

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Цыганкова Мария Анатольевна

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ЛЕНТОЧНО-ОБОЛОЧЕЧНЫХ
ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

2.1.7. Технология и организация строительства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Дроздов А. Д.

Санкт-Петербург – 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ЛЕНТОЧНО-ОБОЛОЧЕЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ	10
1.1. Конструктивные решения ленточно-оболочечных фундаментов....	10
1.1.1 Общая концепция ленточно-оболочечных фундаментов.....	10
1.1.2 Конструктивное решение ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов.....	14
1.1.3 Конструктивное решение ленточно-мембранных фундаментов.....	16
1.1.4 Классификация ленточно-оболочечных фундаментов.....	19
1.2. Технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов.....	24
1.2.1 Технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов.....	24
1.2.2 Технология устройства ленточно-мембранных фундаментов.....	28
1.2.3 Практика строительства объектов с ленточно-оболочечными фундаментами в Тюменской области.....	30
1.3. Анализ трудоемкости возведения ленточно-оболочечных фундаментов.....	36
1.3.1. Факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов.....	36
1.3.2. Технологические сложности возведения ленточно-оболочечных фундаментов.....	37
1.4. Техничко-экономическое сравнение ленточно-оболочечных и сплошных плитных фундаментов.....	38
1.5. Выводы по главе 1.....	40
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ПРОКЛАДКИ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ ПОДОБОЛОЧЕЧНОГО МАССИВА ГРУНТА	42
2.1. Рабочая гипотеза по реализации включения в работу подоболочечного массива грунта.....	42
2.2. Исследование технологических параметров демпфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подоболочечного массива ЛОФ.....	45
2.3. Оценка эффективности применения пенополистирола в качестве материала демпфирующей прокладки.....	62
2.4. Анализ изменения трудоемкости и продолжительности работ при добавлении демпфирующей прокладки из пенополистирола.....	65
2.5. Новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подоболочечного массива.....	66

2.6. Выводы по главе 2.....	68
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА.....	69
3.1. Рабочая гипотеза по снижению трудоемкости производства работ и повышению качества поверхности подбололочечного массива.....	69
3.2. Исследование технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования.....	71
3.3. Исследование технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ и качество поверхности подбололочечного массива	75
3.4. Описание конструкции нового режущего оборудования.....	86
3.5. Порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования.....	90
3.6. Новый способ формирования криволинейной поверхности подбололочечного массива грунта.....	97
3.7. Экспериментальное исследование работы модели режущего оборудования в полевых условиях.....	99
3.8. Выводы по главе 3	104
ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ЛОФ С УЧЕТОМ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ	106
4.1. Технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов с учетом предлагаемых решений	106
4.2. Технология устройства ленточно-мембранных фундаментов с учетом предлагаемых решений.....	108
4.3. Сравнение технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов.....	110
4.4. Техничко-экономическая эффективность предлагаемых решений.....	115
4.5. Выводы по главе 4.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
Список литературы	121
Основные научные публикации по теме диссертационного исследования	133
Приложение 1. Расчетная длина дуги режущего оборудования....	138
Приложение 2. Расчетные силы сопротивления грунта резанию (усилие резания), в зависимости от различных параметров.....	140
Приложение 3. Патент на изобретение № 2689957.....	155
Приложение 4. Патент на изобретение № 2752890.....	156
Приложение 5. Диплом победителя Регионального этапа Всероссийской премии ВОИР.....	157
Приложение 6. Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика..	158
Приложение 7. Справка о внедрении результатов исследования...	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В целях создания экономичных технологий строительства фундаментов, влияющих на себестоимость конечной продукции, уменьшение продолжительности и трудоемкости возведения фундаментов, повышение их несущей способности, уменьшение материалоемкости, возникает необходимость совершенствования существующих технологий строительства фундаментов. Решение этой задачи возможно за счет применения ленточно-оболочечных фундаментов, являющихся альтернативой традиционным видам фундаментов, в частности альтернативой сплошным плитным фундаментам.

Ленточно-оболочечный фундамент (ЛОФ) состоит из опорных железобетонных контуров, объединенных в пролетной части фундамента гибким элементом (железобетонной оболочкой или мембраной), устроенным по выпуклому вверх цилиндрическому естественному или искусственному основанию. Опорные контуры выполняются в виде ленточного фундамента, устраиваемого в траншеях по дну котлована, и предназначены для передачи нагрузки на грунт основания. Функция гибкого элемента (железобетонной оболочки или мембраны) заключается в вовлечении в работу массива грунта, находящегося под ней в пролетной части фундамента, при естественной осадке фундамента.

По сравнению со сплошными плитными фундаментами преимущество конструкции ленточно-оболочечных фундаментов заключается в меньшей материалоемкости и повышенных прочностных характеристиках фундамента. За счет выпуклой вверх конструкции пролетной части фундамента происходит вовлечение в работу грунта, находящегося под железобетонной оболочкой или мембраной, что снижает осадки фундамента, при этом ленточные опорные несущие фундаменты и пролетная часть работают совместно, преобразуясь в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью. В то же время в технологических процессах производства работ имеются большие резервы повышения технико-экономической эффективности строительства данного вида фундаментов, которые могут быть реализованы за счет усовершенствования технологии производства работ.

Основным недостатком ленточно-оболочечных фундаментов на данный момент является трудоемкость производства земляных работ, за счет сложной конфигурации конструкции фундамента, отсутствие средств механизации и технической документации, регламентирующей технологию выполнения работ, недостаточно высокий профессиональный уровень строителей, а так же в

указанном фундаменте, не в полной мере используются прочностные характеристики грунта под оболочечной частью фундамента.

Таким образом, совершенствование технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов с целью повышения эффективности ленточно-оболочечного фундаментостроения путем снижения трудоемкости, уменьшения сроков строительства и повышения качества строительства, является важной **актуальной задачей**.

Научная гипотеза. Повышение технологичности, контролируемое включение в работу подоболочечного массива, снижение трудоемкости проведения земляных работ, повышение качества поверхности подоболочечного массива при устройстве ЛОФ возможно за счет совершенствования технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения.

Степень разработанности темы исследования. Многочисленными исследованиями подтверждена актуальность строительства фундаментов с криволинейной контактной поверхностью, обусловленная повышенными прочностными характеристиками фундамента, снижением деформируемости грунтового основания по сравнению с плитным фундаментом.

Начиная с 60-70-х годов, многочисленными отечественными авторами, например, А. Н. Тетиором, С. Г. Ванюшкиным, В. В. Павловым, В. З. Власовым, К. Сечи, А. Н. Чече, были выполнены работы по исследованию различных форм оболочек, в том числе при взаимодействии с грунтом основания в составе сплошных фундаментов. Среди зарубежных авторов данной проблематикой занимались А. М. Hanna, М. М. Abdel-Rahman, W. Hadid, N. P. Kurian, N. Hataf, S. R. Jeyachandran, С. S. Mohan. В направлении взаимодействия ленточно-оболочечных фундаментов с сильносжимаемым грунтовым основанием выполнен ряд работ, авторами которых являются: Я. А. Прозин, О. С. Порошин, Р. В. Мельников, Л. В. Епифанцева, Ю. В. Наумкина, Д. В. Рачков. Вопросы технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения с выпуклой вверх формой контактной поверхности в пролетной части, практически не изучались, что и является сдерживающим фактором их строительства.

Целью диссертационной работы является проведение исследований, направленных на совершенствование технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения, обеспечивающих контролируемое включение в работу подоболочечного массива фундамента; снижающих трудоемкость производства земляных работ при возведении выпуклого вверх грунтового основания, повышающих качество поверхности подоболочечного массива и технологичность устройства ЛОФ.

Задачи научного исследования:

1. Провести анализ существующих конструкций и технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов, выявить факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов.

2. Выявить зависимость технологических параметров демпфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подболоечного массива ЛОФ. Разработать новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подболоечного массива.

3. Выявить зависимость технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования; выявить зависимость технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ и качество поверхности подболоечного массива. Установить порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Разработать новый способ формирования криволинейной поверхности подболоечного массива грунта. Провести экспериментальные исследования работы модели режущего оборудования в полевых условиях.

4. Разработать технологию устройства ЛОФ с учетом предлагаемых решений; разработать технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика, подтвердить технико-экономическую эффективность предлагаемых решений.

Объектом исследования является технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения.

Предметом исследования являются параметры технологических процессов при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения; факторы, влияющие на контролируемое включение в работу подболоечного массива фундамента, на снижение трудоемкости работ, повышение качества и технологичности устройства ЛОФ.

Научная новизна:

1. Выявлены основные факторы, влияющие на качество, технологичность, трудоемкость и продолжительность производства работ; составлена классификация ЛОФ по основным признакам.

2. Выявлена зависимость технологических параметров демпфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подболоечного массива ЛОФ, от механических характеристик грунта и геометрических параметров фундамента.

3. Выявлена зависимость технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость конструкции, от заданных

проектом условий, определена методика расчета и формулы для расчета длины дуги режущего оборудования; выявлены параметры, влияющие на производительность работы оборудования, а так же выявлена зависимость технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ, от геометрических параметров и механических характеристик грунта подбололочного массива.

4. Практически подтверждены технологические параметры резания грунта новым оборудованием, на основании чего разработан технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика, доказана технико-экономическая эффективность предлагаемых решений.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании и подтверждении эффективности технологии устройства ленточно-оболочечного фундамента; в установлении зависимости параметров технологических процессов от различных факторов: механических характеристик грунта подбололочного массива, геометрических параметров фундамента и режущего оборудования.

Практическая значимость работы:

- разработаны и запатентованы, в соавторстве, конструктивно-технологические решения ленточно-оболочечного фундамента (патент РФ № 2689957) и ленточно-мембранного фундамента мелкого заложения (патент РФ № 2752890), практический результат которых состоит в контролируемом включении в работу подбололочного массива фундамента за счет устройства демпфирующей прокладки под ленточными опорными контурами;

- разработан новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подбололочного массива грунта;

- предложена конструкция режущего оборудования, практический результат которой состоит в сокращении трудоемкости производства земляных работ, повышении качества поверхности грунтового целика и технологичности устройства ЛОФ;

- установлен порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования, предложен квалификационный состав звена рабочих;

- разработан новый способ формирования криволинейной поверхности подбололочного массива грунта, обеспечивающий снижение трудоемкости проведения работ, повышающий качество поверхности подбололочного массива;

- технико-экономический эффект от внедрения предложенного технического решения в сравнении с известным способом формирования грунтового целика состоит в снижении трудозатрат на производство ручных земляных работ в среднем на 70%;

- разработан «Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика».

Методология и методы исследования: анализ патентных источников, существующих технологий и практического опыта устройства ЛОФ, обобщение производственного опыта; сравнительное вариантное технологическое проектирование; расчетно-аналитический метод, метод корреляционно-регрессивного анализа, математическое планирование экспериментальных исследований, многофакторный анализ, статистическая обработка результатов; метод физического моделирования, проведение модельных, натурных экспериментов; инженерно-экономический метод оценки эффективности строительных технологий.

Личный вклад автора состоит в проведении сравнительного анализа существующих конструкций и технологий устройства ЛОФ, составлении классификации ЛОФ по основным признакам; проведении численных исследований технологических параметров демпфирующей прокладки в зависимости от механических характеристик грунта подбололочного массива и геометрических параметров фундамента; в проведении численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость конструкции режущего оборудования и трудоемкость работы оборудования, в определении методики расчета и формул для расчета длины дуги режущего оборудования, силы сопротивления грунта резанию новым оборудованием; в установлении порядка определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования; в апробации модели режущего оборудования в полевых условиях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ существующих конструкций и технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов.

2. Результаты численных исследований технологических параметров демпфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подбололочного массива ЛОФ.

3. Результаты численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования. Результаты численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ и качество поверхности подбололочного массива. Порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Результаты экспериментальных исследований работы модели режущего оборудования в полевых условиях.

4. Технология устройства ЛОФ с учетом предлагаемых решений, технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх

поверхности грунтового целика, технико-экономическая эффективность предлагаемых решений.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.1.7. Технология и организация строительства, а именно: содержанию специальности по следующим основным направлениям: п.2 «Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации»; п.4. «Теоретические и экспериментальные исследования эффективности технологических процессов»; п.5. «Исследование эффективности применения машин, оборудования, установок, инструментов, транспортных средств, систем автоматизации в строительстве и его производственной базе; обоснование их технологических возможностей и областей рационального применения».

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием метода математического планирования экспериментов, выполнением статистической обработки полученных данных и установлением аналитических зависимостей для расчета параметров строительного процесса, полученными патентами РФ на изобретение.

Апробация результатов работ. Методологические и теоретические результаты работы доложены и обсуждены на 12 всероссийских и международных конференциях в г. Санкт-Петербурге и г. Тюмени. Результаты исследования реализованы в учебном процессе в Тюменском индустриальном университете (ТИУ, 2015-2021 гг.) при чтении курса лекций по дисциплинам «Технологические процессы в строительстве», «Инновационные технологии строительных работ», «Организационно-технологическое обеспечение качества. Сдача приемка» для бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство»; при выполнении выпускных квалификационных работ; при строительстве ленточно-оболочечных фундаментов в ЖК «Акварель», ГП-1.1, ГП-1.2 по адресу ул. Таврическая, г.Тюмень.

Публикации. Основные научные результаты изложены в 21 печатной работе, в том числе 5 научных статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, 1 публикация, индексируемая международной системой цитирования Scopus. Также в ходе исследования в соавторстве получено 2 патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 169 страниц, включает 94 рисунка и фотографии, 37 таблиц, список литературы из 153 источников, 7 приложений.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ЛЕНТОЧНО-ОБОЛОЧЕЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

1.1. Конструктивные решения ленточно-оболочечных фундаментов

1.1.1 Общая концепция ленточно-оболочечных фундаментов

Начиная с 60-70-х годов, многочисленными отечественными авторами, например, А. Н. Тетиором [116-119], С. Г. Ванюшкиным [15], В. В. Павловым, В. З. Власовым, К. Сечи, А. Н. Чече, были выполнены работы по исследованию различных форм оболочек, в том числе при взаимодействии с грунтом основания в составе сплошных фундаментов. Среди зарубежных авторов данной проблематикой занимались А. М. Hanna [144], W. Hadid [143], M. M. Abdel-Rahman [140, 141], N. P. Kurian [147], T. Hong, J. G. Teng, Y. F. Luo [145, 148] и др. Но в основном исследования данных авторов касались изучения взаимодействия оболочек с грунтовым основанием в составе фундаментов, работающих на сжатие.

В последние годы большое распространение получили ленточно-оболочечные фундаменты (ЛОФ), оболочка в составе которых работает на растяжение [84]. Оболочка расположена в пролетной части фундамента и выполнена по массиву с нулевой или положительной Гауссовой кривизной. Исследованием работы конструкции фундамента с криволинейной выпуклой вверх по отношению к грунту формой контактной поверхности занимались многочисленные авторы: д.т.н. Пронозин Я. А. [84, 87], к.т.н. Порошин О. С. [83], к.т.н. Мельников Р. В. [63], к.т.н. Епифанцева Л. В. [34], к.т.н. Наумкина Ю. В. [67], к.т.н. Степанов М. А. [110], к.т.н. Рачков Д. В. [99], к.т.н. Волосюк Д. В. [23].

Основная концепция создания ЛОФ заключается в активном регулировании взаимодействия с грунтовым основанием, эффективном управлении напряженно-деформированном состоянии грунта, максимальном вовлечении грунта в работу, снижении осадки фундамента, снижении материалоемкости и стоимости конструкции. Конструкция ленточно-оболочечного фундамента является альтернативой сплошному плитному фундаменту.

В общем случае конструкция ЛОФ, состоит из различных по жесткости и характеру работы элементов [84] (рисунок 1.1, 1.2): *основные ленточные фундаменты* (или опорные железобетонные контуры, воспринимающие вышерасположенные нагрузки); *дополнительные ленточные фундаменты* (не воспринимают нагрузки, либо мало нагружены); *гибкий элемент в пролетной части* (пологая выпуклая вверх по отношению к грунту цилиндрическая оболочка, воспринимающая растягивающие усилия).

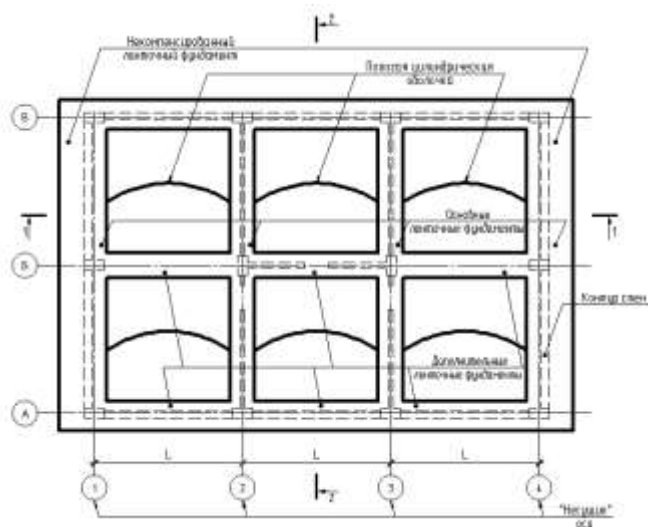


Рисунок 1.1. Конструктивный план ЛОФ [84]

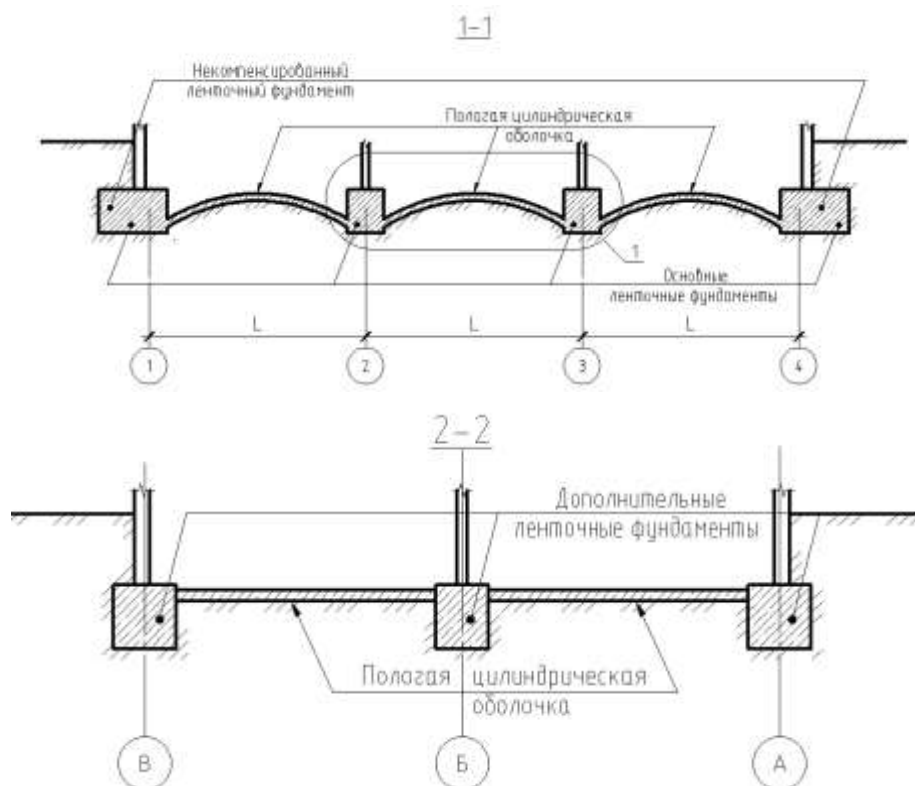


Рисунок 1.2. Принципиальные разрезы ЛОФ [84]

В зависимости от гибкого элемента, расположенного в пролетной части, ленточно-оболочечный фундамент можно классифицировать на 2 вида.

1. **Ленточный тонкостенно-оболочечный фундамент** (далее ЛТОФ) – с гибким элементом в пролетной части в виде железобетонной тонкостенной оболочки, закрепленной по двум сторонам вдоль образующих в основных ленточных фундаментах (рисунок 1.3.) [84].

Вес несущих конструкций здания передается на основные ленточные фундаменты, которые при осадке вовлекают в работу железобетонную тонкостенную оболочку, которая, в свою очередь, вовлекает в работу грунт в

пролетной части фундамента. При данной конструктивной схеме уменьшается осадка ленточных фундаментам и снижается уровень контактных давлений под ними.

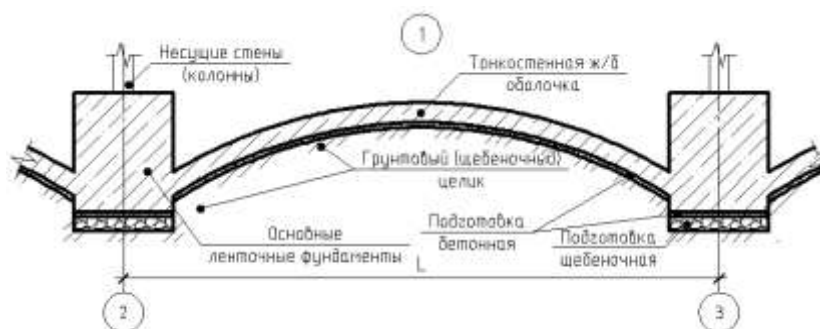


Рисунок 1.3. ЛТОФ (принципиальный разрез) [84]

2. **Ленточно-мембранный фундамент** (далее ЛМФ) – с гибким элементом в пролетной части в виде высокопрочной мембраны с фиброй, закрепленной в основных ленточных фундаментах по двум сторонам (рисунок 1.4.) [84].

Вес несущих конструкций здания передается на основные ленточные фундамента, которые при осадке вовлекают в работу мембрану, которая, в свою очередь, натягивается и вовлекает в работу грунт в пролетной части фундамента. При данной конструктивной схеме так же уменьшается осадка ленточных фундаментам и снижается уровень контактных давлений под ними.

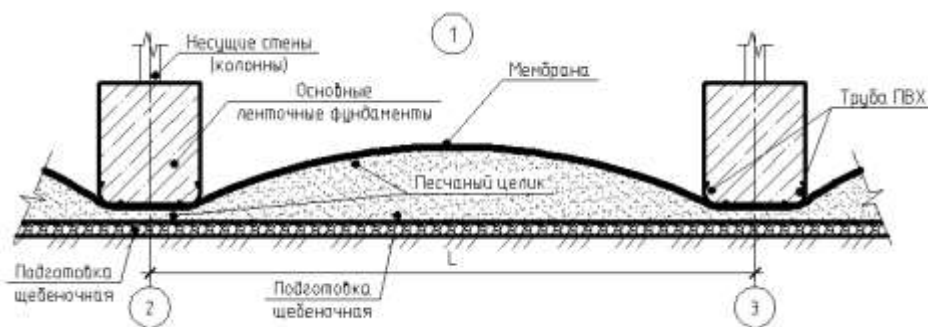


Рисунок 1.4. ЛМФ (принципиальный разрез) [84]

По сравнению со сплошными плитными фундаментами ЛОФ имеют ряд преимуществ [84]: за счет перераспределения зон НДС снижается глубина сжимаемой толщи основания [149]; за счет дополнительного бокового давления увеличивается модуль деформации грунта под железобетонной оболочкой или мембраной [26, 65]; снижаются величины осадок фундамента и их неравномерности за счет активного регулирования напряженно-деформированным состоянием грунтового основания [67, 115, 150];

материалоемкость фундамента снижается: расход бетона меньше на 50%, стали на 20% [43, 47].

По сравнению с ленточными фундаментами ЛОФ имеют ряд преимуществ [84]: повышается расчетное сопротивление грунта R за счет кратного увеличения ширины фундамента [99]; уменьшаются неравномерности осадок отдельных ленточных фундаментов за счет совместной работы основных ленточных фундаментов и оболочки, вовлекающей в работу грунт в пролетной части [92]; снижаются осадки за счет вовлечения в работу всего массива грунта под зданием [85].

Требования к проектированию и устройству ленточно-оболочечных фундаментов представлены в [108, 118, 119].

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия ленточно-оболочечных фундаментов с грунтовым основанием представлены в работах А.П. Малышкина [59], Я.А. Пронозина [84, 87, 93], В.М. Чикишева [136], З.Г. Тер-Мартirosяна [112, 113, 115, 152], Н.Ю. Киселева [49, 146], Ю.В. Наумкиной [66], Д.В. Рачкова [99], Л.Р. Епифанцевой [34, 35, 142] и др.

Область применения ленточно-оболочечных фундаментов (рисунок 1.5.) обусловлена конструктивными особенностями здания, этажностью, давлением на основание, а так же грунтовыми условиями [84].



Рисунок 1.5. Область применения ленточно-оболочечных фундаментов

1.1.2 Конструктивное решение ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов

Ленточный тонкостенно-оболочечный фундамент (ЛТОФ) применяется для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, средней и повышенной этажности, преимущественно с регулярным шагом расположения несущих конструкций.

Конструкция ЛТОФ (рисунок 1.6.) состоит из [68, 69]:

- основных ленточных фундаментов 1 (опорных монолитных железобетонных контуров), которые, как правило, выполняются из монолитного железобетона и воспринимают нагрузки от вышерасположенных несущих конструкций здания. При этом на опорные контуры передаются случайные эксцентриситеты нагрузки от вышерасположенных конструкций стен и колонн, воздействуя по наружному контуру здания. В связи с чем, формируются консольные уширения «некомпенсированных» ленточных фундаментов [84];

- дополнительных ленточных фундаментов 2 (железобетонных лент), которые, как правило, располагаются перпендикулярно опорным контурам. Железобетонные ленты не подвержены нагружению, либо воспринимают нагрузки от малонагруженных или самонесущих конструкций здания;

- железобетонной пологой, обращенной выпуклостью вверх, цилиндрической тонкостенной оболочки 3, которая объединяет соседние основные ленточные фундаменты в сплошной фундамент и закрепляется по двум сторонам вдоль образующих в опорных контурах. Оболочка воспринимает растягивающие усилия;

- криволинейного цилиндрического естественного или искусственного основания, являющегося основанием для железобетонной пологой, обращенной выпуклостью вверх, цилиндрической тонкостенной оболочки;

- бетонной подготовки из тощего бетона, выполненной по щебеночной подготовке под опорными железобетонными контурами, а так же по поверхности грунтового целика (щебеночного основания под оболочку);

- щебеночной подготовки, выполненной по грунтовому основанию.

