in occupational health and safety / A. F. Trillo-Cabello, J. A. Carrillo-Castrillo, J. C. Rubio-Romero // Safety Science. – 2021. – Vol. 133. – No 104990.
204. *Verstov, V. V.* Improving Technological Processes for Borehole Drilling in Construction Using Vibration Impact / V. V. Verstov, A. F. Judina // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 725–726. – Pp. 220–228.
205. *Verstov, V. V.* Perfection of technological processes at the device of bore holes in building by application of vibrating influences / V. V. Verstov, A. F. Yudina // Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications Inc., Switzerland. – 2015. – Vol. 725–726. – Pp. 220–225.
206. *Wang, M. Y.* Evolution and equilibrium of a green technological innovation system: Simulation of a tripartite game model / M. Y. Wang, Y. Li, Z. Cheng, C. Zhong, W. Ma // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 278. – No 123944. – Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123944.
207. Wang P., Yin Z. Y. Micro-mechanical analysis of caisson foundation in sand using DEM: Particle breakage effect / Wang P., Yin Z. Y. // Ocean Engineering. – 2020. – Vol. 215. – No 107921. – Doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107921.
208. *Wang, Z.* Field Monitoring Analysis of Construction Process of Deep Foundation Pit at Subway Station / Z. Wang, X. Guo, C. Wang // Geotechnical and Geological Engineering. – 2019. – Vol. 37, issue 2. – 15 April 2019. – Pp. 549–559. – Doi: 10.1007/s10706-018-0626-4.
209. *Wang, W.* Study on the Key Technology of Marshland Foundation Pit / W. Wang, X. He // Construction Geotechnical and Geological Engineering. – 2020. – Vol. 38, issue 1. – 1 January 2020. – Pp. 31–45. – Doi: 10.1007/s10706-019-00996-w.
210. *Westermann, K.* Excavation pit and foundation of a research center / K. Westermann, J. Meier, L. Pitteloud // Bautechnik. – 2020. – Vol. 97, issue 12. – December 2020. – Pp. 878–885. – Doi: 10.1002/bate.202000062.
211. *Wu, H.* Stakeholder Perceptions of Transaction Costs in Prefabricated Housing Projects in China / H. Wu, Q. K. Qian, A. Straub, H. Visscher // Journal of Construction Engineering and Management. – 2021. – Vol. 147. – No. 04020145.
212. *Yang, X.* Anchoring Mechanism and Bearing Characteristics of the Inflatable Controlled Anchor / X. Yang, S. Jia, C. Wen, Y. Liu // Geotechnical and Geological Engineering. 2020. – Vol. 38, issue 3. – 1 June 2020. – Pp. 2523–2537.



213. *Yao, Z.-A.* Key Construction Techniques for Foundation Pit Supporting Structure of East Anchor Block of Lingdingyang Bridge / Z.-A. Yao, B.-Y. Chen // *Bridge Construction*. – Vol. 50, issue 3. – 28 June 2020. – Pp. 105–110.
214. *Yang, Z.* Application of unconstrained optimization and sensitivity analysis to calibration of a soil constitutive model / Yang Z., Elgamal A. // *Int. J. Numerol. Anal. Meth. Geomech.* – 2003. – Vol. 27. – Pp. 1277–1279.
215. *Ye, S.* Monitoring and simulation analysis of deep and large foundation pit excavation in complex environment. *Tumu Gongcheng Xuebao* / S. Ye, D. Li // *China Civil Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 52. – 1 June 2019. – Pp. 117–126.
216. *Yi, Q.* Effect of soil plugging during press-in caisson sinking in soft ground / Q. Yi // *Journal of Jiang University (Engineering Science)*. – 2020. – Vol. 54, issue 7. – Pp. 1380–1389.
217. *Yu, M.* Scheme optimization for network information-centric system-of-systems based on multi-stage Bayesian Stackelberg game / M. Yu, M. He, D. Zhang, L. Jia // *Systems Engineering and Electronics*. – 2020. – Vol. 42, issue 6. – 1 June 2020. – Pp. 1301–1309. – Doi: 10.3969/j.issn.1001-506X.2020.06.13.
218. *Yu, S.* BIDI: a classification algorithm with instance difficulty invariance / S. Yu, X. Li, H. Wang, X. Zhang, S. Chen // *Expert Systems with Applications*. – 2021. – Vol. 165. – No 113920. Doi:10.1016/j.eswa.2020.113920.
219. *Yudina, A. F.* Control and Reduction of Dynamic Disturbances During Vibratory Driving of Sheet Pile into Soil / A. F. Yudina, V. V. Verstov // *Mechanics and Foundation Engineering*. – March 2017. – Vol. 54, issue 1. – Pp. 56–59.
220. *Zhang, Y.* Calculation and time effect of bearing capacity of large diameter driven steel pipe pile in coral reef. / Y. Zhang, X. Ma // *Journal of Xi'an University of Architecture and Technology*. – 2020. – Vol. 52, issue 5. – 28 October 2020. – Pp. 725–729. – Doi: 10.15986/j.1006-7930.2020.05.015.
221. *Zheng, S.* Application and Research of Multiple Support Types in the Combination of Deep Foundation Pits / S. Zheng // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 782, issue 4. – 14 April 2020. – No 042026. – Doi: 10.1088/1757-899X/782/4/042026.
222. *Zheng, W.* Study of the Construction Technology of Caisson under Complex Geological Conditions / W. Zheng, F. Tao, F. Guangxiu // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing. – 2019. – Vol. 1168, issue 2. – No 022063.
223. *Zhongjian, Y.* High-pressure water jet system for assisting in inserting and driving steel sheet pile cofferdam / Y. Zhongjian, Q. Dejin, Li Guandong, W. Jianliang, W. Chufu, C. Zhijun, L. Yuguo,