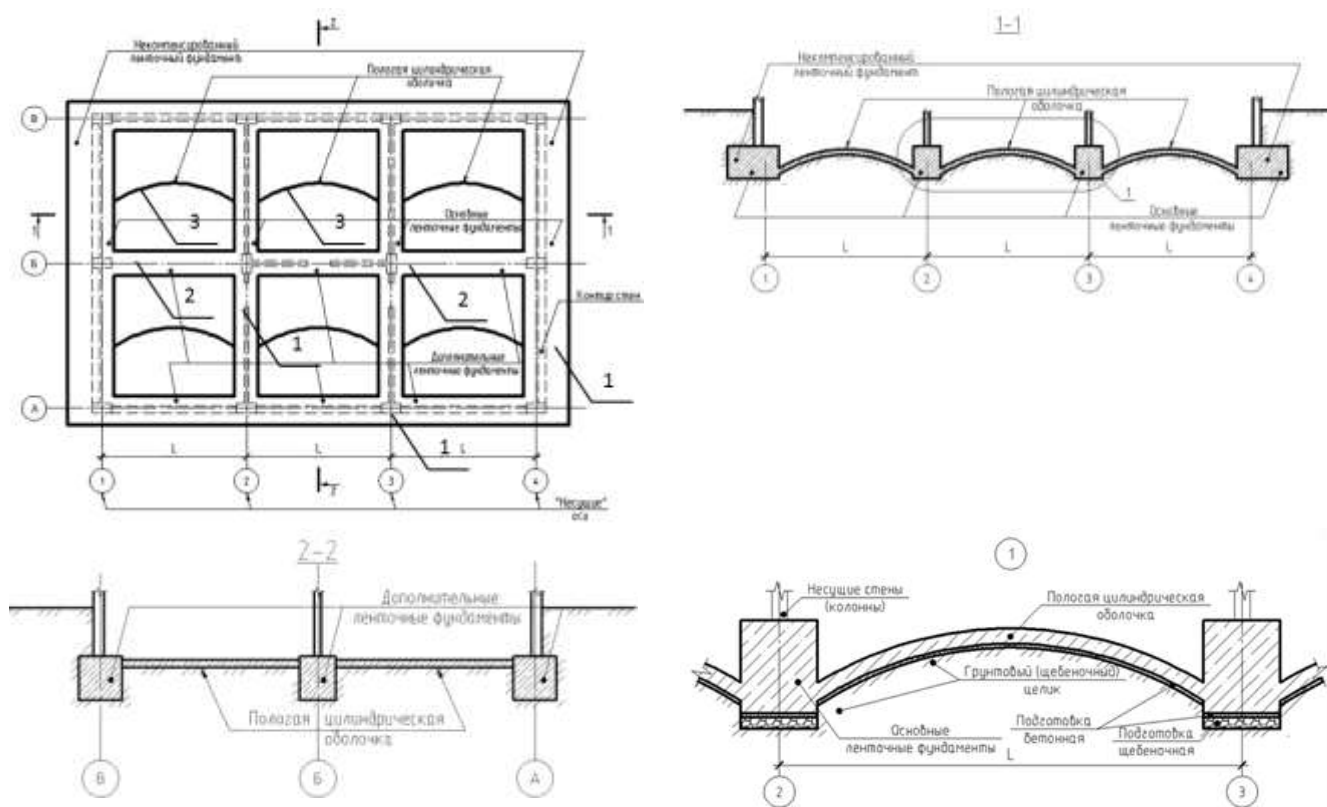


Рисунок 1.6. Ленточный тонкостенно-оболочечный фундамент [84], где 1 - основные ленточные фундаменты (опорные контуры), 2 - дополнительные ленточные фундаменты, 3 – железобетонная тонкостенная оболочка

Основная концепция работы ленточного тонкостенно-оболочечного фундамента заключается в том, что при осадке ленточных основных фундаментов выпуклая вверх полая оболочка обжимает грунт, находящийся под ней, тем самым вовлекая его в работу (рисунок 1.7.) и снижая глубину сжимаемой толщи и общую осадку. При этом в грунте, находящемся под железобетонной оболочкой и заключенном между основными и дополнительными ленточными фундаментами, исключаются горизонтальные перемещения частиц грунта, что снижает деформацию формы и уменьшает неравномерность осадки конструкции, повышает зону линейного деформирования и, как следствие, повышает надежность фундамента.



Рисунок 1.7. Схема работы ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов

Толщина оболочки принимается в пределах $t_{об} = (1/15 \div 1/25)L_1$, м, где L_1 – расстояние между ленточными фундаментами в свету, м. Стрела подъема оболочки принимается в пределах $f = (1/5 \div 1/12)L_1$, м [108].

Технический результат конструкции ЛТОФ состоит в создании альтернативы плитным и ленточным фундаментам эффективных конструкций площадных фундаментов за счет вовлечения в работу максимального объема грунтового основания при помощи железобетонной оболочки с учетом снижения общей материалоемкости и стоимости строительства.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов с грунтовым основанием представлены в [65, 66, 68, 87, 98, 143, 152] и др.

1.1.3 Конструктивное решение ленточно-мембранных фундаментов

Ленточно-мембранный фундамент (ЛМФ) применяется для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, малой и средней этажности (до 5 и до 9 этажей соответственно), преимущественно с регулярным шагом расположения несущих конструкций.

Конструкция ЛМФ (рисунок 1.8.) состоит из [71]:

- основных и дополнительных ленточных фундаментов 2 (опорных монолитных железобетонных контуров), которые, воспринимают нагрузки от вышерасположенных несущих конструкций здания. При этом на опорные контуры передаются случайные эксцентриситеты нагрузки от вышерасположенных конструкций стен и колонн, воздействуя по наружному контуру здания [84];

- сплошной мембраны 1, выполненной из композиционного материала с фиброй (КМФ) стойкого к агрессивным средам, которая объединяет соседние основные ленточные фундаменты в сплошной фундамент и закрепляется по двум сторонам вдоль образующих в опорных монолитных железобетонных контурах. Мембрана воспринимает растягивающие усилия;

- криволинейного цилиндрического естественного или искусственного основания 3 для укладки мембраны;

- прокладки из полимерной пленки (ПВХ труба) 4, укладываемой в местах примыкания мембраны к подошве продольных ленточных фундаментов, необходимой для обеспечения скольжения мембраны относительно углов опорного контура, предотвращающей преждевременный износ и разрыв мембраны.

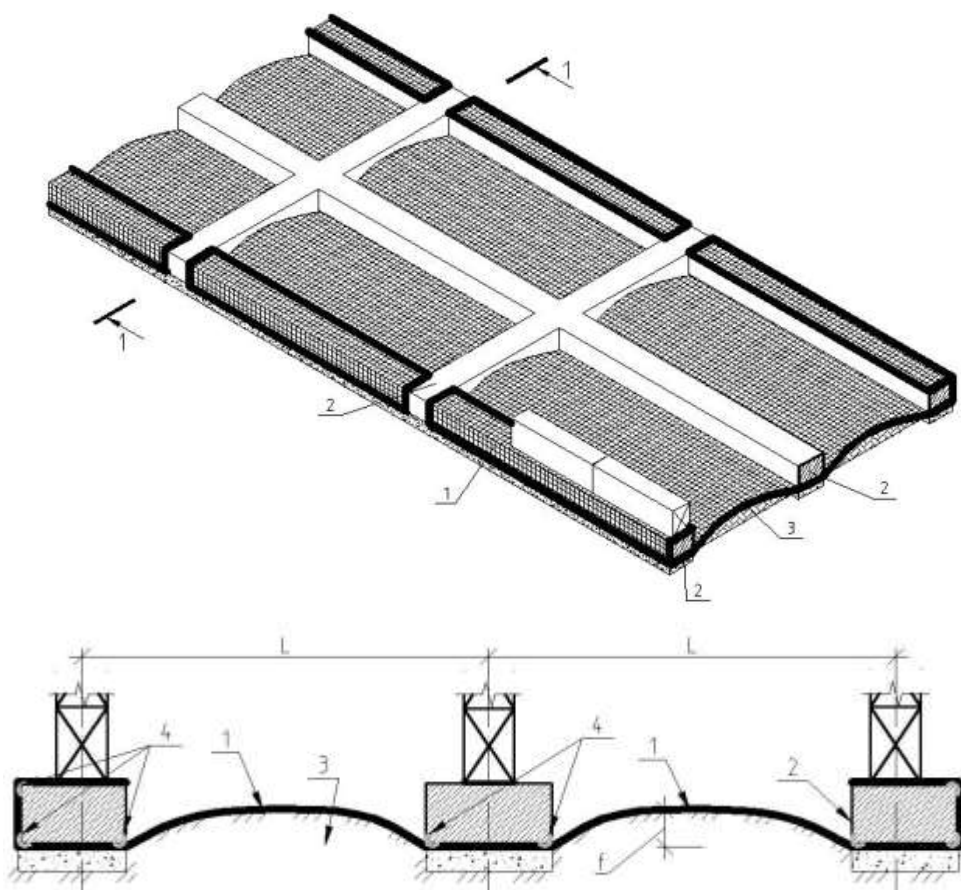


Рисунок 1.8. ЛМФ, где 1 - мембрана из высокопрочного материала с фиброй КМФ (2 слоя); 2 - основной и дополнительный ленточный фундамент; 3 - грунтовое (щебеночное) основание; 4 - поливинилхлоридная труба [71]

Технический результат конструкции ЛМФ состоит в создании альтернативы плитным и ленточным фундаментам эффективных конструкций площадных фундаментов за счет вовлечения в работу максимального объема грунтового основания при помощи высокопрочной мембраны с учетом снижения общей материалоемкости и веса фундамента и стоимости его строительства.

Особенностью конструкции ЛМФ по сравнению с ленточными тонкостенно-оболочечными фундаментами является применение в качестве растягивающегося элемента в пролетной части мембраны из высокопрочного материала с фиброй, являющейся альтернативной заменой железобетонной оболочки, исключающей появление трещин в бетоне оболочки, работающей на растяжение.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия ленточно-мембранных фундаментов с грунтовым основанием представлены в [26, 34, 35, 85, 88, 142] и др.

Так же известны другие разновидности ленточно-оболочечных фундаментов мелкого и глубокого заложения в том числе:

Бинарный фундамент-оболочка (БФО) применяется для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, средней и повышенной этажности, преимущественно с регулярным шагом расположения несущих конструкций.

Конструкция БФО запатентована и описана в [72 – 74, 83, 84].

Особенностью конструкции многоволнового бинарного оболочечного фундамента по сравнению с ленточно-мембранными фундаментами является наличие железобетонной оболочки, а по сравнению с ленточными тонкостенно-оболочечными фундаментами является наличие композиционной мембраны с фиброй, обеспечивающей шарнирное сопряжение опорных ребер. Таким образом, несущая мембрана натягивается по поверхности железобетонной оболочки и происходит вовлечение в работу грунта, находящегося в подоболочечном пространстве. При этом ленточные опорные несущие фундамента и пролетная часть работают совместно, преобразуясь в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия бинарных фундаментов-оболочек с грунтовым основанием представлены в [67, 74, 83] и др.

Свайно-оболочечный фундамент применяется для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, до 25 этажей. Конструкция свайно-оболочечного фундамента описана и запатентована [80].

Технический результат конструкции свайно-оболочечного фундамента [80] заключается в повышении несущей способности свайного фундамента и снижении величины осадок зданий за счет уплотнения искусственного подоболочечного массива, выполненного из минерального камня, путем его опрессовки под давлением цементно-песчаным раствором. За счет опрессовки подоболочечного массива фундамента повышается жесткость фундамента, повышается несущая способность свай, при общем уменьшении количества свай, перераспределяются внутренние усилия. За счет монолитного ростверка по оголовкам свай и работы оболочечной части фундамента выравниваются деформации всего сооружения в целом, снижается материалоемкость устройства ростверка за счет уменьшения расхода бетона и стали.

Особенностью конструкции свайно-оболочечного фундамента является улучшение физико-механических характеристик искусственного подоболочечного массива за счет его опрессовки цементно-песчаным раствором, при этом ленточные ростверки, объединенные цилиндрическими оболочками, преобразуются в сплошную плиту-ростверк с переменной изгибной жесткостью.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия свайно-оболочечных фундаментов с грунтовым основанием представлены в [48, 76, 94, 110, 111, 114, 136, 151] и др. Технология устройства фундаментов представлена в [21, 23, 24, 44, 46] и др.

Осесимметричный оболочечный фундамент применяется для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, средней и повышенной этажности, преимущественно с регулярным шагом расположения несущих конструкций.

Конструкция осесимметричного оболочечного фундамента описана и запатентована [74, 84].

Технический результат конструкции осесимметричного фундамента состоит в создании альтернативы плитным и ленточным фундаментам эффективных конструкций площадных фундаментов за счет вовлечения в работу максимального объема подоболочечного массива при помощи несущих радиальных и кольцевых лент с учетом снижения общей материалоемкости и стоимости его строительства.

Особенностью конструкции осесимметричного фундамента по сравнению с ранее перечисленными конструкциями оболочечных фундаментов является применение в качестве растягивающегося элемента в пролетной части несущих радиальных и кольцевых лент из высокопрочного материала, а так же использования бетонной оболочки положительной Гауссовой кривизны.

Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия осесимметричных фундаментов с грунтовым основанием представлены в [6, 63, 72, 73, 95, 145, 148, 149] и др.

1.1.4 Классификация ленточно-оболочечных фундаментов

На основании проведенного анализа конструктивных решений фундаментов с криволинейной выпуклой вверх формой контактной поверхности, создана классификация по существенным признакам. Материал п.1.1.4 изложен автором в статье [125].

Классификация фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности:

1. По назначению:

1.1 фундаменты зданий – применяются для зданий с каркасной и бескаркасной конструктивной схемой, малой, средней и повышенной этажности, преимущественно с регулярным шагом расположения несущих конструкций. К фундаментам зданий, в зависимости от нагрузки, этажности и грунтовых условий, относятся такие фундаменты с криволинейной формой контактной поверхности, как ленточно-тонкостенные оболочечные фундаменты (ЛТОФ) [47] (рис. 1.9. а),

ленточно-мембранные фундаменты (ЛМФ), бинарные фундаменты, осесимметричные фундаменты, свайно-оболочечные фундаменты. Фундамент представляет собой систему из несущих опорных конструкций, воспринимающих нагрузки от вышерасположенных несущих конструкций стен и колонн и объединяющей их гибкой конструкции, выполненной по выпуклому вверх пологому основанию.

1.2 фундаменты сооружений – применяются для сооружений башенного типа [63]. К фундаментам сооружений относят отдельно стоящие осесимметричные пологие фундаменты-оболочки (рис. 1.9. б) [95]. Как правило, фундамент сооружений состоит из несущего опорного кольца и пролетной части, выполненной по выпуклому вверх пологому основанию.



Рисунок 1.9. Виды оболочечных фундаментов по назначению:

а) ленточно-тонкостенный оболочечный фундамент зданий

б) осесимметричный фундамент сооружений

2. По геометрической форме поверхности оболочки (по очертанию срединной поверхности) [106]:

2.1 оболочки нулевой Гауссовой кривизны – как правило, длинные или короткие цилиндрические пологие оболочки с соотношением стрелы подъема к пролету $\frac{f}{L} \leq \frac{1}{12}$ и соотношением высоты сечения к пролету $\frac{h}{L} \leq \frac{1}{60}$;

2.2 оболочки положительной Гауссовой кривизны – как правило, длинные или короткие цилиндрические пологие оболочки, либо осесимметричные пологие оболочки, очерченные по поверхностям вращения с вертикальной осью с соотношением стрелы подъема к пролету $\frac{f}{L} \leq \frac{1}{8}$ и соотношением высоты сечения к пролету $\frac{h}{L} \leq \frac{1}{150}$.

3. По конструктивному типу оболочки:

3.1 осесимметричная пологая оболочка – тонкостенная оболочка, армированная по радиальной и кольцевой схеме при соотношении $f/L_1 = 1/8$, толщина оболочек принимается в пределах $t_{об} = (1/15 \div 1/25)L_1$, м. (рис. 1.10. а) [95];

3.2 цилиндрическая полая оболочка - тонкостенная оболочка, закрепленная по двум сторонам вдоль образующих в основных ленточных фундаментах, толщина оболочек принимается в пределах $t_{об} = (1/15 \div 1/25)L_1$, м. Стрела подъема оболочек назначается в пределах $f = (1/5 \div 1/12)L_1$, м (рис. 1.10. б) [96].

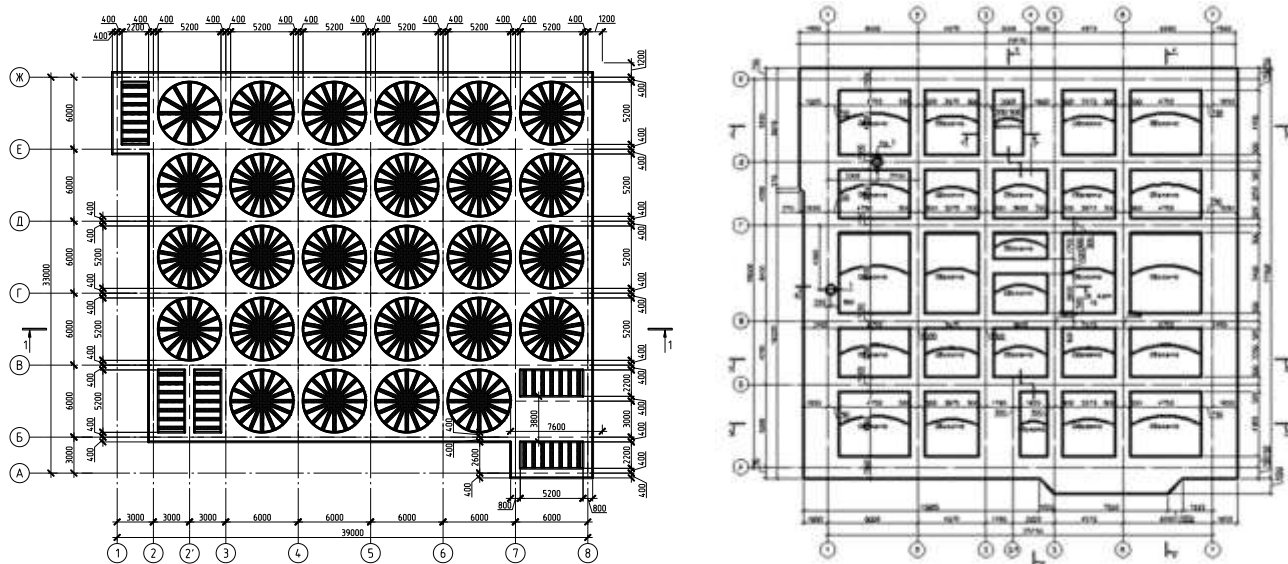


Рисунок 1.10. Виды оболочечных фундаментов по конструктивному типу оболочек:

а) план осесимметричного оболочечного фундамента

б) план цилиндрического оболочечного фундамента

4. По глубине заложения:

4.1 фундаменты мелкого заложения – при среднем давлении на основание до 300 кПа, в грунтовых условиях: 1) $200 \text{ кПа} < R_0 < 350 \text{ кПа}$, $10 \text{ МПа} < E < 20 \text{ МПа}$; 2) $R_0 < 200 \text{ кПа}$, $5 \text{ МПа} < E < 10 \text{ МПа}$ [108] (рис.1.11 а) [43];

4.2 фундаменты глубокого заложения – при среднем давлении на основание до 450 кПа в грунтовых условиях: 1) $150 < R_0 < 250 \text{ кПа}$, $10 < E < 20 \text{ МПа}$; 2) $R_0 < 200 \text{ кПа}$, $5 < E < 10 \text{ МПа}$ (рис.1.11 б) [114].

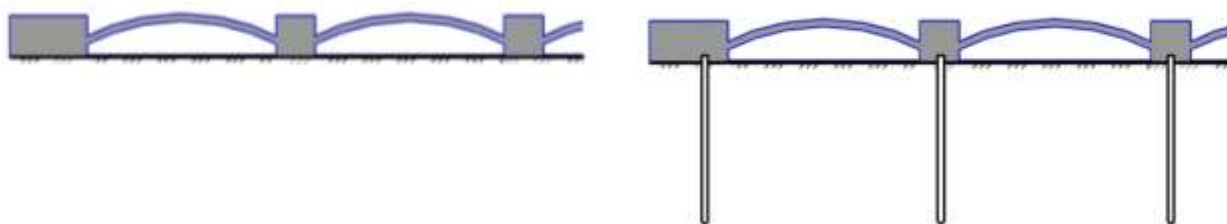


Рисунок 1.11. Виды оболочечных фундаментов по глубине заложения:

а) оболочечный фундамент мелкого заложения

б) оболочечный фундамент глубокого заложения

5. По системному типу оболочки:

5.1. одинарная железобетонная оболочка, выполненная из конструкционного тяжелого бетона средней плотности от 2200 кг/м^3 до 2500 кг/м^3 включительно (рис.1.12. а) [96].

5.2. бинарная бетонная или железобетонная оболочка, несущим элементом которой является мембрана (ленты), выполненная из композиционного материала с фиброй, укладываемая поверх оболочки и замоноличенная в основные опорные контуры (рис. 1.12. б) [88].

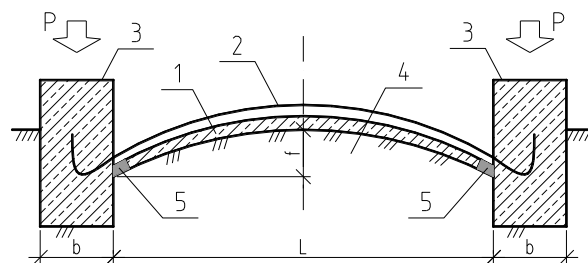
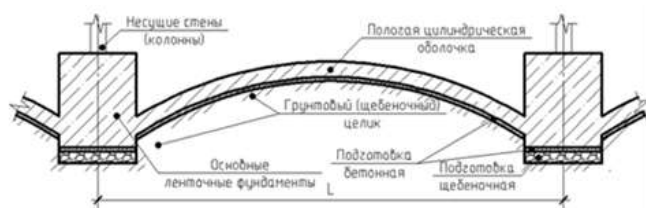


Рисунок 1.12. Виды оболочечных фундаментов по системному типу оболочек:

а) одинарная оболочка

б) бинарная оболочка: 1 - армированная бетонная оболочка, 2 – несущая мембрана, 3 – опорный контур, 4 – грунтовое основание, 5 – упругая прокладка.

6. По виду несущего материала пролетной части фундамента:

6.1. бетонная или железобетонная оболочка – бетон класса В20-В30, арматура класса А300-А500 (рис. 1.13. а) [19].

6.2. мембрана из композиционного материала с фиброй – холст, геосетка, ламинат и др. (рис. 1.13 б) [35].

6.3. высокопрочные ленты – стеклянные, арамидные, угольные и другие волокна высокой прочности и с высоким модулем упругости.

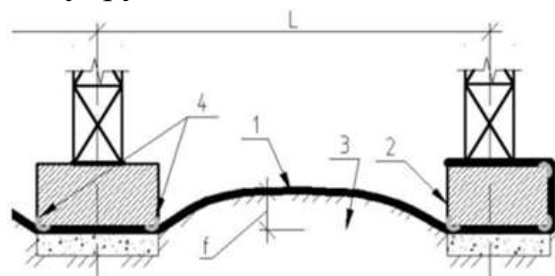
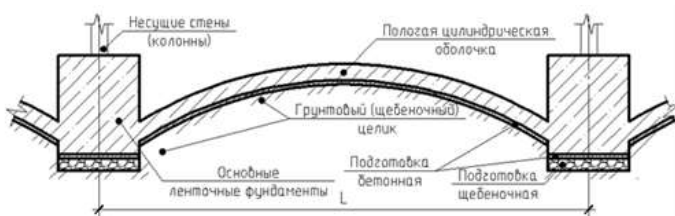


Рисунок 1.13. Виды фундаментов по материалу оболочечной части

а) железобетонный оболочечный фундамент

б) мембранный фундамент: 1 – мембрана, 2 – опорный контур, 3 – грунтовое основание, 4 - ПВХ труба.

7. По виду армирования:

7.1. стальная арматура – гладкая арматура класса А240, арматура периодического профиля классов А300; А400 (А400С); А500 (А500С, А500СП); В500 (Вр-I, В500С) [67];

7.2. композиционный материал – волокна из углерода, арамида, базальта и стекла [11, 42, 88].

8. По виду подоболичечного массива:

8.1 естественное – формирование «грунтовых целиков» без разрушения естественной структуры грунта (рис. 1.14. а).

8.2. искусственное – отсыпка основания из гравия, щебня и др. (рис.1.14. б).

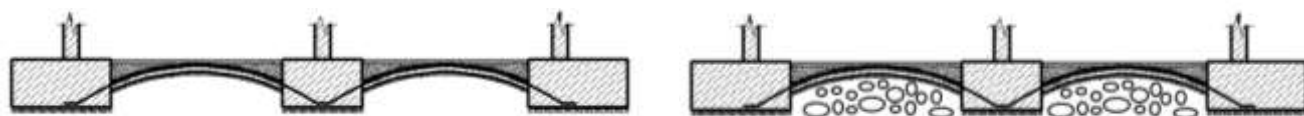


Рисунок 1.14. По виду подоболочечного пространства

- а) фундамент на естественном основании б) фундамент на искусственном основании

Искусственная классификация содержит упорядоченные группы, по которым распределены объекты ленточно-оболочечных фундаментов с выпуклой вверх по отношению к грунту пролетной части на основании их сходства в определенных свойствах. Классификация составлена на основании патентного поиска и анализа патентов [68-69, 71-74, 76-80], изучения и анализа научно-исследовательских работ различных авторов [24, 34, 63, 67, 83, 84, 87, 99, 110], а так же изучения практического опыта строительства фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности в Тюменской области [4, 43, 48, 59, 86, 90, 97].

Общая классификация ленточно-оболочечных фундаментов представлена на рис.1.15.



Рисунок 1.15. Классификация ленточно-оболочечных фундаментов с выпуклой вверх формой контактной поверхности в пролетной части

1.2. Технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов

Технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов должна выполняться с учетом требований СП 48.13330 «Организация строительства», СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции», СП 22.13330.2016 [104], СП 52-101-2003 [105], СП 52-117-2008* [106], СП 63.13330.2018 [107], Стандарт организации СТО СРОП 001-2015 «Требования к проектированию и устройству ленточно-оболочечных фундаментов» [108], [61] при наличии разработанного и согласованного ПОС и ППР, содержащего современные конструктивно-технологические решения [33, 62], направленные на снижение трудоемкости и продолжительности работ [13, 32, 53, 54]. Работы по устройству фундаментов включают: подготовительные, земляные, опалубочные, арматурные, бетонные и другие работы, связанные с конструктивными особенностями возводимого фундамента. До начала разработки котлована должны быть выполнены следующие работы: разбивка котлована; планировка территории и отвод поверхностных и подземных вод; разборка или перенос попадающих в пятно застройки наземных и подземных коммуникаций или сооружений; ограждение котлована (в необходимых случаях).

Согласно нормам и разработанным техническим решениям рекомендуется применять следующие материалы [93, 108]:

- бетон: классы по прочности на сжатие: В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; марки по морозостойкости: F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; марки по водонепроницаемости: W6; W8; W10; W12;

- арматура: гладкая арматура класса А240; арматура периодического профиля классов А300; А400 (А400С); А500 (А500С, А500СП); А600; В500 (Вр-I, В500С); Вр500;

- щебень: для щебеночной подготовки фр.20-40 (допускается 40-70); для щебеночных целиков фр. 10-20 (допускается 20-40).

1.2.1 Технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов

Конструкция ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов (ЛТОФ) занимает основную нишу среди фундаментов с выпуклой вверх криволинейной формой контактной поверхности. Технология и организация устройства ЛТОФ более подробно рассмотрена [20, 22, 43, 47, 96, 97, 108, 113, 116-119].

Работы по устройству ЛТОФ следует выполнять в следующей последовательности:

1) производятся подготовительные работы по организации и обустройству строительной площадки, согласно ПОС и ППР;

2) производится срезка растительного слоя и планировка территории бульдозером;

3) производится разработка грунта в котловане экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата» (рис.1.16, а), до отметки, соответствующей верху подболовочного грунтового основания с учетом недобора грунта, необходимого для формирования проектной кривизны грунтового целика вручную;

4) производится разработка грунта вдоль осей здания в траншеях экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», предназначенных для последующего устройства монолитных железобетонных опорных контуров (рис.1.16, б);

а)



б)



Рисунок 1.16. Технология выполнения земляных работ: а) разработка грунта в котловане; б) разработка грунта в траншеях под опорные контуры

5) в случае необходимости производится водоотвод при помощи устройства водоотводящих канав (рис.1.17), либо устройство водопонижения с использованием установок ЛИУ-5 и ЛИУ-6 [108];



Рисунок 1.17. Разработка грунта в котловане с обустройством водоотвода

б) производят вручную или средствами малой механизации зачистку дна

траншей;

7) выполняют вручную при помощи совковых и штыковых лопат формирование грунтового целика с условием ненарушения естественной структуры грунта (рис.1.18). Для обеспечения точности проектных геометрических размеров и конфигурации грунта, а так же обеспечения качества основы под железобетонную оболочку, вдоль оболочек натягивают шнуры-причалки и устанавливают маячные лекала [108];



Рисунок 1.18. Ручная планировка основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента

8) производят щебеночную и бетонную подготовку под опорные контуры фундамента (рис.1.19);



Рисунок 1.19. Щебеночная подготовка под ленточные части фундамента

9) с торцевой стороны и вдоль грунтовых целиков устанавливают опалубочные конструкции из фанеры (рис.1.20);



Рисунок 1.20. Устройство опалубочных конструкций

10) выполняют бетонирование основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента тощим бетоном с целью закрепления основания и предотвращения расструктурирования подбололочного грунтового целика во время бетонирования оболочки (рис.1.21), так же выполняют бетонирование тощим бетоном основания под опорные контуры;



Рисунок 1.21. Подготовка тощим бетоном

11) выполняют армирование фундамента (рис.1.22), для железобетонных оболочек арматуру по заданному радиусу гнут в условиях строительной площадки;



Рисунок 1.22. Армирование фундамента

12) производят совместное бетонирование опорных контуров и оболочки (рис.1.23) с уплотнением глубинными и поверхностными вибраторами;



Рисунок 1.23. Бетонирование ленточной и оболочечной частей фундамента

- 13) производят возведение вышерасположенных конструкций здания;
- 14) выполняют наружную гидроизоляцию фундамента и стен подвала;
- 15) производят обратную засыпку пазух котлована непучинистым грунтом с послойным уплотнением.

1.2.2 Технология устройства ленточно-мембранных фундаментов

Конструкция ленточно-мембранных фундаментов отличается от конструкции ленточного тонкостенно-оболочечного фундамента отсутствием железобетонной оболочки и наличием несущей мембраны, выполненной из композиционных материалов с фиброй.

Технология устройства ленточно-мембранных фундаментов предусматривает выполнение следующих технологических операций [34, 71, 108]:

1) производятся подготовительные работы по организации и обустройству строительной площадки, согласно ПОС и ППР;

2) производится срезка растительного слоя и планировка территории бульдозером;

3) производится разработка котлована:

3а) в случае производства работ по естественному грунтовому основанию в подбололочечной части фундамента, производится разработка грунта в котловане

экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата» (рис.1.16, а), до отметки, соответствующей верху подбололочечного грунтового основания с учетом недобора грунта, необходимого для формирования проектной кривизны грунтового целика вручную [108];

3б) в случае производства работ по искусственному основанию в подбололочечной части фундамента, производится разработка грунта в котловане экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», до отметки, соответствующей низу щебеночной подготовки с учетом недобора грунта;

4) в случае производства работ по естественному грунтовому основанию в подбололочечной части фундамента, производится разработка грунта вдоль осей здания в траншеях экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», предназначенных для последующего устройства монолитных железобетонных опорных контуров;

5) в случае необходимости производится водоотвод при помощи устройства водоотводящих канав, либо устройство водопонижения с использованием установок ЛИУ-5 и ЛИУ-6 [108];

6) производят вручную или средствами малой механизации зачистку дна траншей;

7) выполняют планировку основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента:

7а) в случае производства работ по естественному грунтовому основанию в подбололочечной части фундамента, вручную при помощи совковых и штыковых лопат выполняют планировку основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента с условием не нарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой;

7б) в случае производства работ по искусственному основанию в подбололочечной части фундамента, производят отсыпку минеральных материалов и формирование вручную основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента;

8) на основание производят укладку мембраны через прокладки, состоящие из двух слоев материала, скользящих относительно друг друга;

9) одновременно в местах примыкания мембраны к подошве продольных ленточных фундаментов производят укладку прокладок из полимерной пленки, необходимых для обеспечения скольжения мембраны относительно углов опорного контура, предотвращающих преждевременный износ и разрыв мембраны;

10) устанавливают опалубочные конструкции из фанеры на всю высоту опорных контуров;

11) выполняют армирование опорных контуров;

- 12) производят бетонирование опорных контуров одновременно с уплотнением глубинными вибраторами;
- 13) производят прикрепление мембраны в поперечном направлении к опорному контуру;
- 14) производят возведение вышерасположенных конструкций здания;
- 15) выполняют наружную гидроизоляцию фундамента и стен подвала;
- 16) производят обратную засыпку пазух котлована.

Другие технологические решения:

Технология устройства *бинарных фундаментов-оболочек* описана в работах [67, 76].

Технология устройства *свайно-оболочечных фундаментов* описана в работах [21, 23, 24, 44-46, 48, 76, 79, 89, 91].

Технология устройства *осесимметричных фундаментов* описана в работе [63].

1.2.3 Практика строительства объектов с ленточно-оболочечными фундаментами в Тюменской области

За последние десять лет в Тюменской области строительство жилых объектов набирает большие темпы. Тюменская область вошла в число лидеров по вводу жилья на каждого жителя региона по итогам 2020 года - построено более 1 кв. м жилья на каждого жителя. Это позволило региону, занять место в шестерке лидеров. На первом месте рейтинга - Ленинградская область, где на одного жителя было введено 1,415 кв. м. Плановый показатель для Тюменской области на 2021 год составляет 1 млн. 560 тыс. кв. м жилой площади.

Строительство развивается за счет наличия крупных строительных компаний, наличия крупных заводов по изготовлению сборных железобетонных изделий и выпуску товарного бетона, г. Тюмень является центром для нефтяных и газовых компаний. Развивается строительная отрасль и вместе с ней приходят современные строительные материалы и современные строительные конструкции, применяемые для строительства многоэтажных жилых домов. Опираясь на научно-исследовательские работы по анализу устройства [60], опыту строительства [101], способам возведения [75] различных видов фундаментов возникает необходимость возведения принципиально новых конструкций фундаментов. Устройство ЛОФ обусловлено особенностью инженерно-геологических условий, современными тенденциями строительства, сокращением материальных ресурсов, экономической эффективностью. Ленточно-оболочечные фундаменты были запроектированы, а здания введены в эксплуатацию в таких жилых микрорайонах (рис.1.24), как ЖК «Ямальский-2», ЖК «Акварель», ЖК

«Соседи», ЖК «Ожогина», ЖК «Апрель», а так же в других городах – Ялуторовске, Ишиме, Новом Уренгое, Коротчаево (ЯНАО), Тобольске (Тюменская область).

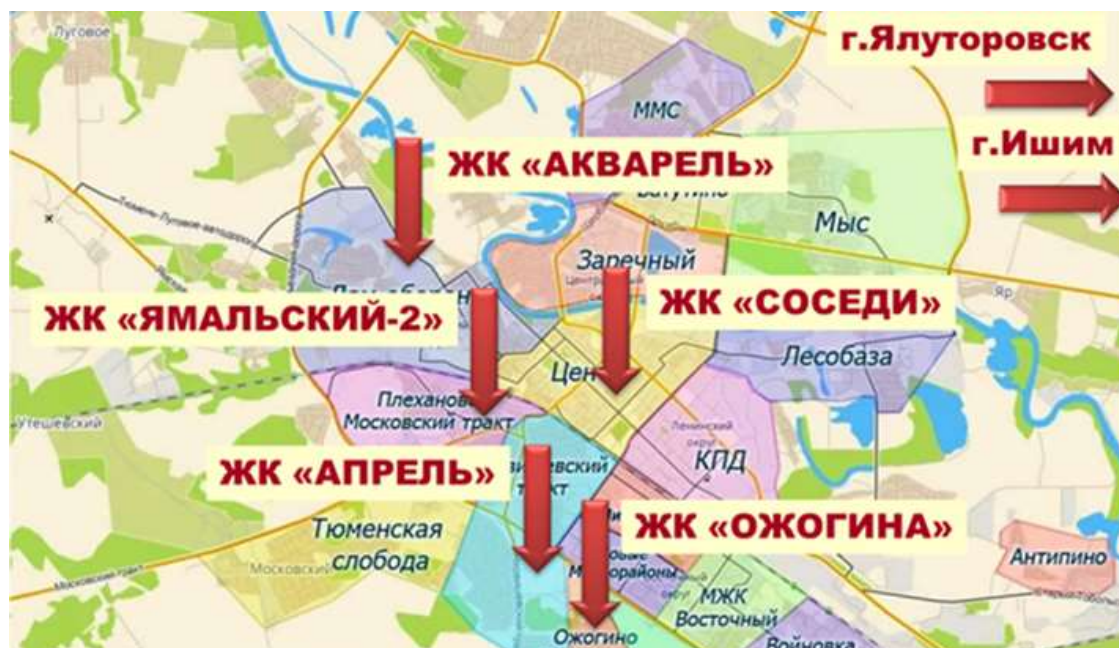


Рисунок 1.24. Территориальное расположение жилых объектов с ЛОФ

Ленточно-оболочечный фундамент представляет собой конструкцию, являющуюся альтернативой плитному фундаменту, имеющей преимущество в сокращении объема бетонирования при увеличении несущей способности фундамента и, как следствие, уменьшающей экономические затраты на возведение конструкции фундамента [88, 90, 126, 133].

Примером строительства ленточно-оболочечного фундамента является фундамент 17-этажного двухсекционного монолитно-каркасного здания (ГП-8) (рис.1.25), габаритные размеры в осях фундаментов $45,11 \times 14,51$ м (рис.1.26), расположенного в границах улиц Губернская – Закалужская – Московский тракт в г. Тюмени в составе ЖК «Ямальский-2» [43, 47, 86, 96, 97, 132].



Рисунок 1.25. Жилой дом ГП-8 в ЖК «Ямальский-2»

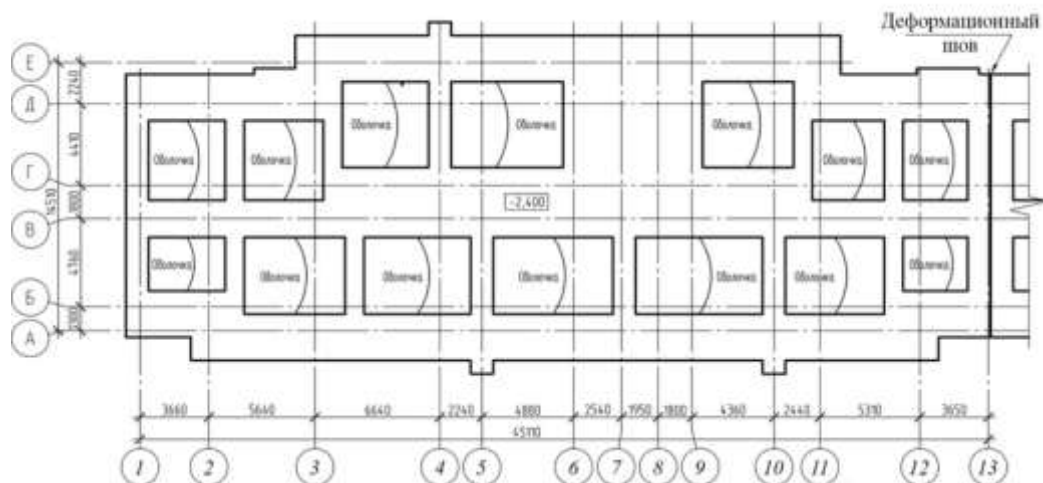


Рисунок 1.26. План ленточно-оболочечного фундамента ГП-8 в ЖК «Ямальский-2» [Проект разработан ООО «Геофонд+»].

Схожая конструкция фундамента была применена при строительстве трех трехэтажных домов в г. Ялуторовске (Тюменская область) по ул.Северная (ГП-2.1, ГП-2.2, ГП-2.3) (рис.1.27), габаритные размеры в осях фундаментов $38,92 \times 12,7$ м (рис.1.28), высота оболочки $t_{об}=100$ мм, высота опорных контуров $h_{ок}=500$ мм.



Рисунок 1.27. Жилой дом ГП-2.1 в г. Ялуторовске

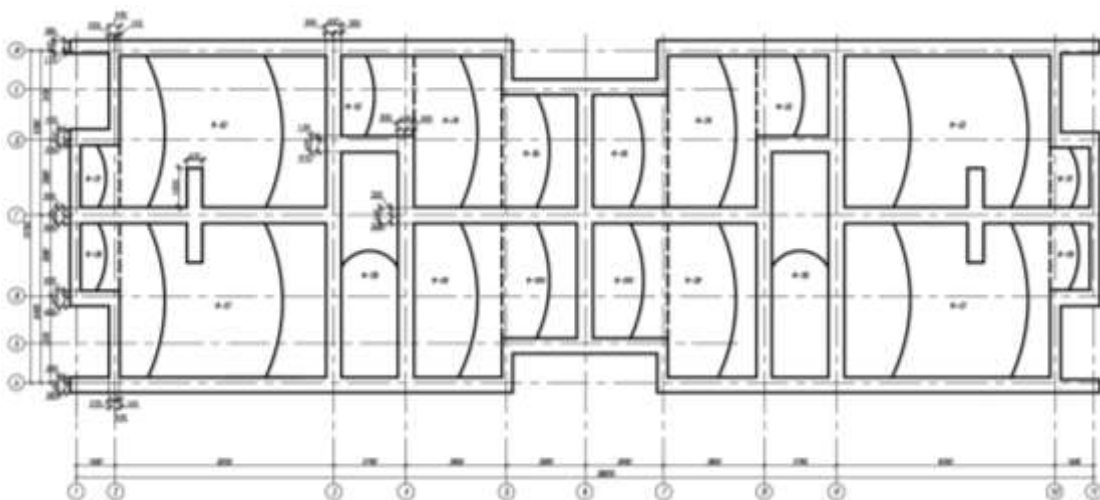


Рисунок 1.28. План ленточно-оболочечного фундамента ГП-2.1 в г.Ялуторовске [Проект разработан ООО «Геофонд+»].

Так же опыт возведения фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности был реализован при строительстве трех 22-этажных монолитно-каркасных зданий (ГП-1.1, ГП-1.2, ГП-1.3) (рис.1.29), габаритные размеры в осях ленточно-оболочечных фундаментов $25,75 \times 26,0$ м (рис.1.30), расположенных по ул.Таврическая в г. Тюмени в составе ЖК «Акварель».



Рисунок 1.29. Жилые дома ГП-1.1, ГП-1.2, ГП-1.3 в ЖК «Акварель»

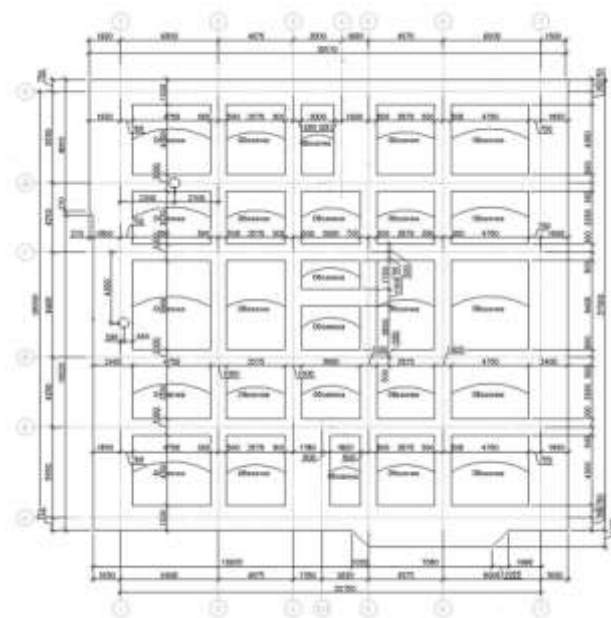


Рисунок 1.30. План ленточно-оболочечного фундамента ГП-1.1 в ЖК «Акварель» [Проект разработан ООО «Геофонд+»]

Выполненные на указанных объектах ленточно-оболочечные фундаменты, состояли из монолитных железобетонных опорных контуров (лент), расположенных вдоль несущих осей и железобетонной оболочки (гибкого элемента), сформированной в пролетах между участками нагружения. Толщина лент составила 1,2 м, оболочек 0,2 м. Армирование оболочечной части представлено однослойной сеткой (класс А500С), бетонирование - бетон класса В25, В30 [90].

В ЖК «Апрель», расположенном западнее д. Ожогина в границах улиц Федюнинского - Червишевский тракт - граница кооператива «Южный», возведен четырехэтажный жилой дом ГП-1.1. (рис.1.31), габаритные размеры в осях ленточно-оболочечного фундамента $14,0 \times 71,79$ м (рис.1.32). Конструкция данного фундамента отличается от предшествующих тем, что оболочка выполнена осесимметричной, а не полой.



Рисунок 1.31. Жилой дом ГП-1.1 в ЖК «Апрель»

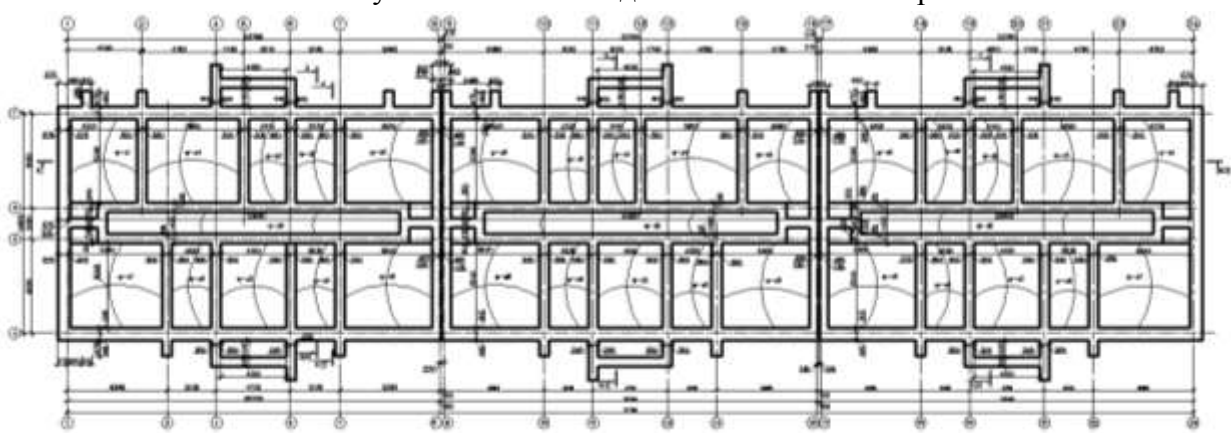


Рисунок 1.32. План осесимметричного ленточно-оболочечного фундамента ГП-1.1 в ЖК «Апрель» [Проект разработан ООО «Геофонд+»].

Ленточно-оболочечный фундамент в ЖК «Ожогина», габаритные размеры которого в осях $13,0 \times 38,27$ м (рис.1.33) представлен комбинацией пологих (в осях А-В; В-Г) и осесимметричных (в осях Г-Е) оболочек, объект расположен по адресу г.Тюмень ул.Федюнинского, ГП 1.7 (рис.1.34).



Рисунок 1.33. Жилой дом ГП-1.7 в ЖК «Ожогина»

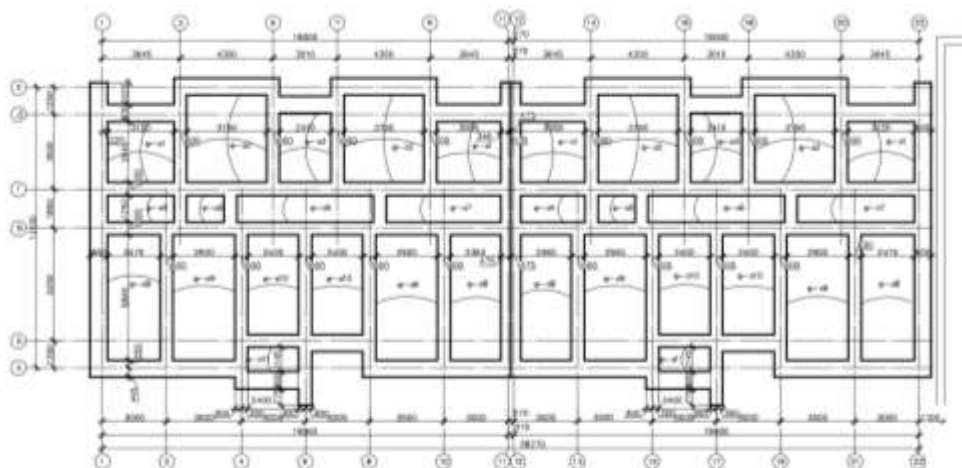


Рисунок 1.34. План комбинированного ленточно-оболочечного фундамента ГП-1.7 в ЖК «Ожогина» [Проект разработан ООО «Геофонд+»].

В г. Ишим по ул. Просвещения построен пятиэтажный жилой дом со встроенными нежилыми помещениями на 1 и подвальном этажах (рис.1.35), габаритные размеры в осях ленточно-мембранного фундамента $12,720 \times 50,225$ м (рис.1.36).



Рисунок 1.35. Жилой дом в г. Ишиме

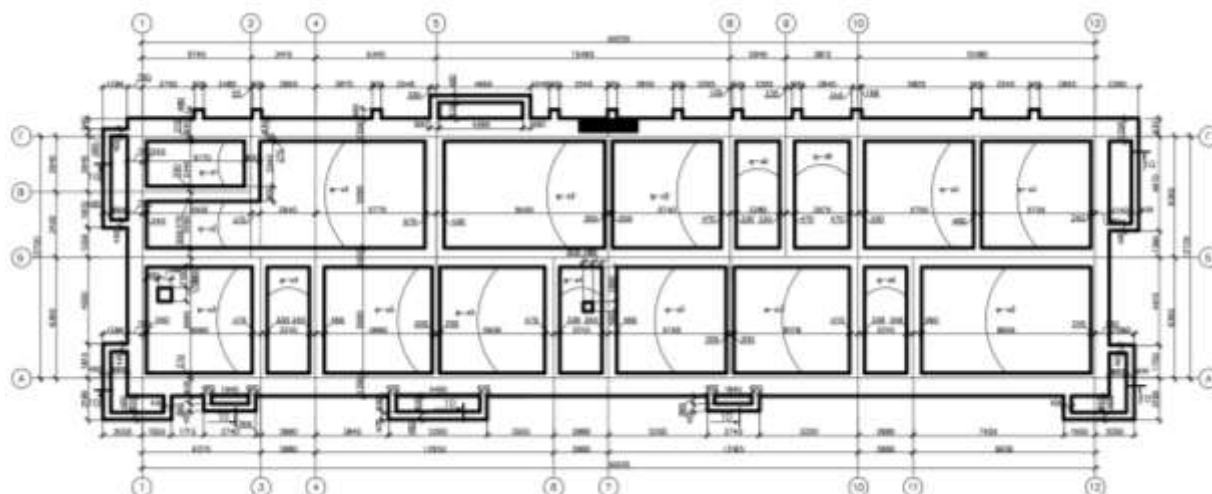


Рисунок 1.36. План ленточно-мембранного фундамента в г. Ишиме [Проект разработан ООО «Геофонд+»]

Так же построены трехэтажные жилые дома с устройством фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности в г. Новый Уренгой и г. Коротчаево (ЯНАО), в г. Тобольск (Тюменская область).

Всего в Тюменской области за последние годы возведено порядка 23 зданий с применением конструкции ленточно-оболочечных фундаментов, что подтверждает актуальность исследования. Наблюдения за ходом строительства фундаментов на различных объектах позволили сформировать список факторов, влияющих на качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, а так же выделить ряд технологических сложностей, возникающих в процессе производства работ.

1.3. Анализ трудоемкости возведения ленточно-оболочечных фундаментов

1.3.1. Факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов

Устройство фундаментов ЛТОФ и ЛМФ в первую очередь обусловлено сложностью производства работ, связанной с формированием выпуклой вверх по отношению к грунту формы криволинейной контактной поверхности, которая служит основанием для устройства железобетонной оболочки или натяжения мембраны из высокопрочного материала с фиброй. Криволинейная форма контактной поверхности может быть двух типов: естественная (из грунта с не нарушением его структуры) и искусственная (как правило, выполненная из минеральных материалов).