- Li Cunhu, F. Hengwang, W. Gang // CN202323955 (U). – URL: <http://worldwide.espacenet> (date of access: 11.07.2012).
224. Zhou, H. A New-Type Intelligent Open Caisson Stereo Parking Garage and Its Applicability Analysis / H. Zhou, F. Deng, X. Yang // Construction Research Congress 2020: Infrastructure Systems and Sustainability. – Reston, VA: American Society of Civil Engineers. – 2020. – Pp. 240–248.
225. Zuo, Z. Measurement and Analysis of Deep Foundation Pit Excavation in Deep Soft Soil Stratum / Z. Zuo, H. Fu, J. Zhang, R. Lin, J. Gong // Modern Tunnelling Technology. 2019. – Vol. 56, issue 6. – 1 December 2019. – Pp. 107–113. – Doi: 10.13807/j.cnki.mtt.2019.06.016.

# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015663197

**Сравнительный анализ эффективности способов устройства  
свайных фундаментов по критерию технологичности**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального  
образования «Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет» (RU)**

Автор: **Гайдо Антон Николаевич (RU)**

Заявка № **2015660159**

Дата поступления **26 октября 2015 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **14 декабря 2015 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

**Г.П. Иевлев**



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2498017

## СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ ВДАВЛИВАНИЕМ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012116176

Приоритет изобретения 20 апреля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 ноября 2013 г.

Срок действия патента истекает 20 апреля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2500857

## СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ ВДАВЛИВАНИЕМ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012129490

Приоритет изобретения **11 июля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 декабря 2013 г.**

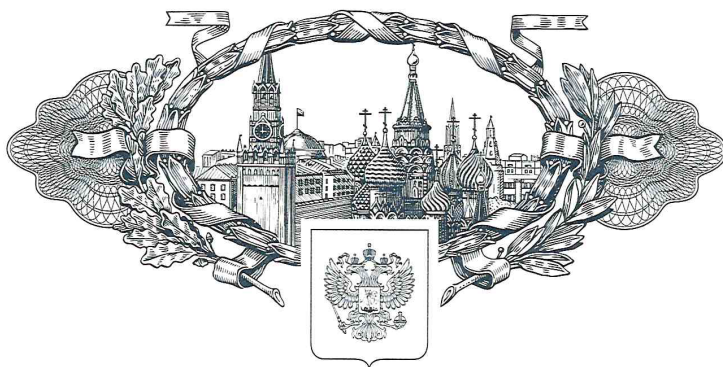
Срок действия патента истекает **11 июля 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2580338

СПОСОБ ВИБРОВРАЩАТЕЛЬНОГО ВДАВЛИВАНИЯ  
СВАИ В ГРУНТ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015107407

Приоритет изобретения 03 марта 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 15 марта 2016 г.

Срок действия патента истекает 03 марта 2035 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2535860

СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ ШПУНТА С ЗАГЛУБЛЕНИЕМ В  
ПЛОТНЫЙ ВОДОУПОРНЫЙ ГРУНТ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013140902

Приоритет изобретения **05 сентября 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **17 октября 2014 г.**

Срок действия патента истекает **05 сентября 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Л.Л. Кирий*





## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2491387

СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ  
СООРУЖЕНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ЗДАНИЙ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012107729

Приоритет изобретения 29 февраля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 августа 2013 г.

Срок действия патента истекает 29 февраля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2549789

СПОСОБ ПОГРУЖЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ  
ОБОЛОЧЕК С ЗАГЛУБЛЕНИЕМ В ПЛОТНЫЙ  
ВОДОУПОРНЫЙ ГРУНТ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014137366

Приоритет изобретения 15 сентября 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 01 апреля 2015 г.