При формировании естественной криволинейной формы контактной поверхности можно выделить следующие факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства фундаментов:

1) климатические и погодные условия: при ненастной погоде с проливным дождем формирование криволинейной формы контактной поверхности из грунта становится невозможным из-за размягчения, размыва грунта и нарушения его естественной структуры;

2) вид грунта: формирование криволинейной формы контактной поверхности из сыпучего грунта осложняется созданием заданной проектной геометрической формы грунтового целика за счет небольшого угла естественного откоса;

3) группа грунта по трудности разработки: при работе с четвертой группой грунта при формировании грунтовых целиков вручную при помощи штыковых и совковых лопат длительность производства работ и трудоемкость будут увеличены, по сравнению с такой же работой при первой группе грунта;

4) квалификация и опыт рабочих: сроки и качество устройства фундаментов напрямую зависят от квалификации рабочих и их практического опыта работы с формированием криволинейных форм грунтового основания;

5) степень механизации формирования грунтовых целиков: формирование грунтовых целиков производится вручную при помощи штыковых и совковых лопат по лекалам и шнурам, что не исключает неточностей (недоборов и переборов грунта), не соответствующих проектным данным, а так же ручное формирование является трудоемким и длительным процессом;

При формировании искусственной криволинейной формы контактной поверхности так же выделяют аналогичные факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства фундаментов:

1) квалификация и опыт рабочих: сроки и качество устройства фундаментов напрямую зависят от квалификации рабочих и их практического опыта работы с формированием криволинейных форм искусственного основания;

2) степень механизации формирования искусственных целиков: формирование грунтовых целиков производится вручную при помощи штыковых и совковых лопат по лекалам и шнурам, что не исключает неточностей (недоборов и переборов минерального материала), не соответствующих проектным данным, так же ручное формирование является трудоемким и длительным процессом.

Аналитический материал по определению факторов, влияющих на качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, представлен в работах автора (в том числе в соавторстве) в [27, 126, 135].

1.3.2. Технологические сложности возведения ленточно-оболочечных фундаментов

Наряду с достоинствами известной конструкции ленточно-оболочечных фундаментов можно выделить ряд технологических сложностей, возникающих при устройстве конструкции данного типа:

1) технологические сложности и повышенная трудоемкость разработки грунта, включающая три этапа: 1.1) механизированная разработка котлована до верхней отметки оболочечной части фундамента; 1.2) механизированная разработка траншей под опорные контуры; 1.3) ручное формирование выпуклой вверх по отношению к грунту криволинейной поверхности грунтовых целиков, формирующих подоболочечное пространство;

2) технологические трудности, связанные с производством большого объема ручных земляных работ, выполняемых при формировании грунтового основания под выпуклую вверх оболочку, зависящие от типа естественного основания грунта и его физико-механических свойств;

3) отсутствие средств механизации при формировании криволинейной формы контактной поверхности фундамента;

4) зависимость от климатических условий, в том числе сложность производства работ при атмосферных осадках;

5) зависимость от физико-механических свойств грунта, которые не в полной мере позволяют использовать прочностные характеристики пролетной части фундамента;

6) сложность соблюдения проектной геометрической точности подболоечного массива;

7) повышенные требования к контролю качества и производство тщательного контроля качества выполнения работ;

8) повышенные требования к квалификационному составу и опыту работы рабочих, выполняющих технологические операции по устройству фундамента;

9) дополнительные затраты и перерасход материала при закреплении грунтов тощим бетоном, предотвращающим осыпание грунта;

10) технологические сложности осуществления контроля совместной работы пролетной части фундамента и опорных контуров;

11) технологические сложности осуществления контроля включения в работу подболоечного массива на стадии строительства;

12) технологические сложности контроля включения арматуры оболочечной части фундамента в работу при нагружении фундамента вертикальной нагрузкой;

13) технологические сложности создания геометрически правильной тонкостенной железобетонной оболочки «серповидного» сечения, качество которой напрямую зависит от качества поверхности подболоечного массива.

Анализ факторов, влияющих на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, и анализ технологических сложностей возведения конструкций фундаментов данного типа, позволил определить круг задач диссертационной работы, представленных во Введении.

1.4. Технико-экономическое сравнение ленточно-оболочечных и сплошных плитных фундаментов

Известно, что конструкция ленточно-оболочечного фундамента разработана как альтернатива конструкции сплошного плитного фундамента.

В качестве примера технико-экономической эффективности рассмотрено сравнение технологии устройства сплошного плитного фундамента и известного ленточно-оболочечного фундамента (рис.1.37).

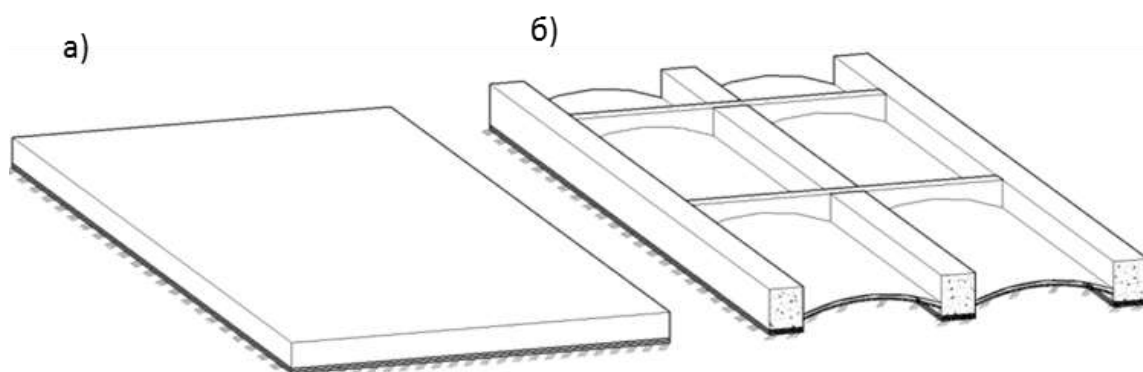


Рисунок 1.37. Общий вид сравниваемых конструкций а) сплошная монолитная ж/б плита; б) ленточно-оболочечный фундамент

Размеры сравниваемых фундаментов представлены в табл.1.1.

Таблица 1.1 - Размеры сравниваемых фундаментов

№ п/п	Параметры фундамента	Сплошной плитный фундамент	Известная технология ЛОФ	Предлагаемая технология ЛОФ
1	Ширина фундамента, м	14	14	14
2	Длина фундамента, м	20	20	20
3	Высота фундамента, м	1,2	-	-
4	Ширина опорных контуров, м	-	1,5 (крайние), 1,0 (средние)	1,5 (крайние), 1,0 (средние)
5	Высота опорных контуров, м	-	1,0	1,0
6	Высота подоболочечного массива, м	-	1,1	1,1

На основании расчетов локальных смет по двум сравниваемым конструкциям фундаментов составлена таблица технико-экономического сравнения (табл. 1.2.) и гистограмма, наглядно иллюстрирующая полученные результаты (рис.1.38).

Таблица 1.2. Технико-экономические показатели сравниваемых фундаментов

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Сплошной плитный фундамент	Ленточно-оболочечный фундамент
1	Расход бетона	м3 / %	341,04 / 100	155,24 / 45,5
2	Расход арматуры	т / %	16,7 / 100	7,35 / 44
3	Объем механизированных земляных работ	м3 / %	880 / 100	700 / 79,5
4	Объем ручных земляных работ	м3 / %	35,2 / 100	54,76 / 155,6
5	Сметная стоимость строительства	тыс. руб. / %	4 645,8 / 100	2 244,4 / 48,3
6	Трудозатраты	чел. час. / % маш. час. / %	725,73 / 100 141,49 / 100	517,05 / 71,25 76,31 / 54

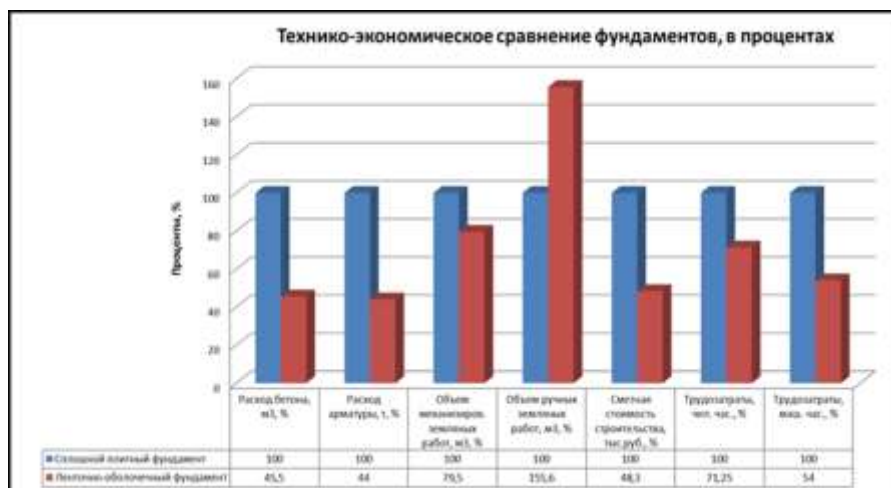


Рисунок 1.38. Гистограмма сравнения фундаментов, в %

Анализ гистограммы доказывает эффективность устройства ленточно-оболочечного фундамента в качестве альтернативы фундаменту в виде сплошной монолитной плиты. При устройстве ЛОФ расход бетона снижается на 45,5%, расход арматуры на 44 %. Но возрастает объем ручных земляных работ при формировании выпуклых вверх грунтовых целиков под оболочку фундамента на 55,6%. Снижение трудоемкости производства ручных земляных работ является одной из основных задач, рассматриваемых в диссертационной работе.

1.5. Выводы по главе 1

1. Одной из инновационных технологий строительства фундаментов является устройство ленточно-оболочечных фундаментов (ЛОФ). Выполненный в диссертационной работе анализ научных исследований о взаимодействии ленточно-оболочечных фундаментов с грунтовым основанием, позволил выявить преимущества данных конструкций фундаментов по сравнению с традиционными конструкциями ленточных и плитных фундаментов.

2. На основании анализа патентных источников составлена классификация фундаментов с выпуклой вверх по отношению к грунту криволинейной формой контактной поверхности.

3. На основании существующей практики и литературных источников произведен анализ способов устройства известных фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности, который выявил отсутствие комплексного решения организационно-технологических вопросов, связанных со строительством фундаментов данного типа.

4. Выявлены основные факторы, влияющие на качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, а так же выявлены технологические сложности возведения ленточно-оболочечных фундаментов.

5. Анализ существующих конструктивно-технологических решений и технологии строительства ленточно-оболочечных фундаментов выявил необходимость в проведении дальнейших научных исследований с целью совершенствования технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов.

6. Наиболее важным направлением является совершенствование технологии устройства ленточно-оболочечных фундаментов и внедрение организационно-технологических решений, научно-обоснованных практических рекомендаций, которые бы соответствовали современным требованиям интенсификации строительства фундаментов данного типа, обеспечивающих сокращение продолжительности выполнения наиболее трудоемких технологических операций, повышение производительности труда, улучшение качества выполняемых строительно-монтажных работ.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ПРОКЛАДКИ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ВКЛЮЧЕНИЯ В РАБОТУ ПОДОБОЛОЧЕЧНОГО МАССИВА ГРУНТА

2.1. Рабочая гипотеза по реализации включения в работу подоболочечного массива грунта

Как было выявлено ранее в п.1.3.2., в процессе устройства ленточно-оболочечного фундамента возникают технологические сложности осуществления контроля совместной работы пролетной части фундамента и опорных контуров, технологические сложности осуществления контроля равномерности величины осадки фундамента при нагружении фундамента вертикальной нагрузкой, а также технологические сложности контроля включения арматуры оболочечной части фундамента в работу при нагружении фундамента вертикальной нагрузкой (что в свою очередь влияет на вовлечение в работу грунта, находящегося под оболочкой), что влияет на технологичность устройства фундамента и ограничивает его область применения. В связи с чем, автором поставлена задача, разработать техническое решение, обеспечивающее повышение эффективности взаимодействия системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка – подоболочечный грунтовый массив» и организационно-технологической надежности строительства фундамента данного типа.

В качестве технического решения предложена рабочая гипотеза по реализации включения подоболочечного массива грунта в работу за счет применения демпфирующей прокладки, выполненной из плитного сильно сжимаемого материала.

Разработаны и запатентованы конструктивно-технологические решения по устройству ленточно-оболочечного фундамента мелкого заложения (*Пат. 2689957* [81], соавторы д.т.н. Пронозин Я. А., д.т.н. Колчеданцев Л. М., Дроздов А. Д.), и *разработаны и запатентованы* конструктивно-технологические решения по устройству ленточно-мембранного фундамента мелкого заложения (*Пат. 2752890* [82], соавторы д.т.н. Колчеданцев Л. М., Дроздов А. Д.), отличием от известных конструкций ЛОФ является наличие демпфирующей прокладки, обеспечивающей повышение эффективности взаимодействия системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка – подоболочечный грунтовый массив».

Предлагаемое техническое решение заключается в том, что ленточно-оболочечный фундамент мелкого заложения, так же, как и известная конструкция ЛОФ (рис.2.1. а), состоит из несущих монолитных лент (1), объединенных в пролетной части гибким элементом – железобетонной оболочкой (2) (несущей мембраной), выполненной по выпуклому вверх грунтовому основанию (3).

Отличием предлагаемой конструкции является укладка демпфирующей прокладки (4) под опорными железобетонными контурами (рис.2.1. б), устроенной по бетонной подготовке (5), выполненной по щебеночной подготовке (6).

При этом толщина демпфирующей прокладки «х» должна быть подобрана из условия передачи на грунтовое основание через опорные железобетонные контуры давления, обеспечивающего осадку этих опорных железобетонных контуров на величину, равную величине сжатия подбололочечного массива грунта (см. п. 2.2).

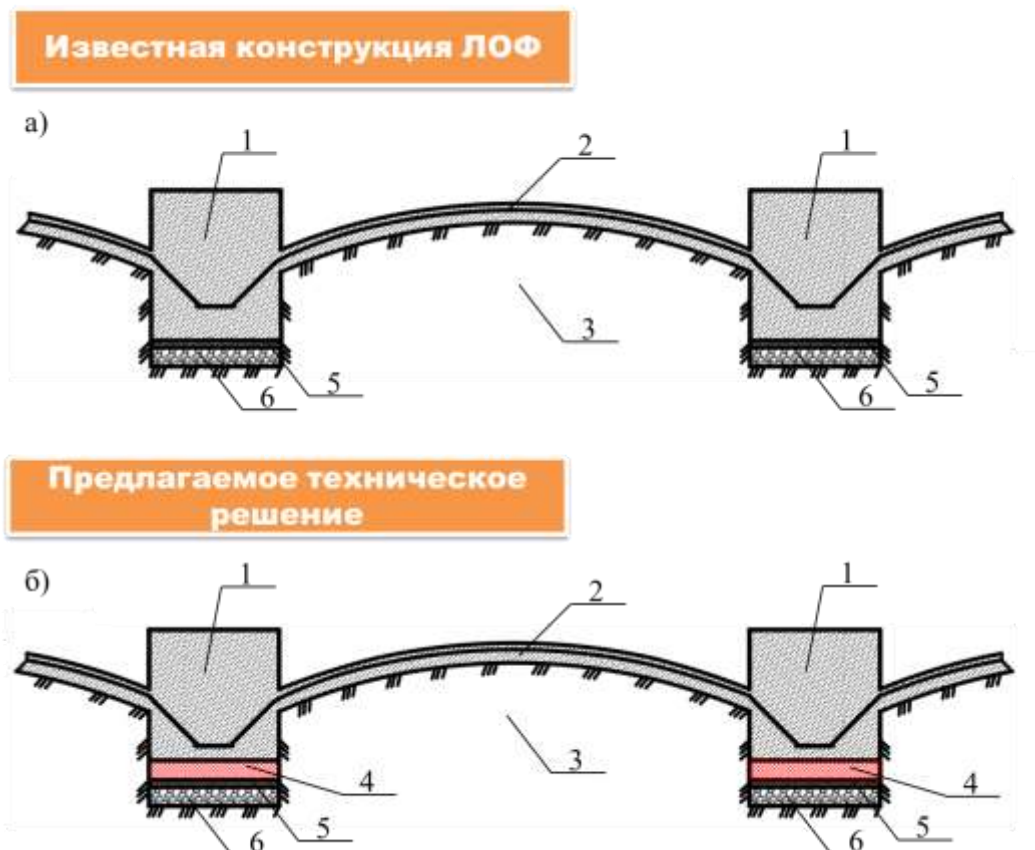


Рисунок 2.1. Известная и предлагаемая конструкция ЛОФ, где:
 1 – опорные ж/б контуры; 2 – железобетонная выпуклая вверх оболочка; 3 – подбололочечный массив грунта; 4 – демпфирующая прокладка; 5 – бетонная подготовка; 6 – щебеночная подготовка

Работа фундамента осуществляется следующим образом.

На I стадии работы (рис.2.2.а) при возведении железобетонного ленточно-оболочечного фундамента, нагрузка веса конструкции на стадии строительства передается на грунтовое основание через демпфирующие прокладки (4) по несущим осям здания. Демпфирующие прокладки имеют жесткое основание в виде бетонной подготовки (5), выполненной по щебеночной подготовке (6). При

этом прокладка выдерживает приложенную нагрузку от веса фундамента (P_0), толщина прокладки «х» остается без изменения.

На II стадии работы (рис.2.2.б) при воздействии выше приложенных нагрузок (P_1), например, нагрузок от стен или колонн подвальной части здания, происходит полное сжатие прокладки «х» = 0. При исчерпании «свободного хода» прокладок происходит контролируемая осадка монолитного ленточного фундамента (1), за счет чего арматура оболочки (2) натягивается и вовлекает в работу грунт пролетной части фундамента (3), при этом под оболочкой формируются локальные зоны уплотнения в прочных поверхностных слоях и обеспечивается возможность формирования единого сплошного фундамента и зоны уплотнения под ним. При этом глубина сжимаемой толщи для предложенного способа снижается на 10-15% по сравнению с неконтролируемым загруженным основанием.

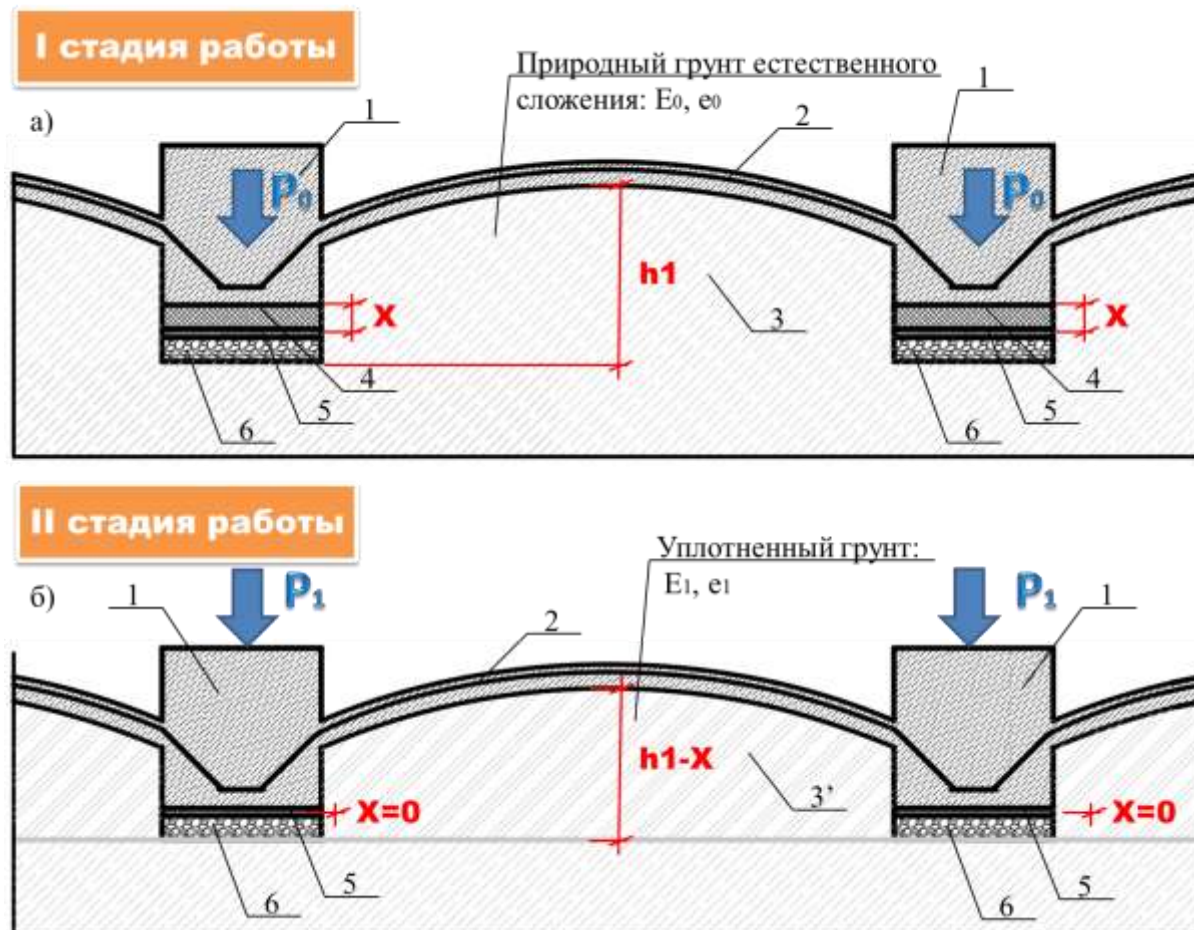


Рисунок 2.2. Этапы работы фундамента: а) I стадия работы, б) II стадия работы, где 1 – опорные ж/б контуры; 2 – железобетонная выпуклая вверх оболочка; 3 – подоболочечный массив грунта; 3' – грунт подоболочечной части после обжатия; 4 – демпфирующая прокладка; 5 – бетонная подготовка; 6 – щебеночная подготовка..

Дополнение фундамента демпфирующей прокладкой и расположение её между опорными контурами и бетонной подготовкой, выполненной по

щебеночной подготовке по грунтовому основанию, а также применение демпфирующей прокладки из плитного сильно сжимаемого материала, обеспечивающего полное сжатие материала прокладки до приложения эксплуатационной нагрузки, является **технологическим приемом**, позволяющим контролировать включение в работу арматуры железобетонной выпуклой вверх оболочки с последующим обжатием подбололочечного массива грунта и, как следствие, вовлечением его в работу. При использовании данного технологического приема повышается жесткость фундамента, перераспределяются внутренние усилия, происходит упрочнение пролетной части фундамента и, как следствие, ленточные опорные несущие фундаменты и пролетная часть работают совместно, преобразуясь в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью.

2.2. Исследование технологических параметров демпфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подбололочечного массива ЛОФ

При реализации технологического приема, обеспечивающего контролируемое включение в работу подбололочечного массива грунта, важным технологическим параметром, подлежащим рассмотрению, является толщина демпфирующей прокладки, выполненной из сильно сжимаемого материала, в силу следующих причин: во-первых, прокладка должна полностью сжаться до приложения эксплуатационной нагрузки, с целью более раннего включения в работу подбололочечного массива грунта, во-вторых, толщина прокладки влияет на увеличение себестоимости строительства фундамента, в третьих, толщина прокладки влияет на увеличение затрат труда и соответственно продолжительности возведения фундамента в целом.

Толщина демпфирующей прокладки должна быть подобрана таким образом, чтобы осадка опорных контуров происходила на величину равную величине осадки оболочечной части фундамента (рис.2.3). Лишь при выполнении данного условия произойдет естественное уплотнение грунта подбололочечной части под воздействием выше приложенной нагрузки с учетом его коэффициента пористости и модуля деформации, что в свою очередь не приведет к «отрыву» и смещению железобетонной оболочки от ленточного опорного контура. Иными словами, для осуществления контролируемого включения в работу арматуры железобетонной оболочки, толщина прокладки должна быть не больше, чем величина осадки пролетной части фундамента под нагрузкой, воспринимаемой фундаментом во время его возведения. При дальнейшем воздействии нагрузки от выше расположенных конструкций, прокладка находится в сжатом состоянии, за

счет чего происходит переуплотнение грунта в подоболочечной части, ленточно-оболочечный фундамент преобразуется в сплошную плиту, прогнозируемая осадка здания будет меньше, чем без контролируемого включения грунта под оболочкой в работу.

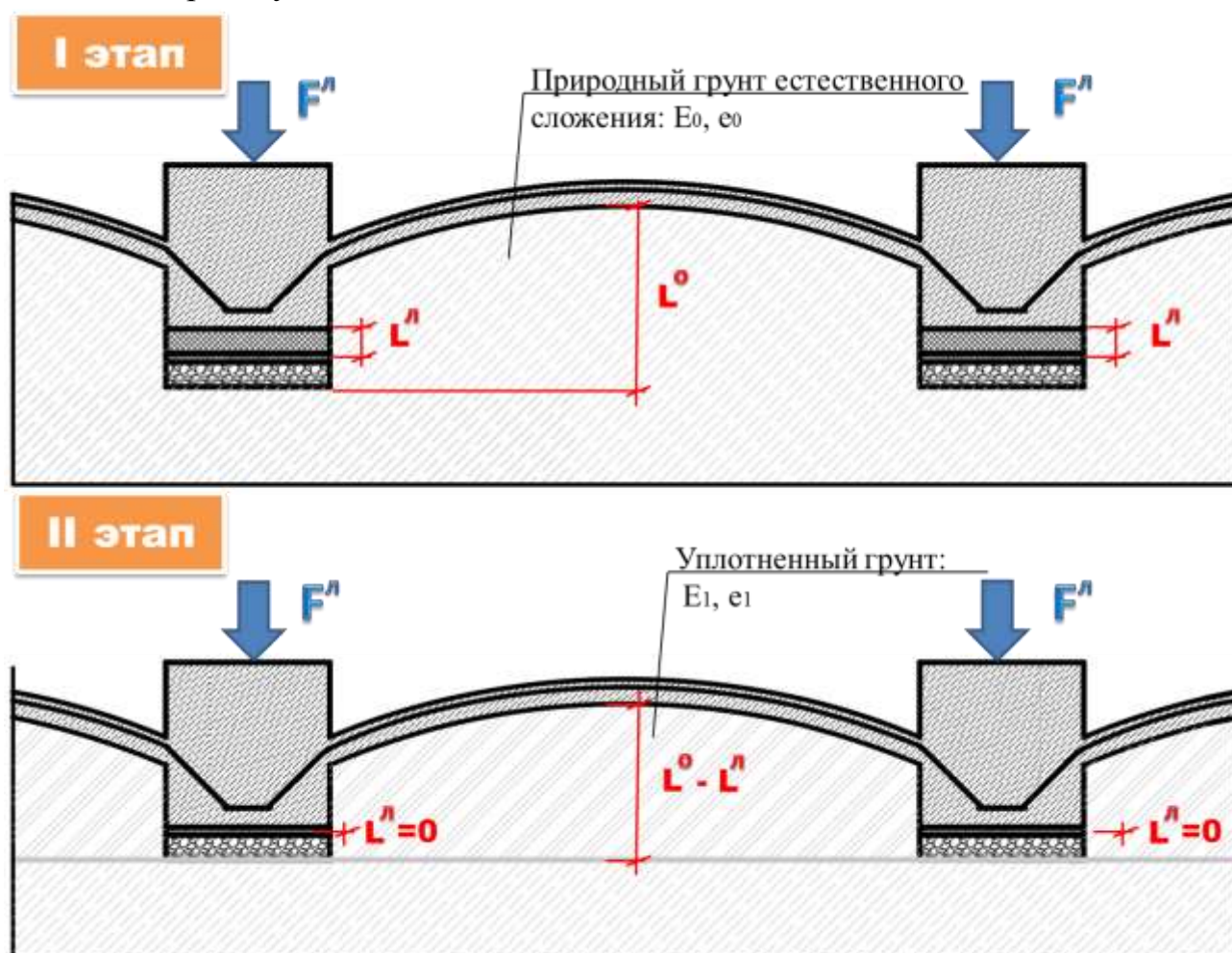


Рисунок 2.3. Технологический прием по осуществлению контролируемой осадки опорного контура за счет сжатия демпфирующей прокладки

Предположим, что можно условно разделить фундамент на отдельные части: опорные монолитные контуры и пролетную часть фундамента, которые при этом должны иметь одинаковую величину осадки. При реализации данного технического решения на стадии строительства фундамента опорные железобетонные контуры должны иметь осадку, равную толщине прокладки; пролетная часть – осадку, равную величине осадки подоболочечного грунта. В силу того, что это геометрически разные элементы одной конструкции, имеющие различный вес и различную силу давления на них, но одинаковую величину деформации сжатия, воспользуемся законом Гука:

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA} \quad (2.1)$$

В силу того, что величина деформации сжатия для обеих частей фундамента должна быть одинаковой по величине, приравняем значения:

$$\Delta l = x = \frac{F^o l^o}{E^o A^o} = \frac{F^l l^l}{E^l A^l} \quad (2.2)$$

При этом величины с индексом ^o относятся к оболочечной части фундамента, величины с индексом ^l относятся к ленточной части фундамента.

Таким образом, можно предположить, что толщина сжимаемой прокладки может быть определена по формуле:

$$l^l = \frac{F^o l^o E^l A^l}{F^l E^o A^o} \quad (2.3)$$

Толщина прокладки, далее t , определяется в зависимости от следующих факторов: деформационных характеристик грунта подоболочечного массива и прокладки, геометрических характеристик опорных контуров, геометрических характеристик грунтовых целиков. Значение толщины прокладки является функцией ряда факторов. Влияние технологических факторов на значение толщины прокладки при прочих равных, определяется формулой:

$$t = f(E_{zp}, a_{on}, h_{on}, E_n, a_{cy}, L_{cy}, P) \quad (2.4)$$

где t – толщина демпфирующей прокладки; E_{zp} – модуль деформации грунта, МПа, a_{on} – ширина опорных контуров, м; h_{on} – высота опорных контуров, м; E_n – модуль деформации прокладки, МПа, a_{cy} – ширина грунтового целика, м; L_{cy} – высота грунтового целика, м; P – действующая нагрузка на демпфирующую прокладку на I стадии нагружения, т/м².

Некоторые факторы, как следует из опыта строительства, коррелируются между собой. Например, ширина опорного контура, как правило, влияет на высоту опорных контуров, чем больше ширина, тем, с большей вероятностью, будет выше опорный контур. Так же и ширина грунтового целика влияет на высоту грунтового целика, исходя из первоначально заданного условия - высота подъема стрелы цилиндрической поверхности должна быть в пределах $(1/5 \div 1/12)L_1$, где L_1 – величина пролетной части фундамента (ширина грунтового целика). Модуль деформации прокладки в данной работе принят из соображения необходимости полного сжатия при нагружении первоначальной нагрузкой – 0,5 МПа.

Задача демпфирующей прокладки при реализации данного способа – полное обжатие демпфирующей прокладки определенной толщины под нагрузкой до достижения значения $t=0$, при котором происходит контролируемая осадка опорных контуров фундамента, натяжение рабочей арматуры железобетонной оболочки, как следствие вовлечение в работу грунта подоболочечной части

фундамента, при этом под оболочкой формируются локальные зоны уплотнения в прочных поверхностных слоях.

В силу вышеперечисленного, предельные значения факторов, влияющие на толщину прокладки, определены следующим образом:

X1 – Модуль деформации грунта под оболочкой в границах 3,5 - 30 МПа.

X2 – Геометрические параметры ленточного фундамента (а именно, ширина ленты, которая коррелирует с грузовой площадью, весом и силой давления) – 0,6 м; 0,9 м; 1,2 м.

X3 – Геометрические параметры оболочки (а именно, ширина оболочки, которая коррелирует с грузовой площадью, весом и силой давления) – 3,0 м; 4,5 м; 6,0 м.

Приведем факторы к одному масштабу за счет кодирования переменных:

Нижний уровень фактора: z_i^-

Верхний уровень фактора: z_i^+

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (2.5)$$

x_i – кодированное значение фактора;

z_i – натуральное значение фактора;

z_i^0 – центр плана;

λ_i – интервал варьирования.

$$z_i^0 = \frac{z_i^+ + z_i^-}{2} \quad (2.6)$$

$$\lambda_i = \frac{z_i^+ - z_i^-}{2} \quad (2.7)$$

Таблица 2.1 - Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень, z_i^+	Нижний уровень, z_i^-	Центр, z_i^0	Интервал варьирования, λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
z_1	30000	3500	16750	13250	$x_1 = \frac{z_1 - 16750}{13250}$
z_2	1,2	0,6	0,9	0,3	$x_2 = \frac{z_2 - 0,9}{0,3}$
z_3	6,0	3,0	4,5	1,5	$x_3 = \frac{z_3 - 4,5}{1,5}$

В таблице 2.1 представлены области определения на границах максимального и минимального значений (верхний и нижний уровни), между которыми может изменяться фактор (границы областей определения факторов).

Первый этап планирования эксперимента для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях (+1; -1). Формула для определения числа опытов:

$$N = 2^k \quad (2.8)$$

где N – число опытов, k – число факторов, 2 – число уровней. При трех-факторном эксперименте $N = 2^3 = 8$ опытов.

Матрица планирования эксперимента включает три вектор-столбца независимых переменных и один вектор-столбец параметра оптимизации (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Матрица планирования эксперимента 2^3

№ опыта	Факторы			Параметр оптимизации
	Параметры грунтового основания	Параметры опорных контуров	Параметры грунтовых целиков	Толщина прокладки
	X1	X2	X3	
1	1	1	1	Y_1
2	1	1	-1	Y_2
3	1	-1	-1	Y_3
4	1	-1	1	Y_4
5	-1	1	1	Y_5
6	-1	1	-1	Y_6
7	-1	-1	-1	Y_7
8	-1	-1	1	Y_8

В целях реализации полного факторного эксперимента и расчета толщины прокладок с учетом влияния определяющих факторов были запроектированы 3 варианта фундамента с различными значениями технологических факторов, влияющих на величину толщины прокладки (рис.2.4).

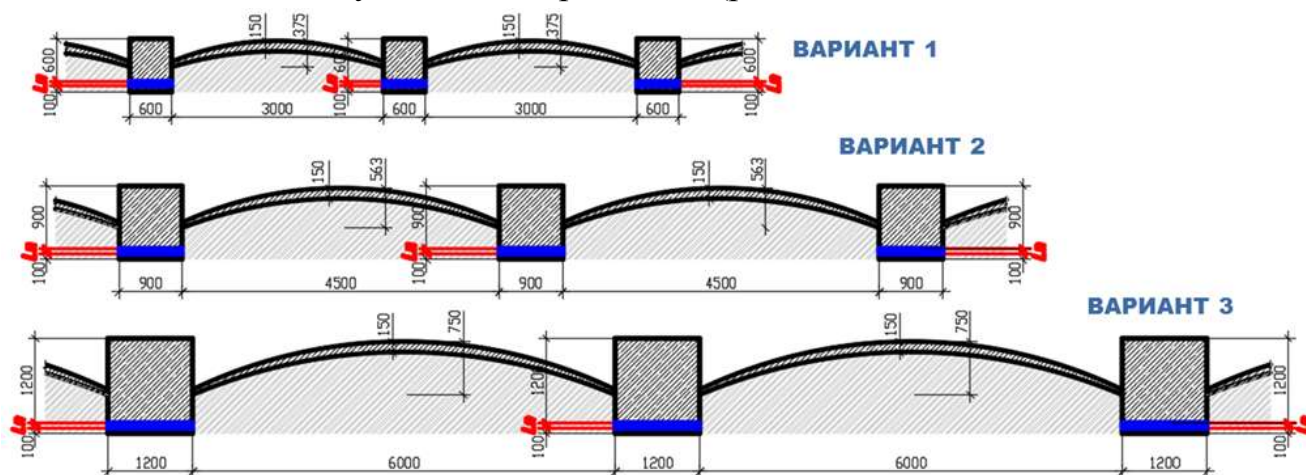


Рисунок 2.4. Варианты конструктивных разрезов ЛОФ

Вариант 1.

В качестве первого варианта рассматривался фундамент с постоянными геометрическими характеристиками, представленными в табл.2.3. (рис.2.5)

Таблица –2.3 Постоянные геометрические характеристики фундамента по 1 варианту

№ варианта	Параметры опорных контуров и прокладки				Параметры грунтового целика			
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Aоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, A, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, Р, т/м2
1	0,6	1	0,6	0,6	3	3	0,98	1,98

Так же постоянным является модуль деформации прокладки, принятый из соображения необходимости полного сжатия при нагружении первоначальной нагрузкой – 0,5 МПа.

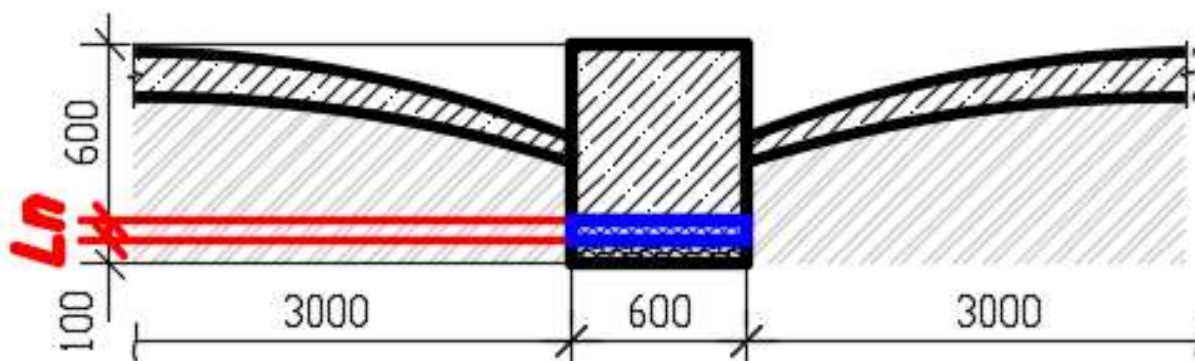


Рисунок 2.5. Параметры опорных контуров, подбололочечного массива (грунтовых целиков), 1-й вариант

Переменным фактором, влияющим на толщину демпфирующей прокладки, принят $E_{гр}$ - модуль деформации грунта, изменяемый в пределах 3,5 – 30 МПа.

Результаты расчета толщины демпфирующей прокладки по 1-му варианту представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расчетная толщина прокладки, в зависимости от параметров 1-го варианта

№ образца	Параметры опорных контуров и прокладки					Параметры грунтового целика				Параметры грунта основания	Толщина прокладки, Лд, см
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Аоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Модуль деформации прокладки, Еп, МПа	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, А, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, Р, т/м2	Модуль деформации грунта Егр, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	3,5	4,18
2	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	4	3,66
3	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	4,5	3,25
4	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	5	2,93
5	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	5,5	2,66
6	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	6	2,44
7	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	6,5	2,25
8	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	7	2,09
9	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	7,5	1,95
10	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	8	1,83
11	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	8,5	1,72
12	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	9	1,63
13	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	9,5	1,54
14	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	10	1,46
15	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	10,5	1,39
16	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	11	1,33
17	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	11,5	1,27
18	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	12	1,22
19	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	12,5	1,17
20	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	13	1,13
21	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	13,5	1,08
22	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	14	1,04
23	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	14,5	1,01
24	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	15	0,98
25	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	15,5	0,94
26	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	16	0,91
27	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	16,5	0,89
28	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	17	0,86
29	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	17,5	0,84
30	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	18	0,81

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	18,5	0,79
32	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	19	0,77
33	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	19,5	0,75
34	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	20	0,73
35	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	20,5	0,71
36	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	21	0,70
37	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	21,5	0,68
38	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	22	0,66
39	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	22,5	0,65
40	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	23	0,64
41	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	23,5	0,62
42	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	24	0,61
43	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	24,5	0,60
44	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	25	0,59
45	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	25,5	0,57
46	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	26	0,56
47	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	26,5	0,55
48	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	27	0,54
49	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	27,5	0,53
50	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	28	0,52
51	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	28,5	0,51
52	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	29	0,50
53	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	29,5	0,50
54	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	30	0,49

В результате произведенных расчетов для первого варианта фундамента были построены графики зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подбололочного массива (рис.2.6).

Анализ графика выявил: с увеличением модуля деформации грунта подбололочного массива толщина прокладки уменьшается. Это означает, что применение демпфирующей прокладки при грунте подбололочного массива с низкими деформационными характеристиками является актуальным. Толщиной прокладки обеспечивается контролируемая осадка опорных контуров на величину обжатия грунтового подбололочного массива, вследствие чего прочностные характеристики пролетной части возрастают (грунт уплотняется), подбололочный массив включается в работу и обеспечивается возможность формирования единого фундамента (преобразование в сплошную плиту) и зоны уплотнения под ним.



Рисунок 2.6. График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подошвочного массива. 1-й вариант

Вариант 2.

В качестве второго варианта рассматривался фундамент с постоянными геометрическими характеристиками представленными в табл.2.5. (рис.2.7)

Таблица 2.5 – Постоянные геометрические характеристики фундамента по 2 варианту

№ варианта	Параметры опорных контуров и прокладки				Параметры грунтового целика			
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Aоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, A, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, P, т/м2
2	0,9	1	0,9	0,9	4,5	4,5	1,16	2,73

Так же постоянным является модуль деформации прокладки, принятый из соображения необходимости полного сжатия при нагружении первоначальной нагрузкой – 0,5 МПа.

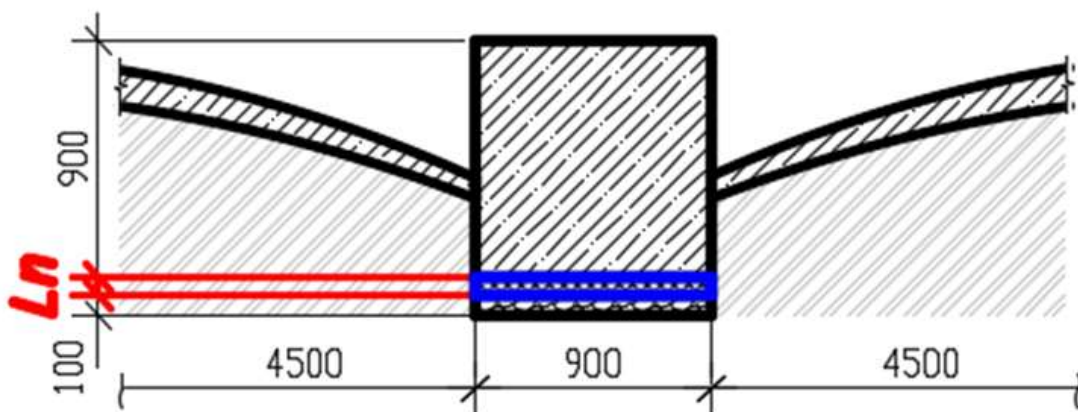


Рисунок 2.7. Параметры опорных контуров, подошвочного массива (грунтовых целиков), 2-й вариант

Переменным фактором, влияющим на толщину демпфирующей прокладки, принят $E_{гр}$ - модуль деформации грунта, изменяемый в пределах 3,5 – 30 МПа.

Результаты расчета толщины демпфирующей прокладки по 2-му варианту представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчетная толщина прокладки, в зависимости от параметров 2-го варианта

№ образца	Параметры опорных контуров и прокладки					Параметры грунтового целика				Параметры грунта основания	Толщина прокладки, Лл, см
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Аоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Модуль деформации прокладки, Еп, МПа	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунта, А, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, Р, т/м2	Модуль деформации грунта Егр, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	3,5	3,74
2	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	4	3,27
3	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	4,5	2,91
4	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	5	2,62
5	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	5,5	2,38
6	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	6	2,18
7	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	6,5	2,01
8	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	7	1,87
9	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	7,5	1,75
10	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	8	1,64
11	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	8,5	1,54
12	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	9	1,45
13	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	9,5	1,38
14	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	10	1,31
15	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	10,5	1,25
16	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	11	1,19
17	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	11,5	1,14
18	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	12	1,09
19	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	12,5	1,05
20	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	13	1,01
21	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	13,5	0,97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	14	0,94
23	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	14,5	0,90
24	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	15	0,87
25	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	15,5	0,84
26	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	16	0,82
27	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	16,5	0,79
28	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	17	0,77
29	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	17,5	0,75
30	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	18	0,73
31	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	18,5	0,71
32	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	19	0,69
33	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	19,5	0,67
34	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	20	0,65
35	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	20,5	0,64
36	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	21	0,62
37	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	21,5	0,61
38	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	22	0,60
39	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	22,5	0,58
40	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	23	0,57
41	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	23,5	0,56
42	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	24	0,55
43	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	24,5	0,53
44	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	25	0,52
45	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	25,5	0,51
46	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	26	0,50
47	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	26,5	0,49
48	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	27	0,48
49	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	27,5	0,48
50	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	28	0,47
51	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	28,5	0,46
52	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	29	0,45
53	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	29,5	0,44
54	0,9	1	0,9	0,9	0,5	4,5	4,5	1,16	2,73	30	0,44

В результате произведенных расчетов для второго варианта фундамента были построены графики зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подбололочечного массива (рис.2.8).



Рисунок 2.8. График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подоболоечного массива. 2-й вариант

Анализ графика выявил: с увеличением модуля деформации грунта подоболоечного массива толщина прокладки уменьшается. Это означает, что применение демпфирующей прокладки при грунте подоболоечного массива с низкими деформационными характеристиками является актуальным. Толщиной прокладки обеспечивается контролируемая осадка опорных контуров на величину обжатия грунтового подоболоечного массива, вследствие чего прочностные характеристики пролетной части возрастают (грунт уплотняется), подоболоечный массив включается в работу и обеспечивается возможность формирования единого фундамента (преобразование в сплошную плиту) и зоны уплотнения под ним.

Вариант 3.

В качестве третьего варианта рассматривался фундамент с постоянными геометрическими характеристиками представленными в табл.2.7. (рис.2.9)

Таблица 2.7 – Постоянные геометрические характеристики фундамента по 3 варианту

№ варианта	Параметры опорных контуров и прокладки				Параметры грунтового целика			
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Aоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, А, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, Р, т/м2
3	1,2	1	1,2	1,2	6,0	6,0	1,35	3,53

Так же постоянным является модуль деформации прокладки, принятый из соображения необходимости полного сжатия при нагружении первоначальной нагрузкой – 0,5 МПа.

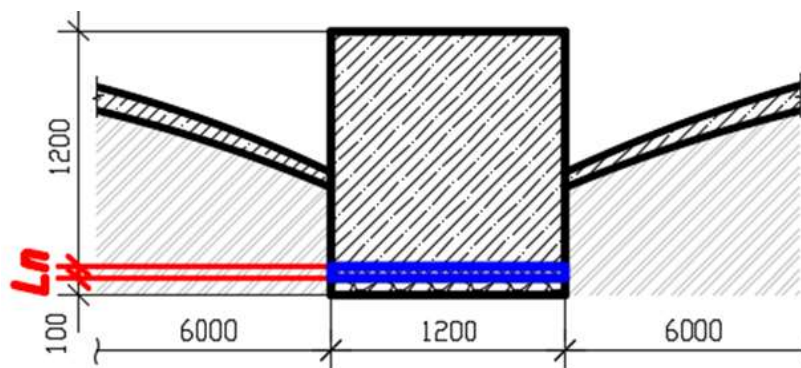


Рисунок 2.9. Параметры опорных контуров, подоболочечного массива (грунтовых целиков) и грунта основания, 3-й вариант

Переменным фактором, влияющим на толщину демпфирующей прокладки, принят $E_{гр}$ - модуль деформации грунта, изменяемый в пределах 3,5 – 30 МПа.

Результаты расчета толщины демпфирующей прокладки по 3-му варианту представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Расчетная толщина прокладки, в зависимости от параметров 3-го варианта

№ образца	Параметры опорных контуров и прокладки					Параметры грунтового целика				Параметры грунта основания	Толщина прокладки, Лп, см
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Аоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Модуль деформации прокладки, Еп, МПа	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, А, м2	Высота грунтового целика, Лгр, м	Нагрузка, Р, т/м2	Модуль деформации грунта Егр, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	3,5	3,43
2	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	4	3,00
3	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	4,5	2,67
4	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	5	2,40
5	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	5,5	2,18
6	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	6	2,00
7	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	6,5	1,85
8	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	7	1,71
9	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	7,5	1,60
10	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	8	1,50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	8,5	1,41
12	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	9	1,33
13	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	9,5	1,26
14	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	10	1,20
15	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	10,5	1,14
16	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	11	1,09
17	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	11,5	1,04
18	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	12	1,00
19	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	12,5	0,96
20	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	13	0,92
21	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	13,5	0,89
22	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	14	0,86
23	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	14,5	0,83
24	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	15	0,80
25	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	15,5	0,77
26	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	16	0,75
27	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	16,5	0,73
28	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	17	0,71
29	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	17,5	0,69
30	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	18	0,67
31	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	18,5	0,65
32	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	19	0,63
33	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	19,5	0,62
34	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	20	0,60
35	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	20,5	0,59
36	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	21	0,57
37	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	21,5	0,56
38	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	22	0,55
39	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	22,5	0,53
40	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	23	0,52
41	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	23,5	0,51
42	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	24	0,50
43	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	24,5	0,49
44	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	25	0,48
45	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	25,5	0,47
46	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	26	0,46
47	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	26,5	0,45
48	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	27	0,44
49	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	27,5	0,44
50	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	28	0,43
51	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	28,5	0,42
52	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	29	0,41
53	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	29,5	0,41
54	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	30	0,40

В результате произведенных расчетов для третьего варианта фундамента были построены графики зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подбололочечного массива (рис.2.10).



Рисунок 2.10. График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подбололочечного массива. 3-й вариант

Анализ графика выявил: с увеличением модуля деформации грунта подбололочечного массива толщина прокладки уменьшается. Это означает, что применение демпфирующей прокладки при грунте подбололочечного массива с низкими деформационными характеристиками является актуальным. Толщиной прокладки обеспечивается контролируемая осадка опорных контуров на величину обжатия грунтового подбололочечного массива, вследствие чего прочностные характеристики пролетной части возрастают (грунт уплотняется), подбололочечный массив включается в работу и обеспечивается возможность формирования единого фундамента (преобразование в сплошную плиту) и зоны уплотнения под ним.

В результате произведенных расчетов была сформирована таблица, соответствующая матрице планирования эксперимента, с учетом влияния факторов на верхних и нижних границах (табл. 2.9 – 2.10).

Для движения к точке оптимума необходимо построить линейную модель [1]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_{12} + b_{13}x_{13} + b_{23}x_{23} + b_{123}x_{123} \quad (2.9)$$

Цель – найти по результатам эксперимента значения неизвестных коэффициентов модели.

Вычисление оценок коэффициентов производят по формуле [1]:

$$b_j = \frac{\sum_{i=0}^N x_{ji}y_i}{N}, j = 0, 1, \dots, k \quad (2.10)$$

Значение коэффициента b_0 – среднее арифметическое значение параметра оптимизации [1]:

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{N}, \quad (2.11)$$

Таблица 2.9 - Расчетная толщина прокладки на нижних и верхних уровнях факторов

№ образца	Параметры опорных контуров и прокладки					Параметры грунтового целика				Параметры грунта основания	Толщина прокладки, Lп, см
	Ширина опорных контуров, а, м	Длина опорных контуров, b, м	Площадь опорных контуров, Aоп, м2	Высота опорных контуров, h, м	Модуль деформации пенопласта, Еп, МПа	Ширина грунтового целика, а, м	Площадь основания грунтового целика, А, м2	Высота грунтового целика, Lгр, м	Нагрузка, Р, т/м2	Модуль деформации грунта, Егр, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	30	0,40
2	1,2	1	1,2	1,2	0,5	3	3	0,98	3,75	30	0,61
3	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	30	0,49
4	0,6	1	0,6	0,6	0,5	6	6	1,35	2,65	30	0,45
5	1,2	1	1,2	1,2	0,5	6	6	1,35	3,53	3,5	3,43
6	1,2	1	1,2	1,2	0,5	3	3	0,98	3,75	3,5	5,26
7	0,6	1	0,6	0,6	0,5	3	3	0,98	1,98	3,5	4,18
8	0,6	1	0,6	0,6	0,5	6	6	1,35	2,65	3,5	3,86

После проведения численных исследований автором аппроксимированы полученные результаты в зависимости от переменных параметров, предложены аналитические зависимости расчета толщины прокладки.

Таким образом, при укладке демпфирующей прокладки необходимо принимать толщину, рассчитываемую по формуле:

$$y = 2,335 - 1,85x_1 - 0,09x_2 - 0,3x_3 - 0,07x_1x_2 + 0,238x_1x_3 - 0,21x_2x_3 + 0,168x_1x_2x_3 \quad (2.12)$$

Избавившись от факторов, оказывающих незначительное влияние, получаем линейное уравнение:

$$t = 2,335 - 1,85X_1 - 0,3X_3 + 0,238X_1X_3 - 0,21X_2X_3 + 0,168X_1X_2X_3 \quad (2.13)$$

где: X_1 - модуль деформации грунта под оболочкой (E_{gp}); X_2 - ширина ленты (опорного контура) (a_{on}); X_3 - ширина грунтового целика (a_{cu}).