Срок действия патента истекает 15 сентября 2034 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2622279

**СПОСОБ ЗАЩИТЫ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ,  
СООРУЖЕНИЙ ОТ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
В ГРУНТЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО  
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Авторы: *Верстов Владимир Владимирович (RU),  
Гайдо Антон Николаевич (RU)*

Заявка № 2016119464

Приоритет изобретения 19 мая 2016 г.

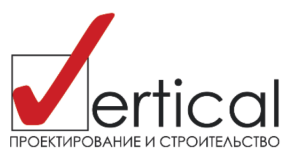
Дата государственной регистрации в  
Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 13 июня 2017 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 19 мая 2036 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев





ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ВЕРТИКАЛЬ»  
ООО «ВЕРТИКАЛЬ»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ  
В ДАВЛИВАЮЩИМИ УСТАНОВКАМИ**

**СТО 38051320-001-2018**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

**2018**

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки - постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

### Сведения о стандарте

1 ИСПОЛНИТЕЛИ - ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»: д.т.н., проф. Верстов В.В., к.т.н., доц. Гайдо А.Н., ООО «Вертикаль»: Иванов Я.В., Вершинин Д.В., Сергеев Ю.О., ООО «ПКТИ Фундамент-тест»: Левинтов Г.В., ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ»: Вершинин В.П.

2 Текст СТО одобрен на заседании секции НТС НИИОСП им Герсеванова АО «НИЦ» Строительство» 19.07.2018

3 ВВЕДЕН впервые

При пользовании настоящим стандартом следует проверять действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

Одобрено секцией НТС НИИОСП им Герсеванова АО «НИЦ»  
«Строительство» 19.07.2018



Зам. директора НИИОСП, к.т.н. Разводовский Д.Е.

Замечания и предложения по дополнениям и изменениям настоящего Стандарта просим направлять по адресу: 194044, г.Санкт-Петербург, улица Выборгская, д.5, лит.А, пом. 23-Н, тел.:244-01-58 E-mail: info@vertical.spb.ru



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Санкт-Петербургский государственный**  
**архитектурно-строительный университет»**  
**(СПбГАСУ)**  
 2-ая Красноармейская д.4, Санкт-Петербург, 190005

**«СОГЛАСОВАНО»**

Исполнительный директор

ООО «Строительный трест №28»

А.А. Кальниченко

« 5 » сентября 2019 г.

Начальник управления работ нулевого цикла

ООО «Вертикаль»

Я.В. Иванов

« 3 » сентября 2019 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Проректор по научной работе,

д.т.н., профессор

И.В. Дроздова

« 5 » сентября 2019 г.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

### «ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ В ГРУНТАХ ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ»

Разработчик

Заведующий кафедрой

Технология строительного производства

к.т.н., доцент

А.Н. Гайдо

Санкт-Петербург

2019



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«СТРОИТЕЛЬНЫЙ ТРЕСТ № 28»



исх. № 04 от 19.01. 2021 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов исследований диссертационной работы Гайдо Антона Николаевича «Методология выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности», представленной на соискание учёной степени доктора наук по специальности 05.23.08 - Технология и организация строительства.

Настоящий акт составлен о том, что результаты исследований Гайдо Антона Николаевича использованы при выборе способов производства работ в грунтах.

Предлагаемая методика имеет следующие преимущества:

- доступность алгоритма, реализованного в программном комплексе;
- универсальность при выборе различных способов устройства свайных фундаментов, ограждений котлованов, возведения заглубленных сооружений специального назначения и т.п.;
- результаты представляются в виде значений коэффициента технологичности, позволяют выполнять сравнение различных способов устройства;
- имеются примеры оформления результатов расчётов для утверждения их в службах заказчиков, вневедомственной экспертизы и т.п.

Применение методики позволяет проводить обоснованный выбор технологий при анализе соответствующей проектной документации по устройству специальных конструкций и сооружений в грунте. Подтверждается экономическая эффективность от внедрения методики, за счёт использования более эффективных технологий при снижении затрат на устранение дефектов, возникающих при производстве работ.

Генеральный директор



 Барковский А.В.



Общество с ограниченной ответственностью «Вертикаль»  
Выборгская ул., д. 5, лит. А, пом.23-Н,  
Санкт-Петербург, 194044  
Тел.: (812) 244-01-58 e-mail: info@vertical.spb.ru

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Гайдо Антона Николаевича  
«Методология выбора эффективных способов производства специальных работ  
в грунтах по критерию технологичности», представленной на соискание учёной  
степени доктора наук по специальности 05.23.08 - Технология и организация  
строительства

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы  
Гайдо Антона Николаевича **«Методология выбора эффективных способов  
производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности»**  
используются в нашей организации.