Наиболее весомым фактором, влияющим на толщину прокладки является деформационная характеристика грунта подоболочечного массива (X_1). С увеличением жесткости грунта под оболочкой уменьшается толщина прокладки (знак «минус»).

Материал п.2.2 изложен автором в статье [131].

Таблица 2.10 – Взаимодействие факторов

№ опыта	ФАКТОРЫ			ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ				Толщина прокладки	ФАКТОРЫ			ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ				
	Параметры грунтового основания	Параметры опорных контуров	Параметры грунтовых целиков	X1	X1	X2	X1		Y1	X1	X2	X3	X1	X1	X2	X1
				X2	X3	X3	X2			X3	X2	X3	Y1	X2	X3	X3
X1	X2	X3														
1	1	1	1	1	1	1	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,61	0,61	0,61	-0,61	0,61	-0,61	-0,61	-0,61	
3	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,49	0,49	-0,49	-0,49	-0,49	-0,49	0,49	0,49	
4	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,45	0,45	-0,45	0,45	-0,45	0,45	-0,45	-0,45	
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,43	-3,43	3,43	3,43	-3,43	-3,43	3,43	-3,43	
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	5,26	-5,26	5,26	-5,26	-5,26	5,26	-5,26	5,26	
7	-1	-1	-1	1	1	1	-1	4,18	-4,18	-4,18	-4,18	4,18	4,18	4,18	-4,18	
8	-1	-1	1	1	-1	-1	1	3,86	-3,86	-3,86	3,86	3,86	-3,86	-3,86	3,86	

2.3. Оценка эффективности применения пенополистирола в качестве материала демпфирующей прокладки

В результате произведенных исследований было предложено в качестве материала демпфирующей прокладки использовать распространенный сильно сжимаемый материал – пенополистирол. Был произведен патентный поиск и анализ литературных источников, раскрывающий область применения пенополистирола в строительстве.

Выявлено, что применения пенополистирола в строительстве не ново и широко используется при достижении различных целей и задач. Например, известно применения прокладок из пенополистирола при реализации способа, обеспечивающего более равномерное распределение нагрузок между сваями и ж/б плитой, и обеспечивающего возможность сооружения свайно-плитного фундамента на неравномерно-сжимаемых грунтах [70]. Задача демпфирующей прокладки в данном случае - обеспечение возможности заданного распределения нагрузок между сваями и ростверком, в обеспечении возможности сооружения плитно-свайного фундамента частично на слабом и частично на прочном грунтах (рис.2.11).

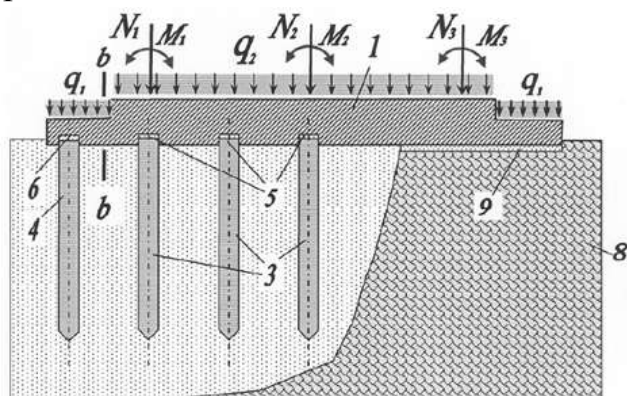


Рисунок 2.11. Свайно-плитный фундамент, где 1 – монолитная сплошная плита; 2 – ростверк; 3 – центральные сваи; 4 – крайние сваи; 5 – демпфирующие прокладки над оголовками средних свай; 6 - демпфирующие прокладки над оголовками крайних свай; 8 – толщина прочного (скального) грунта; 9 – демпфирующая прокладка, компенсирующая неравномерность осадков, под монолитной плитой [70].

Так же известно, что слой пенополистирола (или другого плитного утеплителя) используется в рамках реализации технологии «утепленная шведская плита». Основное назначение данного слоя - снижение тепло потерь и минимизация воздействия на фундамент сил морозного пучения (рис.2.12).

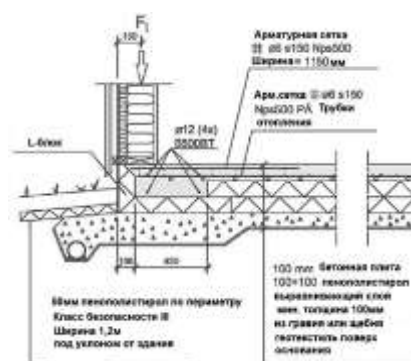


Рисунок 2.12. Утепленная шведская плита [https://forum.nasvyazi.ru/?showtopic=1202017&st=15]

Так же известна конструкция плитно-ребристого фундамента мелкого заложения, в которой за счет укладки демпфирующей прокладки из пенополистирола, происходит перераспределение усилия отпора грунта с пролетной зоны фундамента на его ребра [78] (рис.2.13).

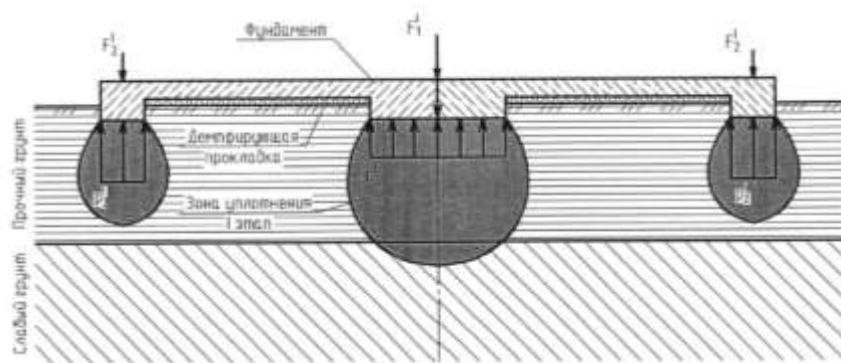


Рисунок 2.13. Плитно-ребристый фундамент мелкого заложения [78]

Большое распространение использование пенополистирола получило в дорожном строительстве при устройстве насыпей [30, 31] Характер деформаций пенопласта зависит от структуры, свойств материала, технологии изготовления, скорости нагружения и т.д. [16, 49, 120, 139].

В рамках работы над гипотезой по реализации включения подбололочного массива грунта в работу за счет демпфирующей прокладки, выполненной из плитного сильно сжимаемого материала, большое значение имеет изучение свойств пенополистирола в условиях компрессионного сжатия.

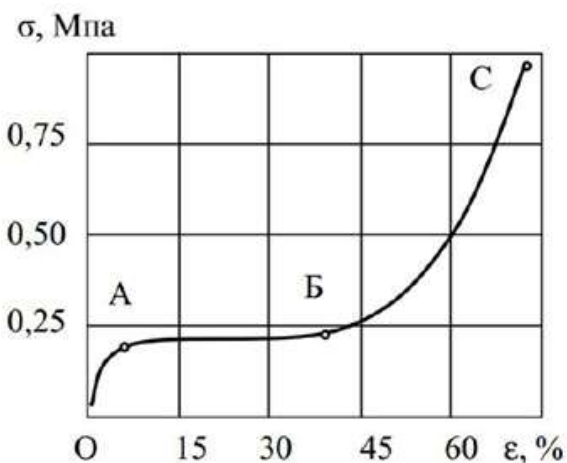


Рисунок 2.14. Условная диаграмма «нагрузка – деформация» по [139]

Работа пенополистирола в условиях компрессионного сжатия описана в научно-исследовательской работе [49] на основе данных из [139]: «В общем случае график «напряжение – деформация» пенополистирола имеет несколько стадий работы (рис. 2.14). На первой стадии (участок ОА) наблюдается пропорциональный рост деформации материала за счет сжатия стенок ячеек.

Вторая стадия характеризуется потерей устойчивости стенок, разрушением ячеистой структуры, отжатием воздуха из пор, что проявляется в появлении «площадки текучести» (участок АБ). На третьей стадии (участок ВС), вследствие уплотнения структуры наблюдается замедление роста деформации вплоть до предельной величины».

Так же автором научно-исследовательской работы [49] в Тюменском индустриальном университете в лаборатории кафедры строительного производства была произведена серия испытаний на компрессионное сжатие образцов пенополистирола ПСБ-С-25 (рис. 2.15).



Рисунок 2.15. Компрессионные испытания пенополистирола: а) подготовленный образец в кольце; б) образцы до и после испытаний [49]

Этапы проведения испытаний автором [49] описываются следующим образом: «Испытания проводились с использованием автоматизированных одометров АСИС. Нагрузка на образцы прикладывалась ступенями 1, 3, 5, 7, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 175, 200 кПа. Каждая ступень выдерживалась до условной стабилизации, критерием которой являлась скорость приращения вертикальных деформаций не более 0,05% за два часа наблюдений. По результатам испытаний построены графики деформирования во всем диапазоне давлений на образцы» (рис. 2.16).

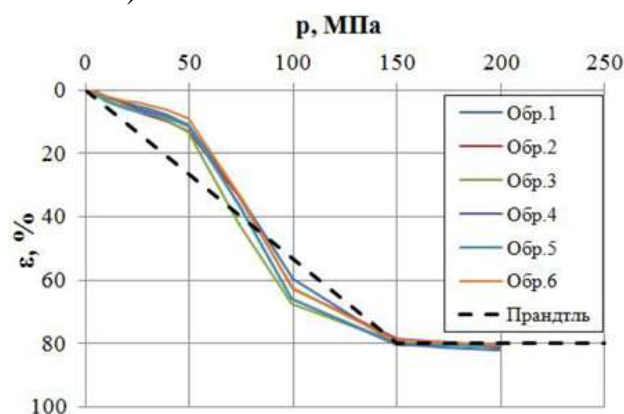


Рисунок 2.16. Результаты компрессионных испытаний пенополистирола [49]

Анализ графика позволил автору [49] выделить зону: «Упругой работы пенополистирола в диапазоне давлений 0-50 кПа, условную «площадку текучести» в диапазоне 50-100 кПа, «зону упрочнения» при давлениях более 100 кПа. В диапазоне 150-200 кПа наблюдается затухание деформаций, предельное значение которых достигает 80%».

Таким образом, опираясь на опыт практического применения в строительстве, а так же на материалы научных исследований по компрессионным испытаниям, оценена эффективность и принято решение о применении в качестве материала демпфирующей прокладки не дорогого, распространенного в строительстве и легкосжимаемого материала – пенополистирола, свойства которого в настоящее время достаточно изучены.

2.4. Анализ изменения трудоемкости и продолжительности работ при добавлении демпфирующей прокладки из пенополистирола

Применение демпфирующей прокладки в качестве технического решения по включению в работу арматуры железобетонной оболочки несомненно приведет к увеличению затрат труда и продолжительности работ по сравнению с известным способом устройства ленточно-оболочечных фундаментов.

Анализ затрат труда рабочих на устройство прокладки из пенополистирола по данным ФЕР 26-01-041-05 «Изоляция изделиями из пенопласта насухо холодных поверхностей покрытий и перекрытий» с учетом изменения объема работ в зависимости от толщины прокладки, позволил определить влияние толщины демпфирующей прокладки на трудозатраты и продолжительность работ (рис. 2.17).



Рисунок 2.17. Влияние принятых технологических решений по устройству демпфирующей прокладки на трудозатраты и продолжительность устройства ЛОФ

Анализ графика показал, что при способе устройства ленточно-оболочечных фундаментов с применением демпфирующей прокладки, наблюдается увеличение общих трудозатрат на 1-7 % и соответственно продолжительности выполнения работ на 1,5-8% (в зависимости от толщины прокладки) по сравнению с известной технологией устройства ЛОФ.

При выявленных недостатках предлагаемый способ имеет следующие преимущества:

- снижение конечной величины осадок и повышение равномерности осадок за счет более раннего включения в работу подоболочечного массива грунта, осуществляемое за счет сжатия демпфирующих прокладок из пенополистирола под опорными контурами;

- контролируемое включение в работу оболочечной части фундамента за счет натяжения арматуры оболочки в результате сжатия демпфирующей прокладки из пенополистирола;
- повышение эффективности взаимодействия системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка – подболобочечный грунтовый массив»;
- повышение жесткости фундамента, перераспределение внутренних усилий, упрочнение пролетной части фундамента и, как следствие, преобразование ЛОФ в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью;
- сохранение технологической простоты производства ленточно-оболочечных фундаментов.

2.5. Новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подболобочечного массива

Способ устройства ленточно-оболочечного фундамента осуществляется следующим образом: производится механизированная разработка грунта по всей площади котлована до верхней отметки выпуклых вверх оболочек с учетом технологического уширения дна котлована; производится механизированная разработка траншей под опорные контуры фундамента вдоль несущих осей здания; по периметру грунтовых целиков выставляется опорная конструкция для режущего оборудования; сверху на опору крепятся направляющие из металлопроката (швеллер П16); краном подается специально разработанное режущее оборудование (см. главу 3) и устанавливается в направляющие; режущее оборудование свободно перемещается вдоль направляющих при помощи электролебедки и срезает грунт, создавая криволинейную цилиндрическую поверхность таким образом, чтобы высота подъема стрелы цилиндрической оболочки была в пределах $(1/5 \div 1/12)L_1$, где L_1 – величина пролетной части фундамента (согласно проекта), с условием ненарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой; непосредственно после планировки основания под оболочку выполняется бетонирование поверхности тощим бетоном; по основанию траншей под опорные контуры производят устройство щебеночной подготовки из щебня фракции 20-40 толщиной 150 мм под ленточные части фундамента с уплотнением вибротрамбовкой; по щебеночной подготовке выполняют подготовку из тощего бетона класса В7,5; производят укладку демпфирующей прокладки из пенополистирола в один слой, заданной толщиной «х»; выполняется установка опалубки; по бетонным подготовкам ленточных и оболочечных частей фундамента устанавливаются в проектное положение

арматурные сетки и каркасы; производится одновременное бетонирование опорных контуров и оболочечной части фундамента; осуществляет уход за бетоном и последующая распалубка.

После набора прочности опорных железобетонных контуров производят устройство вертикальных несущих элементов (стен, колон), величиной нагрузки P . При нагружении опорных железобетонных контуров вертикальными несущими элементами (стенами, колоннами) происходит контролируемая осадка конструкции фундамента за счет обжатия демпфирующей прокладки на величину, равную толщине «х» демпфирующей прокладки, в процессе чего осуществляется натяжение арматуры железобетонной оболочки, вследствие чего происходит обжатие подоболочечного массива грунта и, как следствие, включение его в работу.

Предлагаемый способ позволяет получить следующий технический результат: повышение эффективности использования и расширение области применения ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения за счет обеспечения технологической простоты устройства фундамента; возможность осуществления контроля включения в работу основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента, выполненного из грунтового массива, за счет применения демпфирующей прокладки, расположенной на бетонной подготовке, выполненной по песчаной подготовке, устраиваемой по грунтовому основанию, что позволяет без деформаций использовать сжимающие характеристики демпфирующей прокладки; при обжатии демпфирующей прокладки под воздействием вертикальных несущих элементов на опорный железобетонный контур, происходит натяжение арматуры оболочки (мембраны, выполненной из композиционного материала с фиброй), уложенной по основанию с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента, вследствие чего, осуществляется более эффективное взаимодействие системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка (мембрана) – грунтовый массив», повышается жесткость фундамента, перераспределяются внутренние усилия, происходит упрочнение пролетной части фундамента и, как следствие, ленточные опорные несущие фундаменты и пролетная часть работают совместно, преобразуясь в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью.

2.6. Выводы по главе 2

1. Предложена рабочая гипотеза по реализации включения в работу подбололочечного массива грунта за счет применения демпфирующей прокладки под опорными железобетонными контурами.

2. Исследованы технологические параметры демпфирующей прокладки, влияющие на контролируруемую осадку опорных контуров и, как следствие, включение в работу подбололочечного массива ленточно-оболочечного фундамента. Проведен 3-х факторный расчетный эксперимент по выявлению влияния переменных факторов на толщину прокладки; построены графики зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подбололочечного массива и геометрических параметров фундамента; выведено уравнение линейной регрессии, позволяющее определять толщину демпфирующей прокладки в зависимости от переменных факторов. Выявлено, что наиболее весомым фактором, влияющим на толщину прокладки, является деформационная характеристика грунта подбололочечного массива. С увеличением прочности грунта подбололочечного массива уменьшается толщина прокладки.

3. Выполнен анализ патентных источников, существующих технологий и экспериментальных данных, на основании которых произведена оценка эффективности применения в качестве материала демпфирующей прокладки распространенного, сильно сжимаемого материала – пенополистирола.

4. Произведен анализ изменения трудоемкости и продолжительности работ при добавлении демпфирующей прокладки из пенополистирола, который выявил незначительное увеличение общих затрат труда на 1-7 % и соответственно продолжительности выполнения работ на 1,5-8 % (в зависимости от толщины прокладки) по сравнению с известной технологией устройства ЛОФ.

5. Разработан новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента с применением демпфирующей прокладки из пенополистирола, обеспечивающий контролируемое включение в работу подбололочечного массива.

6. *Запатентованы* в соавторстве конструктивно-технологические решения устройства ЛОФ, обеспечивающие контролируемое включение в работу подбололочечного массива за счет укладки под ленточные опорные контуры демпфирующей прокладки из сильно сжимаемого материала, позволяющего осуществить максимальное включение в работу пролетной части фундамента на раннем этапе нагружения. В результате применения нового способа устройства ЛОФ осуществляется более эффективное взаимодействие системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка (мембрана) – грунтовый массив», повышается жесткость фундамента, перераспределяются внутренние усилия, происходит упрочнение пролетной части фундамента и, как следствие, ленточные опорные несущие фундамента и пролетная часть работают совместно, преобразуясь в сплошную плиту с переменной изгибной жесткостью.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА

3.1. Рабочая гипотеза по снижению трудоемкости производства работ и повышению качества поверхности подбололочного массива

В практике строительства планировку основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части ЛОФ выполняют вручную при помощи совковых и штыковых лопат с условием ненарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой (рис. 3.1.).



Рисунок 3.1. Ручное формирование профиля грунтового основания

Для обеспечения точности проектных геометрических размеров и конфигурации грунта, а так же обеспечения качества основы под железобетонную оболочку, вдоль оболочек натягивают шнуры-причалки и устанавливают маячные лекала. Большое значение имеет соблюдение проектных отметок и размеров при формировании грунтового профиля (например, рис.3.2).

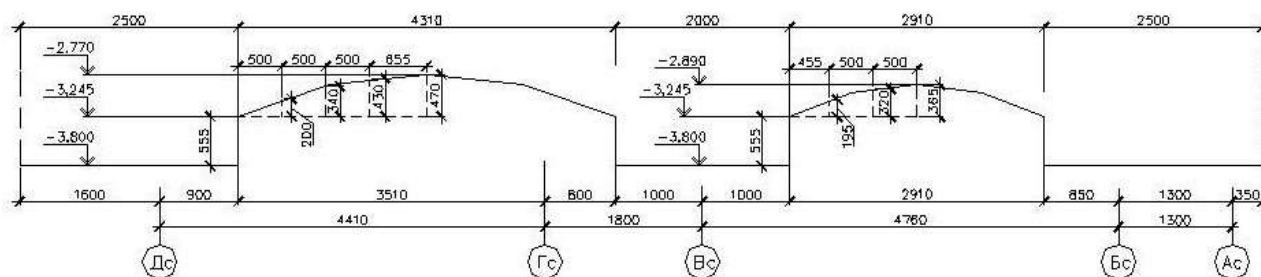


Рисунок 3.2. Пример проектирования профиля грунтового основания [51]

При устройстве железобетонной пологой обращенной выпуклостью вверх цилиндрической тонкостенной оболочки, необходимо соблюдать рекомендуемые значения по высоте подъема стрелы оболочки в зависимости от величины пролета (пример представлен в таблице 3.1), что в свою очередь влияет на формирование грунтового криволинейного основания, являющегося основанием для оболочки.

Таблица 3.1 - Пример изменения стрелы подъема оболочки, в зависимости от величины пролета оболочки

№ п/п	Отношение f/l	Стрела подъема оболочки f , в зависимости от		
		величины пролета оболочки, l :		
		$l = 5 \text{ м}$	$l = 6 \text{ м}$	$l = 7,5 \text{ м}$
1	$f/l = 1/8$	0,625 м	0,75 м	0,94 м
2	$f/l = 1/7$	0,71 м	0,86 м	1,07 м
3	$f/l = 1/6$	0,83 м	1,0 м	1,25 м
4	$f/l = 1/5$	1,0 м	1,2 м	1,5 м

При формировании грунтовых целиков криволинейного очертания возникают следующие технологические сложности: технологические трудности, связанные с производством большого объема ручных земляных работ, выполняемых при формировании грунтового основания под оболочку нулевой или положительной Гауссовой кривизны, зависящие от типа естественного основания грунта и его физико-механических свойств; сложность соблюдения проектной геометрической точности подоболочечного массива; отсутствие средств механизации при формировании криволинейной формы контактной поверхности фундамента

Предложена рабочая гипотеза по снижению трудоемкости проведения земляных работ и повышению качества поверхности подоболочечного массива за счет использования нового специализированного режущего оборудования.

При этом новое режущее оборудование должно отвечать требованиям соблюдения проектной кривизны грунтового основания в пролетной части фундамента согласно заданным проектом условий, быть легко собираемым и разборным, подходить для срезки грунта в различных условиях строительной площадки, а так же быть универсальным для различных геометрических параметров грунтовых целиков, обеспечивая комплект средств механизации для производства работ [10, 41, 100, 137, 138].

Для достижения цели реализации рабочей гипотезы было предложено к исследованию и разработке новое режущее оборудование, выполненное из металлопроката (прямоугольных металлических труб и металлических листов (пластин)). За счет придания металлических трубам определенного радиуса возможно соблюдения требований проектной документации, так, чтобы стрела подъема режущего оборудования находилась в пределах от $1/5$ до $1/12$ ширины грунтового целика. За счет использования металлических пластин, имеющих ширину от 0,1 до 0,4 м, возможно обеспечение криволинейного очертания режущего оборудования. Фрагмент конструкции предлагаемого к исследованию режущего оборудования представлен на рис. 3.3.

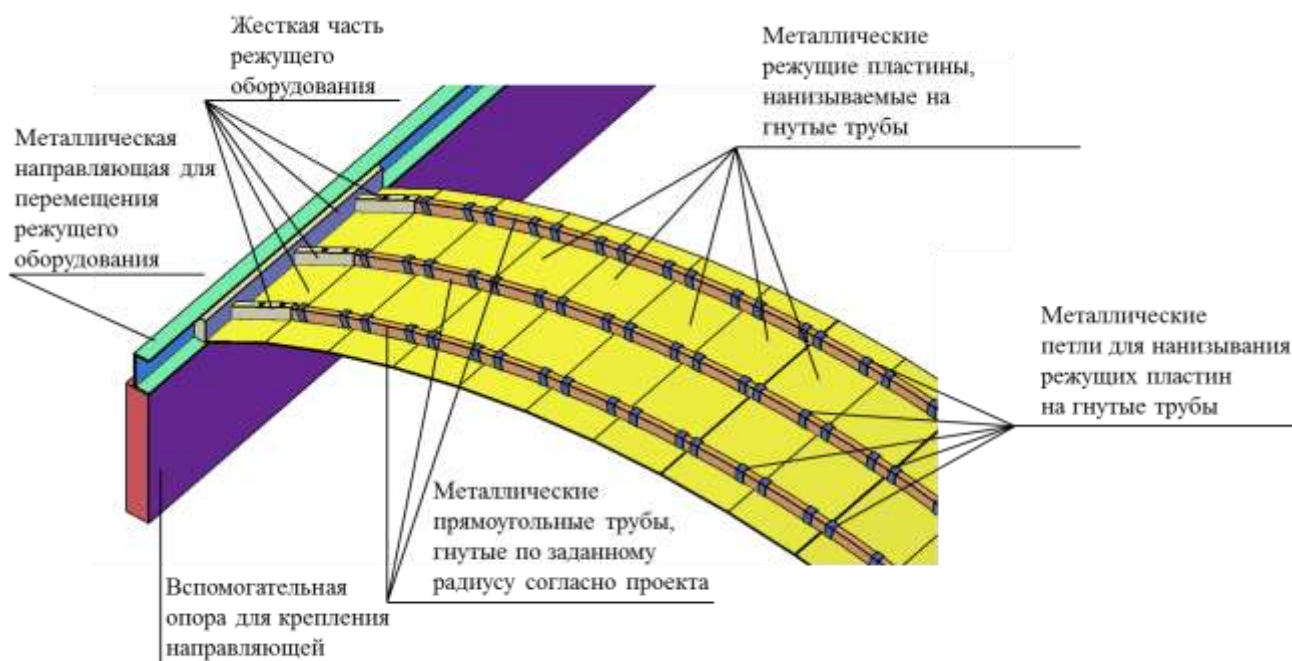


Рисунок 3.3. Фрагмент конструкции предлагаемого к исследованию режущего оборудования

3.2. Исследование технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования

При создании оборудования для срезки грунта выпуклой вверх цилиндрической поверхности, большое значение имеет материалоемкость оборудования, в частности правильное назначение геометрических параметров, так чтобы высота подъема стрелы режущего оборудования соответствовала требованиям проектной документации и была в границах от $1/5 L_1$ до $1/12 L_1$, где L_1 – ширина режущего оборудования (ширина грунтового целика).

В рамках исследования были запроектированы и проанализированы три варианта режущего оборудования с различной шириной и высотой подъема в границах от $1/5 L_1$ до $1/12 L_1$, построенных графическим методом. Первый вариант – ширина грунтового целика – 2 м, второй вариант – ширина грунтового целика – 4,1 м, третий вариант – ширина грунтового целика – 6,2 м (табл.3.2).

На основе полученных данных были составлены графики зависимости длины дуги режущего оборудования от ширины грунтового целика (L_1) и высоты подъема стрелы (f) (рис.3.4-3.6).

Таблица 3.2 - Длина дуги режущего оборудования при высоте подъема стрелы режущего оборудования

L1, м	Длина дуги режущего оборудования, при:							
	f=1/5L1, м	f=1/6L1, м	f=1/7L1, м	f=1/8L1, м	f=1/9L1, м	f=1/10L1, м	f=1/11L1, м	f=1/12L1, м
2	2,20	2,14	2,11	2,08	2,06	2,05	2,04	2,04
	при высоте подъема стрелы режущего оборудования f, равной:							
	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
4,1	4,51	4,39	4,30	4,27	4,24	4,21	4,19	4,17
	при высоте подъема стрелы режущего оборудования f, равной:							
	0,82	0,68	0,59	0,51	0,46	0,41	0,37	0,34
6,2	6,84	6,65	6,54	6,46	6,40	6,37	6,34	6,32
	при высоте подъема стрелы режущего оборудования f, равной:							
	1,24	1,03	0,89	0,78	0,69	0,62	0,56	0,52

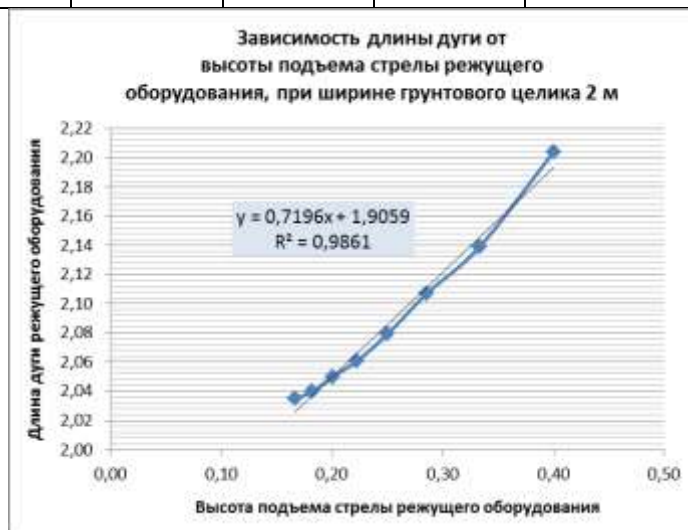


Рисунок 3.4. График зависимости длины дуги от высоты подъема стрелы режущего оборудования. 1-й вариант

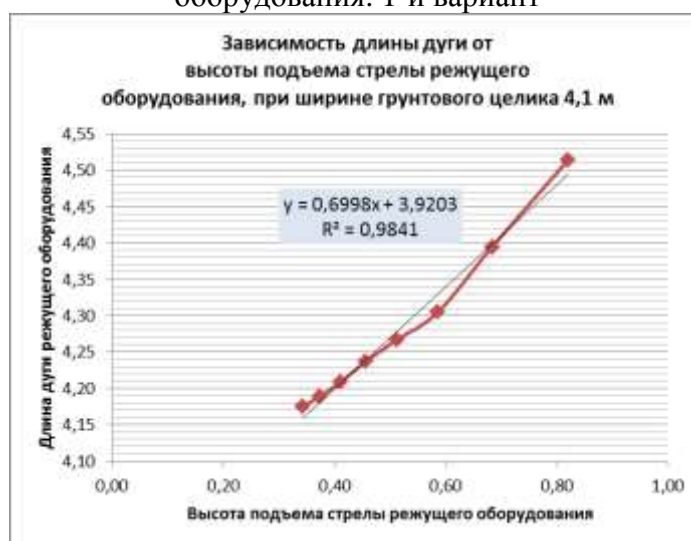


Рисунок 3.5. График зависимости длины дуги от высоты подъема стрелы режущего оборудования. 2-й вариант

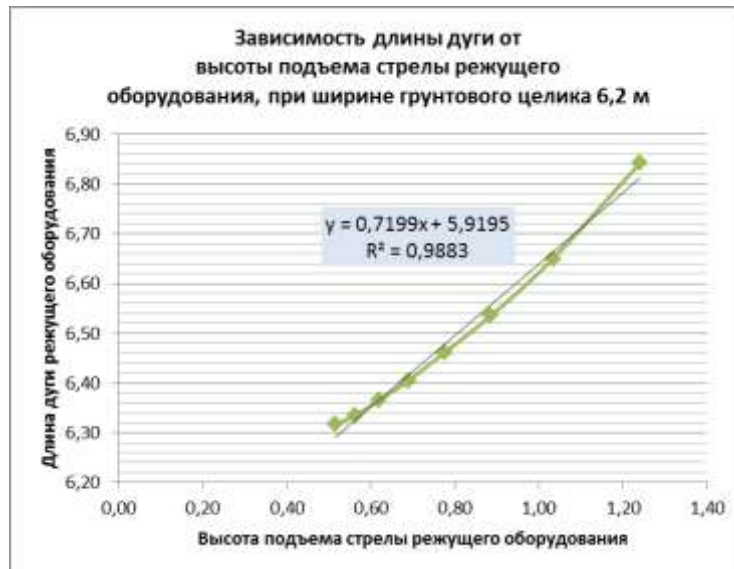


Рисунок 3.6. График зависимости длины дуги от высоты подъема стрелы режущего оборудования. 3-й вариант

Графики представлены в виде линейных функций $y=ax+b$, что позволяет выявить формулы для нахождения длины дуги режущего оборудования в зависимости от принятого значения высоты подъема стрелы в пределах от $1/5$ до $1/12 L_1$ для рассматриваемых случаев:

При ширине режущего оборудования 2 м: $y = 0,7196 x + 1,9059$

При ширине режущего оборудования 4,1 м: $y = 0,6998 x + 3,9203$

При ширине режущего оборудования 6,2 м: $y = 0,7199 x + 5,9195$

Где, x – высота подъема стрелы режущего оборудования (f), определяемая в пределах от $1/5 L_1$ до $1/12 L_1$.

В приложении 1 представлена таблица с расчетными значениями длины дуги режущего оборудования в зависимости от принятого значения высоты подъема стрелы в пределах от $1/5 L_1$ до $1/12 L_1$ для ширин грунтового целика в пределах от 2 до 6,2 м с интервалом 0,15 м. Коэффициент a принят, как среднее арифметическое и равен 0,7131.

На основе расчетных значений, аналитическим путем была выявлена зависимость между шириной режущего оборудования и свободным членом b :

$$b = L_1 - 0,0941 - 0,00643 * k, \quad (3.1)$$

где k – эмпирический коэффициент, определяемый по таблице 3.3 и зависящий от ширины режущего оборудования.

Таблица 3.3 – Значение эмпирического коэффициента k, в зависимости от ширины режущего оборудования

Ширина режущего оборудования, L ₁	2	2,15	2,3	2,45	2,6	2,75	2,9	3,05	3,2	3,35
Понижающий коэффициент, k	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ширина режущего оборудования, L ₁	3,5	3,65	3,8	3,95	4,1	4,25	4,4	4,55	4,7	4,85
Понижающий коэффициент, k	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ширина режущего оборудования, L ₁	5	5,15	5,3	5,45	5,6	5,75	6,05	6,2	-	-
Понижающий коэффициент, k	22	23	24	25	26	27	28	29	-	-

Промежуточные значения вычисляются интерполяцией.

Следовательно, длину дуги режущего оборудования можно определить по формуле 3.2:

$$L_{д.р.о.} = 0,7131 f + L_1 - 0,0941 - 0,00643 * k, \quad (3.2)$$

где, L_{д.р.о.} - длина дуги режущего оборудования, м; f – высота подъема стрелы режущего оборудования, м; L₁ – ширина режущего оборудования, м; k – эмпирический коэффициент.

Рассмотрим пример, известна ширина режущего оборудования (грунтового целика) 3,4 м; проектом установлено требование к высоте подъема стрелы режущего оборудования (грунтового целика) $f = 1/8 L_1$.

Согласно формуле 3.2 длина режущего оборудования определяется следующим образом:

$$L_{д.р.о.} = 0,7131 (1/8 * 3,4) + 3,4 - 0,0941 - 0,00643 * 11,333 = 3,536 \text{ м.}$$

Анализируя полученные значения, представленные в приложении 1, была выявлена закономерность в отношении L_{д.р.о.} к L₁ при определенных значениях высоты подъема стрелы режущего оборудования, на основании чего был выведен средний коэффициент k_{р.о.} (табл.3.4), позволяющий определять длину дуги режущего оборудования в зависимости от его ширины (формула 3.3).

Таблица 3.4 - Значение эмпирического коэффициента k_{р.о.}, в зависимости от отношения f /L₁

f /L ₁	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12
k _{р.о.}	1,096	1,071	1,054	1,041	1,032	1,024	1,017	1,012

$$L_{д.р.о.} = L_1 * k_{р.о.}, \quad (3.3)$$

где, $L_{д.р.о.}$ - длина дуги режущего оборудования, м; L_1 – ширина режущего оборудования, м; $k_{р.о.}$ – эмпирический коэффициент.

Произведем вычисления по новой формуле, как в предыдущем примере известна ширина режущего оборудования (грунтового целика) 3,4 м; проектом установлено требование к высоте подъема стрелы режущего оборудования (грунтового целика) $f = 1/8 L_1$.

Согласно формуле 3.3 длина режущего оборудования определяется с учетом коэффициента $k_{р.о.}$, определяемого по таблице 3.4, следующим образом:

$$L_{д.р.о.} = 3,4 * 1,0414 = 3,54 \text{ м.}$$

Погрешность результата с предыдущим расчетом составила 0,11%.

Проверим полученные значения графическим методом, при помощи программного обеспечения AutoCAD (рис.3.7).

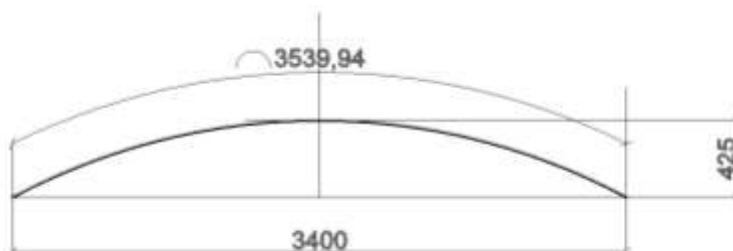


Рисунок 3.7. Графическое определение длины дуги режущего оборудования при высоте подъема стрелы режущего оборудования $f = 1/8 L_1$.

Длина дуги режущего оборудования составила $L_{д.р.о.} = 3,53994$ м.

Погрешность составила 0,006%. Что подтверждает адекватность предложенной методики расчета и формул для расчета длины дуги режущего оборудования, влияющей на материалоемкость конструкции и ее вес.

3.3. Исследование технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ и качество поверхности подбололочечного массива

При реализации способа устройства подбололочечного массива фундамента, обеспечивающего снижение трудоемкости проведения земляных работ, повышающего качество поверхности подбололочечного массива, осуществляемого за счет использования режущего оборудования, важным технологическим параметром, подлежащим рассмотрению, является сила сопротивления грунта резанию, которая будет влиять на тяговое усилие при перемещении оборудования, от которого, в свою очередь, будет зависеть трудоемкость процесса и продолжительность срезки грунта.

Первыми научными исследованиями в области резания грунта были исследования академиков Горячкина В. П. и Домбровского Н. Г. [28]. Исследованием работы режущих органов различных строительных землеройных машин, начиная с 30-х годов, занимались различные авторы: Сегаль И. С. [102], Айзеншток И. Я. [2], Максимов С. Н. [58], Мигин С. И. [64], Клиопа Г. И. [50], Ветров Ю. А. [18-19], Баловнев В. И. [7], Устинкин Н. Д. [121], Станевский В. П. [109], Артемьев К. А. [3], Берестов Е. И. [8-9], Завьялов А. М. [36], Краснонос А. Ю. [52], Лесковец И. В. [56-57]. Неоценимый вклад в исследование работы режущих органов различных строительных землеройных машин внес Зеленин А. Н. [37-39].

В исследованиях Зеленина А. Н. [37] были определены: «зависимость усилия резания элементарного профиля и режущего периметра от числа C (рис. 3.8); зависимость усилия резания от глубины резания на различных грунтах для режущего периметра с $l = 0,9$ м (рис. 3.9); зависимость усилия резания от угла резания α (рис. 3.10); зависимость усилия резания от угла β заострения элементарного профиля с $s = 0,015$ м при работе на супеси (рис. 3.11) и др.». Данные исследования были приняты за основу в дальнейшей работе.

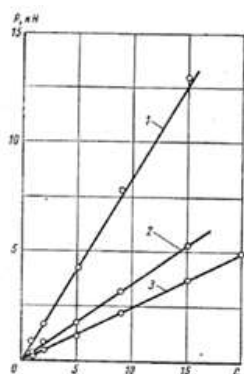


Рисунок 3.8. Зависимость усилия резания элементарного профиля и режущего периметра от числа C : 1 – периметр с $l=0,9$ м; 2 – периметр с $l=0,23$ м; 3 – лист $s=0,009$ м [37]

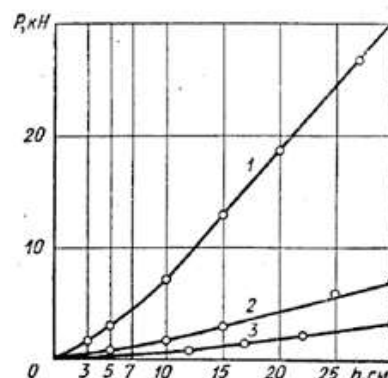


Рисунок 3.9. Зависимость усилия резания от глубины резания на различных грунтах для режущего периметра с $l = 0,9$ м: 1 – супесь, $C = 9$; 2 – супесь $C = 2-3$; 3 – песок, $C = 1$ [37]

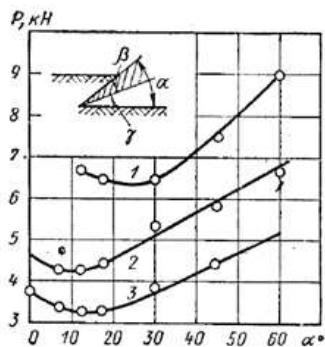


Рисунок 3.10. Зависимость усилия резания от угла резания α : 1 – для режущего периметра с $l=0,6$ м при $h = 0,1$ м и $C = 5,5$; 2 – для модели ковша при $h = 0,1$ м и $C = 9,5$; 3 – для периметра с $l=0,6$ м при $h = 0,15$ м и $C = 5,5$ [37]

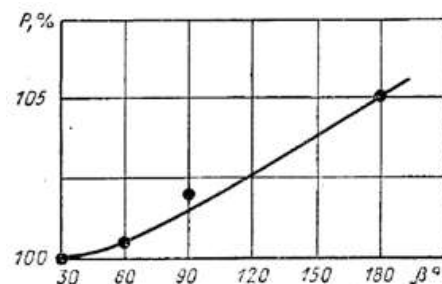


Рисунок 3.11. Зависимость усилия резания от угла β заострения элементарного профиля с $s = 0,015$ м при работе на супеси [37]

Так же в исследованиях Зеленина А. Н. впервые было выведено соотношение категории грунта и числа ударов динамического плотномера (табл. 3.5) [37]:

Таблица 3.5 - Классификация категорий немерзлых грунтов по числу С [37]

Категория грунта	I	II	III	IV
Число ударов С	1 - 4	5 - 8	9 - 16	16 - 34

В общепринятом смысле суммарное тяговое усилие рабочего режущего органа определяется формулой [37]:

$$P_k = P + R + P_T \quad (3.4)$$

P – сила сопротивления грунта резанию; R – сила трения ножа о грунт и призмы волочения грунта перед ножом, сопротивление стружки продольному сжатию и др.; P_T – усилие транспортного хода ножа с грунтом.

При этом на 75% суммарное тяговое усилие рабочего режущего органа определяется силой сопротивления грунта резанию.

Сила сопротивления грунта резанию (усилие резания) определяется по формуле [37]:

$$P = 10C h^{1,35} (1 + 2,6l) (1 + 0,0075\alpha) (1 + 0,03s) V\mu \quad (3.5)$$

где: P – усилие резания, Н/м²; C – величина прямо пропорциональная сопротивлению резания (число ударов динамического плотномера); h_i – глубина резания, м; l_i – длина горизонтальной кромки, м; α – угол резания; s – толщина профиля, м; V – коэффициент, при помощи которого учитывается влияние на усилие резания угла заострения профиля; μ – величина, зависящая от условий резания (степени блокировки стружки).

При работе предлагаемым режущим оборудованием (рис. 3.12 - 3.14) формула Зеленина А.Н. преобразуется и запишется в виде:

$$P = \sum_{j=1}^n [10Ch_i^{1,35} (1 + 2,6l_i) (1 + 0,0075\alpha) (1 + 0,03s) V\mu] \quad (3.6)$$

где: P – усилие резания, Н/м²; n – количество режущих пластин (листов); C – величина прямо пропорциональная сопротивлению резания (число ударов динамического плотномера); h_i – глубина резания пластины, м; l_i – длина режущей кромки пластины м; α – угол резания; s – толщина профиля, м; V – коэффициент, при помощи которого учитывается влияние на усилие резания угла заострения профиля; μ – величина, зависящая от условий резания (степени блокировки стружки).

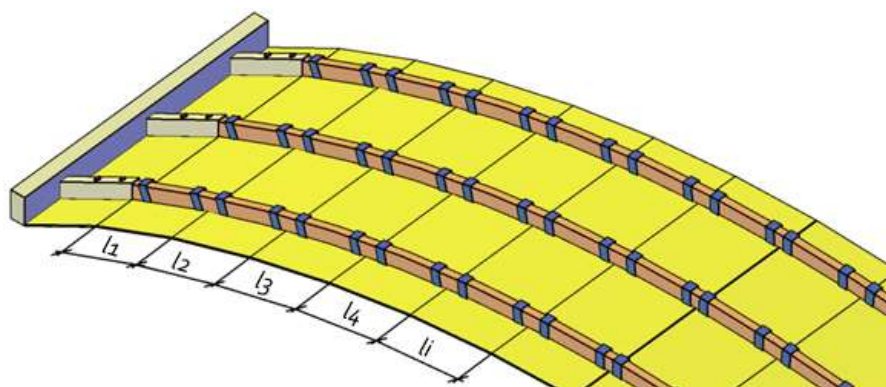


Рисунок 3.12. Длина горизонтальной кромки

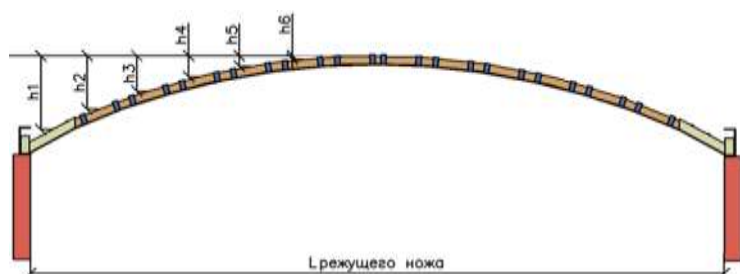


Рисунок 3.13. Глубина резания

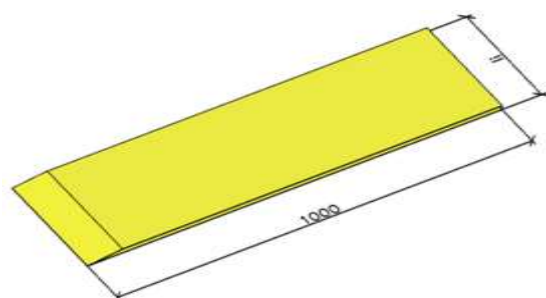


Рисунок 3.14. Геометрические параметры режущего профиля

Влияние технологических факторов на значение силы сопротивления грунта резанию при прочих равных, определяется формулой:

$$P = f(C, L_{рн}, h_i, \alpha, s, v) \quad (3.7)$$

где P – сила сопротивления грунта резанию (усилие резания); C - число ударов динамического плотномера, $L_{рн}$ - длина режущего ножа, м; h_i – глубина резания, м; α – угол резания, s – толщина режущего ножа, м; v – коэффициент.

Исходя из вышеприведенной формулы для определения силы сопротивления грунта резанию, можно выделить группы факторов, влияющих на силу сопротивления грунта резанию:

X1 – Число ударов динамического плотномера в границах 1 – 34.

X2 – Длина оборудования в границах 3,05 – 6,2 м.

X3 – Режим резания в границах 30; 60; 90 градусов.

Приведем факторы к одному масштабу за счет кодирования переменных [1]:

Нижний уровень фактора: z_i^-

Верхний уровень фактора: z_i^+

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (3.8)$$

x_i – кодированное значение фактора;

z_i – натуральное значение фактора;

z_i^0 – центр плана [1];

λ_i – интервал варьирования [1].

$$z_i^0 = \frac{z_i^+ + z_i^-}{2} \quad (3.9) \quad \lambda_i = \frac{z_i^+ - z_i^-}{2} \quad (3.10)$$

Таблица 3.6 - Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень, z_i^+	Нижний уровень, z_i^-	Центр, z_i^0	Интервал варьирования, λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
z_1	34	1	17,5	16,5	$x_1 = \frac{z_1 - 17,5}{16,5}$
z_2	6,2	3,05	4,625	1,575	$x_2 = \frac{z_2 - 4,625}{1,575}$
z_3	90	30	60	30	$x_3 = \frac{z_3 - 60}{30}$

В таблице 3.6 представлены области определения на границах максимального и минимального значений (верхний и нижний уровни), между которыми может изменяться фактор (границы областей определения факторов).

Первый этап планирования эксперимента для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях (+1; -1). Формула для определения числа опытов [1]:

$$N = 2^k \quad (3.11)$$

где N – число опытов, k – число факторов, 2 – число уровней. При трех-факторном эксперименте $N = 2^3 = 8$ опытов.

Матрица планирования эксперимента включает три вектор-столбца независимых переменных и один вектор-столбец параметра оптимизации (табл.3.7).

Таблица 3.7 - Матрица планирования эксперимента 2^3

№ опыта	Факторы			Параметр оптимизации
	Параметры грунтового основания	Параметры опорных контуров	Параметры грунтовых целиков	Толщина прокладки
	X1	X2	X3	
1	1	1	1	Y_1
2	1	1	-1	Y_2
3	1	-1	-1	Y_3
4	1	-1	1	Y_4
5	-1	1	1	Y_5
6	-1	1	-1	Y_6
7	-1	-1	-1	Y_7
8	-1	-1	1	Y_8

В целях реализации полного факторного эксперимента [55] и расчета силы сопротивления грунта резанию (усилия резания) при работе режущего оборудования с учетом влияния определяющих факторов были запроектированы 3 варианта грунтовых профилей с различными значениями технологических факторов [17, 25], влияющих на величину силы сопротивления грунта резанию (усилие резания) (рис.3.15).

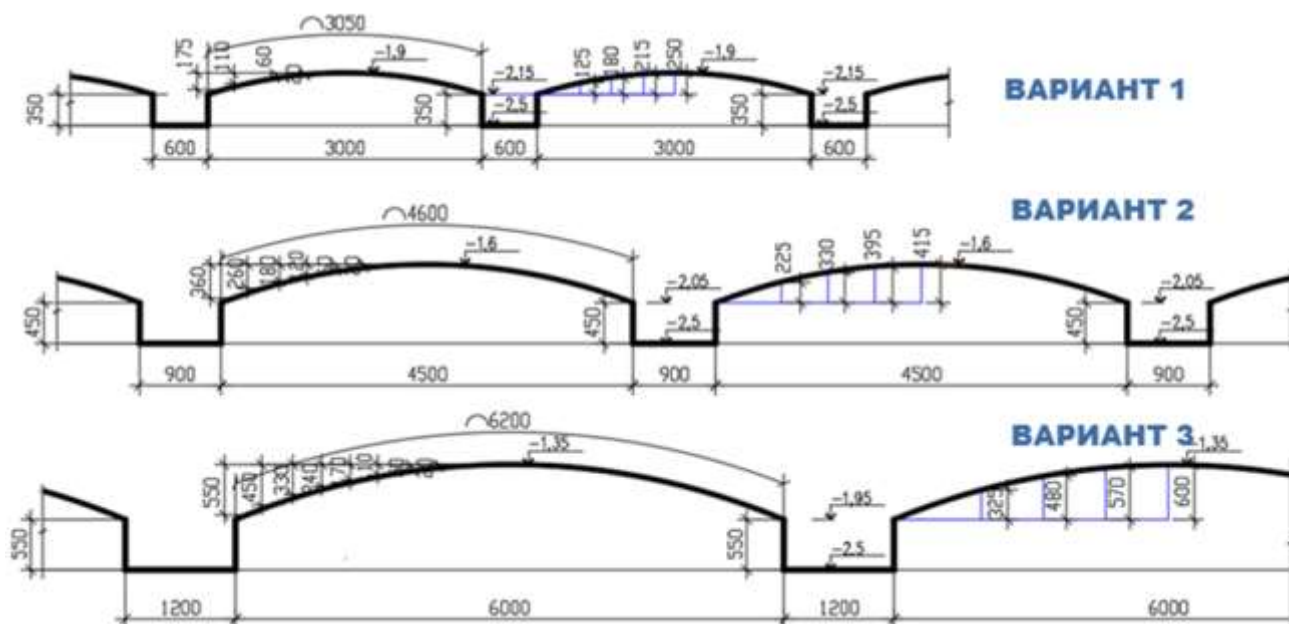


Рисунок 3.15. Варианты профилей грунтового основания

Вариант 1.

В качестве первого варианта рассматривалось режущее оборудование с постоянными геометрическими характеристиками представленными в табл.3.8.

Таблица 3.8 – Постоянные геометрические характеристики режущего оборудования по 1 варианту

Длина горизонтальной кромки, l_i , м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, h_i , м	Толщина режущего ножа, s , м	Коэффициент V	Условия резания, характеризующие μ
0,3	2	0,18	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,11	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,06	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,02	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6

Переменным фактором, влияющим на силу сопротивления грунта резанию, является число ударов динамического плотномера, C , изменяемое в пределах от 1 до 34, а так же угол резания, принимаемый равным 30, 60, 90 градусов.

Результаты расчета силы сопротивления грунта резанию (усилия резания) по 1-му варианту представлены в таблицах 1 – 3 приложения 2.

На основании произведенных расчетов были составлены графики зависимости силы сопротивления грунта резанию от числа ударов динамического плотномера, C и угла резания α (рис.3.16).