Предложенная аналитическая модель используется при геотехническом  
обосновании проектных решений с учётом требований СП 22.13330.2016  
«Основания зданий и сооружений» п.9. Её применение позволяет производить  
выбор способов, отвечающих требованиям достижения надлежащего качества  
выполняемых конструкций, минимальных трудозатрат и обеспечения  
сохранности зданий, прилегающих к строительным площадкам.

Разработанный Гайдо А.Н. регламент по реализации предлагаемой  
методологии обсужден и утвержден техническим советом нашей организации и  
принят в качестве обязательного документа при составлении проектной и  
технологической документации, включая ПОС и ППР.

Генеральный директор ООО «Вертикаль»

Гавриш А.В.



Дата: 28.12.20





ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
**«ПКТИ Фундамент-тест»**

САМОРЕГУЛИРУЕМАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
 Некоммерческое партнерство  
 «Изыскательские организации Северо-Запада»

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
 о допуске к работам по выполнению инженерных изысканий,  
 Рег. № 0038.03-2010-7840423357-И-17 от 23.09.2015г.

194017, Санкт-Петербург, Удельный пр., д. 5, лит.А, пом. 41-Н  
 тел. 670-94-01, E-mail: pkti-test@yandex.ru

**Акт внедрения**

результатов диссертационного исследований, Гайдо Антона Николаевича «Методология выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности», представленной на соискание учёной степени доктора наук по специальности 05.23.08 - Технология и организация строительства

Представленный автором регламент, разработанный на основании выполненных исследований, был рассмотрен специалистами нашей организации и принят для применения при выборе способов устройства свайных фундаментов, ограждений котлованов и специальных сооружений в грунтах.

В ходе апробации предлагаемой методики установлена её достоверность, эффективность и сравнительная простота в использовании. Кроме того, получен экономический эффект за счет применения способов, которые позволяют достичь наилучших технологических показателей (производительности, трудозатрат и т.п.) и качества конструкций, возводимых в грунте.

При этом в ходе анализа опыта работ установлено, что затраты на устранение дефектов, вызванных применением неэффективных способов, снижены на 40-50% а в некоторых случаях их удалось полностью исключить.

Полученные результаты позволяют заключить о практической значимости исследований, проведенных Гайдо А.Н. Отмечается актуальность разработанной методики и положительные результаты от её внедрения.

Генеральный директор



Г.В. Левинтов

Дата 20.01.2021г.



ООО «Центр экспертизы и проектирования строительных конструкций» // ООО «ЦЭИПСК»

**ГЕНЕРАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Юридический и фактический адрес: 196084,  
Санкт-Петербург, Заозерная ул., д. 8, корп.2, литера

Б, часть пом. 1Н, комн. 28;

Тел./факс: 8-812-649-47-16

Тел. раб: +7-921-777-64-09

E-mail: [gip@gip.su](mailto:gip@gip.su); <https://gip.su>

ИНН 7813380577, КПП 781001001

Р/с 40702810390110000626

ПАО «Банк «Санкт-Петербург», г. СПб

БИК 044030790 К/с 30101810900000000790



13.01.2021 № 2130-13012021-II

(На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_)

Справка о внедрении

**Справка о внедрении**

**результатов диссертационной работы Гайдо Антона Николаевича на тему «Методология выбора эффективных способов производства специальных работ в грунтах по критерию технологичности», представленной на соискание учёной степени доктора наук по специальности 05.23.08 - Технология и организация строительства**

На основе предложенного автором научного подхода к многофакторной оценке способов производства специальных работ в грунтах разработан соответствующий регламент, применяемый нашим предприятием при планировании производственной деятельности.

Методика используется при анализе проектной документации для обоснования применения технологий и комплектов механизации. Накоплен положительный опыт её внедрения, проведенного на целом ряде объектов при возведении фундаментов промышленных и гражданских зданий, различных сооружений специального назначения, расположенных на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

В результате при строительстве были применены способы эффективные по показателям качества изготавливаемых конструкций, производительности, минимальных технологических воздействий как на массив грунта, так и на конструкции зданий, прилегающих к застраиваемым участкам. Рост экономического эффекта на этапе строительства от внедрения методики составил от 40 до 60%.

С уважением,

Главный инженер проектов, к.т.н.

ООО «Центр экспертизы и проектирования строительных конструкций»

Исп. Е. Федулов  
e.s.fedulov@gip.su  
+7 903 095 09 10



Е.С. Федулов

*Исп. Е.С. Федулов  
заверяю А.С. Михальков  
директор ООО «ЦЭИПСК»*