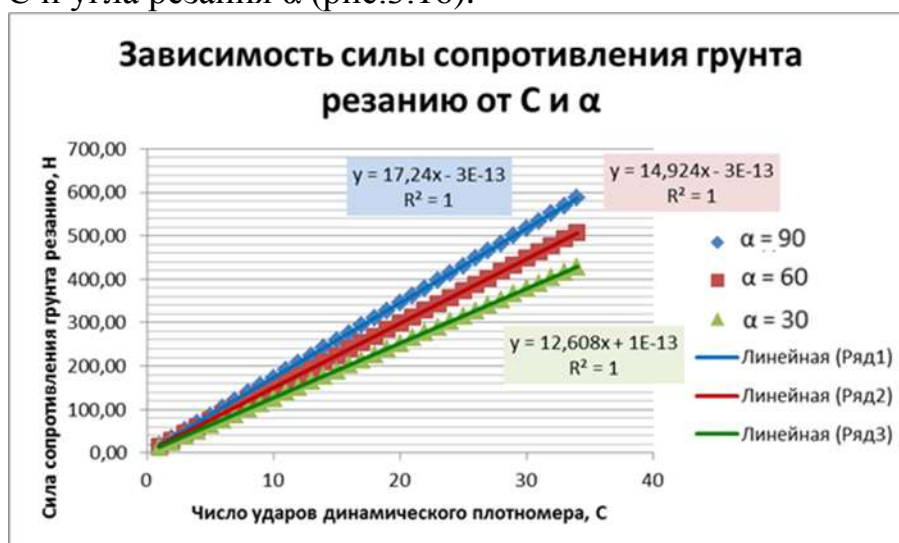


Рисунок 3.16. Зависимость силы сопротивления грунта резанию от C и α . Вариант 1

Анализ графика выявил: с увеличением плотности грунта, характеризуемой числом ударов динамического плотномера, и увеличением угла резания, увеличивается сила сопротивления грунта резанию. Что непосредственно влияет на выбор модели тяговой лебедки, при помощи которой осуществляется перемещение режущего оборудования вдоль направляющих.

Вариант 2.

В качестве второго варианта рассматривалось режущее оборудование с постоянными геометрическими характеристиками представленными в табл.3.9.

Таблица 3.9 – Постоянные геометрические характеристики режущего оборудования по 2 варианту

Длина горизонтальной кромки, l_i , м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, h_i , м	Толщина режущего ножа, s , м	Коэффициент V	Условия резания, характеризующиеся μ
0,3	2	0,36	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,26	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,18	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,12	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,06	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,02	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6
0,4	1	0,01	0,01	1,03	1,6

Переменным фактором, влияющим на силу сопротивления грунта резанию, является число ударов динамического плотномера, C , изменяемое в пределах от 1 до 34, а так же угол резания, принимаемый равным 30, 60, 90 градусов.

Аналогично 1-му варианту были рассчитаны силы сопротивления грунта резанию для всех возможных вариантов грунта с числом ударов динамического плотномера от 1 до 34 при 3-х возможных углах резания - 30, 60, 90 градусов (таблицы в работе не приводятся).

На основании полученных данных были составлены графики зависимости силы сопротивления грунта резанию от числа ударов динамического плотномера, С и угла резания α (рис.3.17).

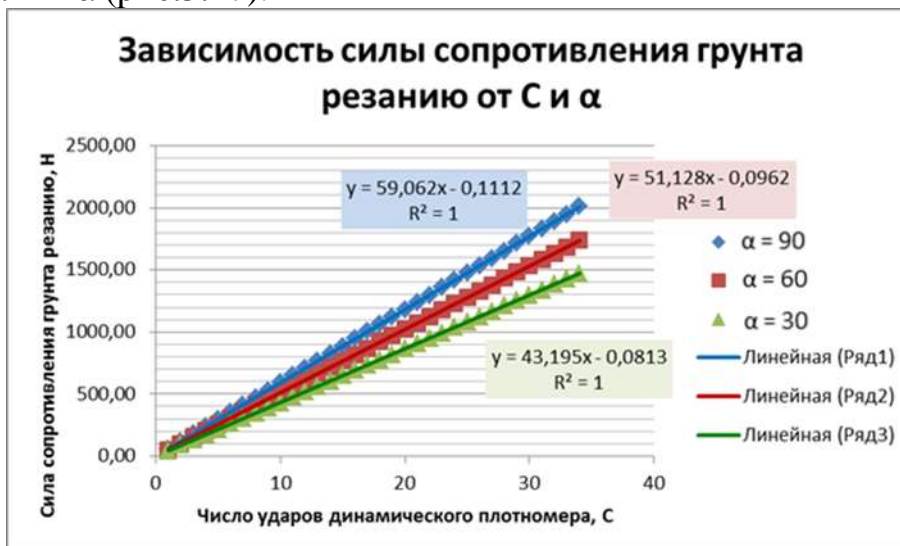


Рисунок 3.17. Зависимость силы сопротивления грунта резанию от С и α . Вариант 2

Анализ графика выявил: с увеличением плотности грунта, характеризуемой числом ударов динамического плотномера и увеличением угла резания, увеличивается сила сопротивления грунта резанию. Что непосредственно влияет на выбор модели тяговой лебедки, при помощи которой осуществляется перемещение режущего оборудования вдоль направляющих.

Вариант 3.

В качестве третьего варианта рассматривалось режущее оборудование с постоянными геометрическими характеристиками представленными в табл.3.10.

Таблица 3.10 – Постоянные геометрические характеристики режущего оборудования по 3 варианту

Длина горизонтальной кромки, l_i , м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, h_i , м	Толщина режущего ножа, s , м	Коэффициент V	Условия резания, характеризующие μ
1	2	3	4	5	6
0,3	2	0,36	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,26	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,18	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,12	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,06	0,01	1,03	1,6

1	2	3	4	5	6
0,3	2	0,02	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6
0,3	2	0,01	0,01	1,03	1,6
0,4	1	0,01	0,01	1,03	1,6

Переменным фактором, влияющим на силу сопротивления грунта резанию, является число ударов динамического плотномера, C , изменяемое в пределах от 1 до 34, а так же угол резания, принимаемый равным 30, 60, 90 градусов.

Аналогично 1 и 2-му вариантам были рассчитаны силы сопротивления грунта резанию для всех возможных вариантов грунта с числом ударов динамического плотномера от 1 до 34 при 3-х возможных углах резания - 30, 60, 90 градусов (таблицы в работе не приводятся).

На основании полученных данных были составлены графики зависимости силы сопротивления грунта резанию от числа ударов динамического плотномера, C и угла резания α (рис.3.18).

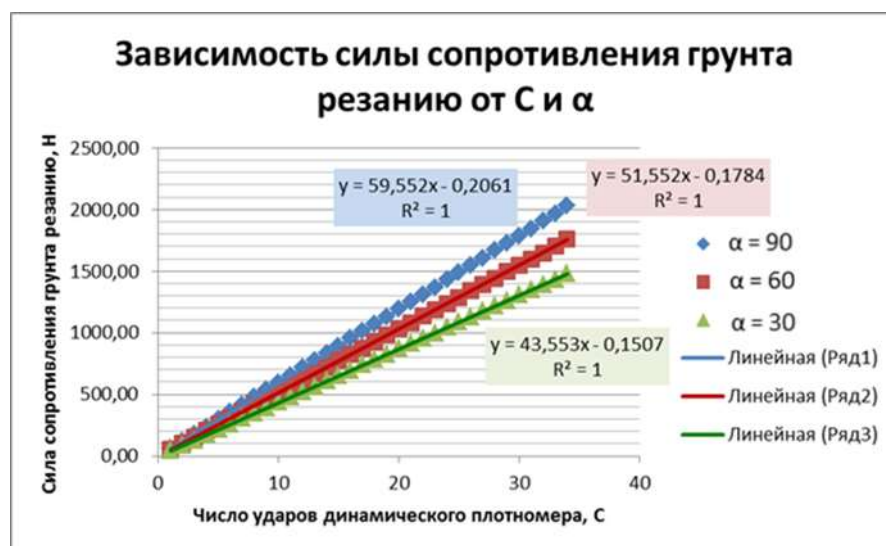


Рисунок 3.18. Зависимость силы сопротивления грунта резанию от C и α . Вариант 3

Анализ графика выявил: с увеличением плотности грунта, характеризуемой числом ударов динамического плотномера и увеличением угла резания, увеличивается сила сопротивления грунта резанию. Что непосредственно влияет на выбор модели тяговой лебедки, при помощи которой осуществляется перемещение режущего оборудования вдоль направляющих.

В результате произведенных расчетов были сформированы таблицы, соответствующие матрице планирования эксперимента, с учетом влияния факторов на верхних и нижних границах (табл. 3.11 – 3.12).

Таблица 3.11 - Расчетная сила сопротивления грунта резанию на верхних и нижних уровнях факторов

№ образца	Число ударов динамического плотномера, С	Длина режущего ножа, м	Угол резания α	Сила сопротивления грунта резанию, Н
1	1	3	4	5
1	34	6,2	90	2029,92
2	34	6,2	30	1484,57
3	34	3,05	30	428,68
4	34	3,05	90	586,15
5	1	6,2	90	59,52
6	1	6,2	30	43,53
7	1	3,05	30	12,61
8	1	3,05	90	17,24

Линейная модель следующего вида [1]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_{12} + b_{13}x_{13} + b_{23}x_{23} + b_{123}x_{123} \quad (3.12)$$

Вычисление оценок коэффициентов [1] производят по формуле (3.13):

$$b_j = \frac{\sum_{i=0}^N x_{ji}y_i}{N}, j = 0, 1, \dots, k \quad (3.13)$$

Значение коэффициента b_0 [1]:

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{N}, \quad (3.14)$$

После проведения численных исследований автором аппроксимированы полученные результаты в зависимости от параметров, указанных в формуле 3.7, предложены аналитические зависимости расчета силы сопротивления грунта резанию.

Таким образом, при работе режущего оборудования в заданных условиях, необходимо принимать силу сопротивления грунта резанию, рассчитываемую по формуле:

$$P = 582,8 + 549,6X_1 + 321,6X_2 + 90,43X_3 + 303,3X_1X_2 + 85,3X_1X_3 + 49,9X_2X_3 + 47X_1X_2X_3 \quad (3.15)$$

где: X_1 – число ударов динамического плотномера (С); X_2 – длина дуги режущего оборудования ($L_{рн}$); X_3 – угол резания (α).

Наиболее весомыми факторами, влияющими на силу сопротивления грунта резанию грунта, являются: механическая характеристика грунтового основания (число ударов динамического плотномера) (x_1) и длина дуги режущего оборудования (x_2). С увеличением плотности срезаемого грунта и увеличением длины дуги режущего ножа увеличивается усилие, необходимое для срезки грунта (знак «плюс»). Материал п.3.3. изложен автором в статье [124].

Таблица 3.12 – Взаимодействие факторов

№ опыта	ФАКТОРЫ			ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ				Сила сопроти- вления грунта резанию, Н	ФАКТОРЫ			ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ			
	Число ударов динами- ческого плотно- мера, С	Длина режу- щего ножа, м	Угол реза- ния α	X1 X2	X1 X3	X2 X3	X1 X2 X3		X1 Y1	X2 Y1	X3 Y1	X1 X2 Y1	X1 X3 Y1	X2 X3 Y1	X1 X2 X3 Y1
1	1	1	1	1	1	1	1	2029,92	2029,9	2029,9	2029,9	2029,9	2029,9	2029,9	2029,9
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1484,57	1484,6	1484,6	-1484,6	1484,6	-1484,6	-1484,6	-1484,6
3	1	-1	-1	-1	-1	1	1	428,68	428,68	-428,68	-428,68	-428,68	-428,68	428,68	428,68
4	1	-1	1	-1	1	-1	-1	586,15	586,15	-586,15	586,15	-586,15	586,15	-586,15	-586,15
5	-1	1	1	-1	-1	1	-1	59,52	-59,52	59,52	59,52	-59,52	-59,52	59,52	-59,52
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	43,53	-43,53	43,53	-43,53	-43,53	43,53	-43,53	43,53
7	-1	-1	-1	1	1	1	-1	12,61	-12,61	-12,61	-12,61	12,61	12,61	12,61	-12,61
8	-1	-1	1	1	-1	-1	1	17,24	-17,24	-17,24	17,24	17,24	-17,24	-17,24	17,24

3.4. Описание конструкции нового режущего оборудования

Для решения задач по снижению трудоемкости проведения земляных работ, повышению качества поверхности подбололочечного массива грунта под железобетонную оболочку, уменьшению доли тяжелого ручного труда землекопов предложена конструкция режущего оборудования «передвижной нож для срезки грунта».

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что использование технологически простого режущего оборудования обеспечивает снижение трудоемкости производства ручных земляных работ, соблюдение проектной кривизны грунтового целика, являющегося залогом качественного устройства всего фундамента.

Оборудование «передвижной нож для срезки грунта» состоит из (рис.3.19): двух металлических направляющих в виде швеллера П16, длина направляющих определена длиной грунтового целика плюс один метр с одной стороны для удобства установки режущего ножа в направляющие; двух прямоугольных труб размером 100 x 50 мм, длиной 100 см, с помощью которых осуществляется перемещение трубы внутри и вдоль направляющих; шести металлических прямоугольных труб размером 60 x 30 мм, длиной 30 см, в которые вставляются и заземляются гнутые трубы размером 50 x 25 мм, длиной соизмеримой с длиной выпуклого вверх грунтового основания; металлических листов размером 100 x 30 см, являющихся режущими элементами, закрепляемыми на гнутых трубах при помощи металлических петель.

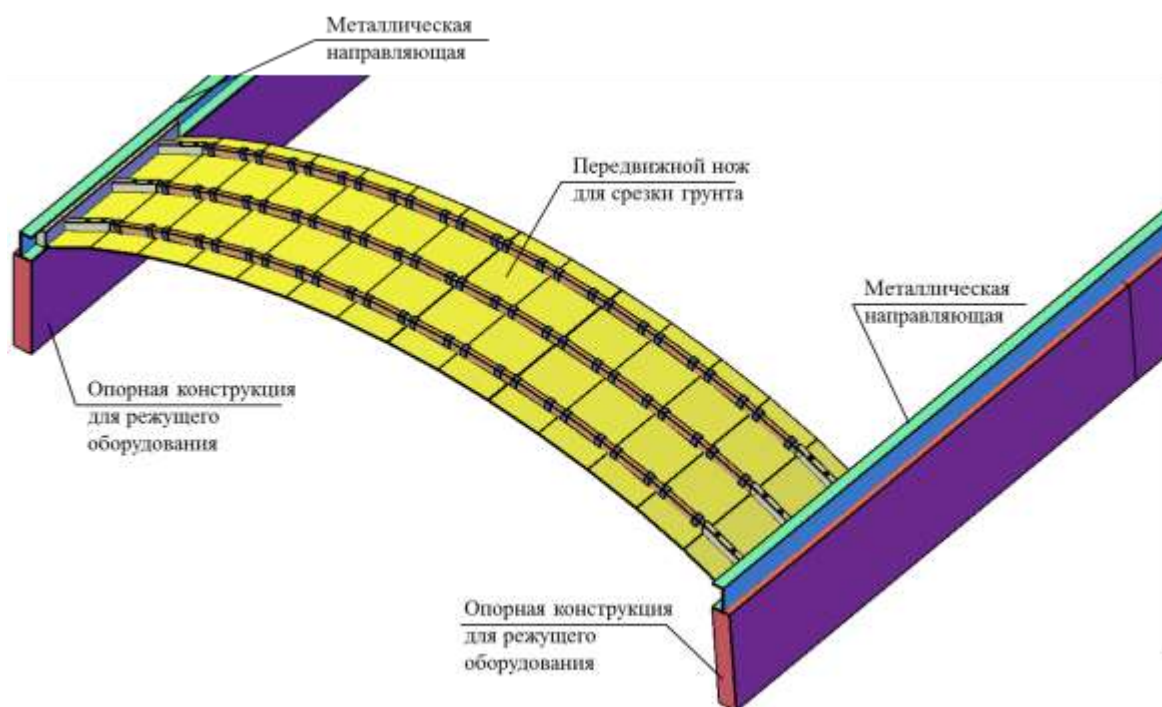


Рисунок 3.19. Общий вид оборудования «передвижной нож для срезки грунта»

Спецификация оборудования длиной дуги 5,1 м представлена в таблице 3.13.

Таблица 3.13. - Спецификация оборудования

Поз.	Наименование	Кол.	Масса, ед.кг/пог.м	Общий вес, кг	Примечание
1	Металлическая направляющая	2	14,2	170,4	∟П16 L = 600 см
	Режущее оборудование				
2	Металлическая замкнутая труба Толщина стенки 5 мм	2	10,65	21,3	□100x50 L = 100 см
3	Металлическая полая труба Толщина стенки 3 мм	6	3,83	6,9	□60x30 L = 30 см
4	Гнутая металлическая труба Толщина стенки 3 мм	3	3,13	47,9	□50x25 L = n см 5,1м
5	Металлические листы (пластины)	n	9,43	160,3	100x30 см
6	Металлические петли	6 шт. на 1 мет. лист	0,07 кг	7,14	
	Общий вес режущего оборудования, кг			243,5	

Изменение общего веса режущего оборудования зависит от ширины грунтового целика (длины дуги режущего оборудования), что так же влияет на увеличение количества режущих пластин (металлических листов) или изменение их ширины. Ориентировочно общий вес режущего оборудования в зависимости от ширины резания рекомендуется принимать согласно таблице 3.14.

Таблица 3.14 - Общий вес режущего оборудования с учетом ширины резания

Ширина резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Общий вес режущего оборудования, кг	112,6	133,75	154,86	175,97	197,087	218,2	239,3	260,4	281,53

При работе режущего оборудования так же необходимо учитывать вес срезаемого грунта, оказывающего давление на конструкцию и влияющего на выбор модели электрической лебедки, применяемой для перемещения режущего оборудования.

Ориентировочно вес грунта в зависимости от ширины резания рекомендуется принимать согласно таблице 3.15 (в качестве примера рассмотрен грунт суглинок массой 1 м³ грунта естественной плотности – 1700 кг) при высоте подъема стрелы режущего оборудования $f = 1/8 L$. Вес грунта учитывается на 1 м ширины режущего оборудования.

Таблица 3.15 - Вес грунта с учетом ширины резания

Ширина резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Вес грунта (суглинок ρ 1700 кг/м ³), кг	425	664,06	956,3	1301,6	1700	2151,6	2656,3	3214	3825

Таким образом, ориентировочно общее суммарное давление на направляющие при перемещении режущего оборудования с грунтом при помощи электролебедки составляет согласно таблице. 3.16.

Таблица 3.16 - Общий вес с учетом ширины резания

Ширина резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Вес грунта (суглинок ρ 1700 кг/м ³), кг	537,6	797,8	1111,1	1477,5	1897,1	2369,8	2895,6	3474,5	4106,5

Сборка режущего ножа осуществляется следующим образом (рис.3.20): 1) «неразборная часть»: к двум металлическим замкнутым трубам размером профиля 100х50, длиной 100 см привариваются по три металлические полые трубы размером профиля 60х30, длиной 30 см под углом, обеспечивающим заданную кривизну подбололочечного массива грунта, снизу к данным полым трубам привариваются крайний левый и крайний правый металлические листы; 2) «разборная часть оборудования»: в полые трубы с одной стороны вставляются и закрепляются болтовым соединением гнутые по заданному диаметру трубы размером профиля 50х25, длиной определяющей длину верхней поверхности планируемого грунтового целика; далее на три гнутых трубы нанизываются металлические пластины размером 100х30 см через специальные металлические петли, приваренные к ним сверху; после полной сборки металлических пластин, оставшийся свободным конец гнутых труб, вставляется в трубы большего диаметра и фиксируется болтовым соединением.

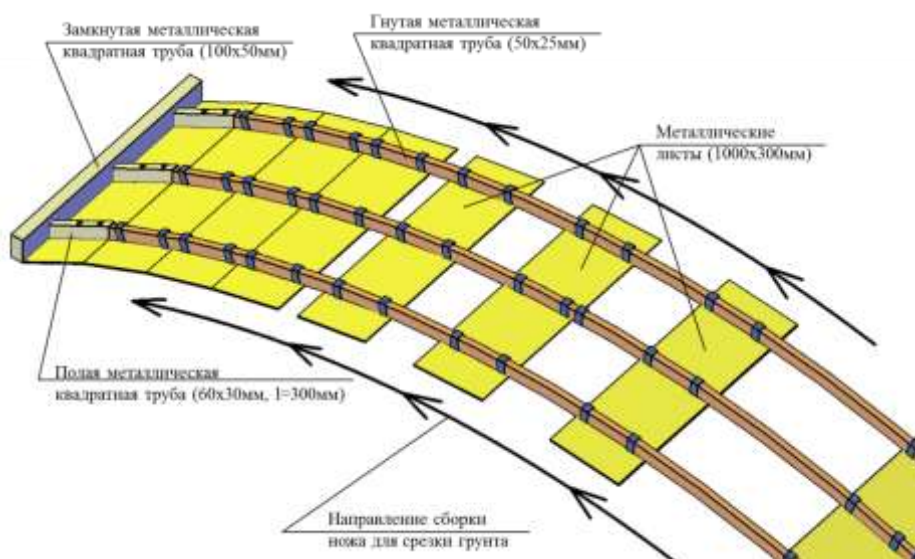


Рисунок 3.20. Сборка режущего оборудования

В целях создания универсального оборудования, применяемого для различных ширин грунтовых целиков, предлагается сборка гнутых труб сечением 50х25 по принципу «труба в трубу» (рис.3.21).

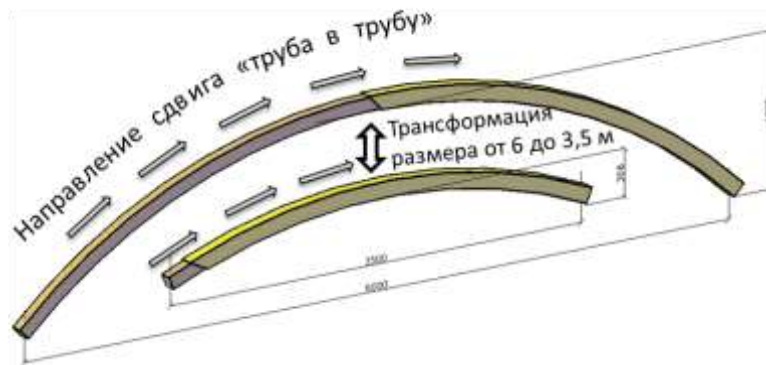


Рисунок 3.21. Трансформация размера режущего оборудования

Расчетно-графическим путем было установлено, что при использовании принципа «труба в трубу» отношение высоты подъема стрелы режущего оборудования к ширине режущего оборудования, находятся в пределах требуемых значений $1/5 \div 1/12$. На рисунке 3.22. представлено уменьшение ширины режущего оборудования с шагом 0,5 м за счет вставки трубы меньшего диаметра в трубу большего диаметра по принципу «труба в трубу».

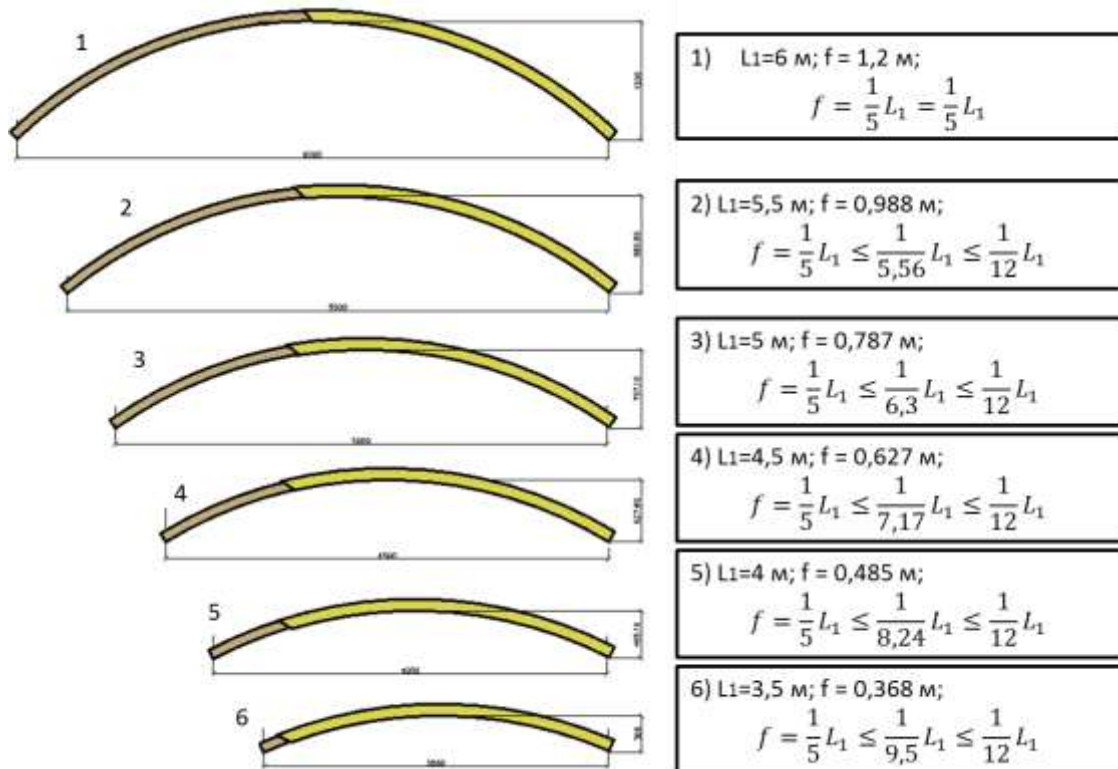


Рисунок 3.22. Изменение размеров режущего оборудования с использованием системы «труба в трубу»

3.5. Порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования

С помощью предлагаемого оборудования для резки грунта процесс формирования криволинейной поверхности грунтового основания из полностью ручного процесса переходит в полумеханизированный процесс, что обеспечивает технологическую простоту формирования подбололочного массива с соблюдением проектной точности, облегчает процесс производства работ, сокращает время работы, улучшает качество контактной поверхности.

Технология формирования криволинейной поверхности грунтового основания при помощи режущего оборудования заключается в следующих технологических операциях:

- монтажники 3, 4 разряда производит сборку режущего оборудования на бровке котлована из заранее заготовленных деталей;
- монтажники 5, 4 и 3 разряда устанавливают по периметру грунтового целика опорные металлические конструкции в виде металлических ферм, служащие опорой для перемещения режущего оборудования;
- к верхнему поясу металлических ферм, установленных вдоль грунтового целика, монтажники 5, 4 и 3 разряда крепят металлические направляющие из металлопроката (швеллер П16); длина направляющей определяется длиной грунтового целика, плюс 1 м для установки режущего оборудования (монтажный столик);
- монтажник 3 разряда выполняет строповку режущего ножа;
- машинист крана осуществляет подъем, перемещение, установку режущего ножа при помощи монтажников 5, 4 и 3 разряда на монтажном столике, заводя режущий нож в направляющие;
- такелажники 3 и 2 разряда закрепляют режущее оборудование при помощи каната, соединяя с лебедкой;
- такелажники 3 и 2 разряда осуществляет контроль за работой лебедки и за перемещением режущего ножа;
- после завершения прохода режущего оборудования, землекопы 1 разряда в количестве 2-х человек осуществляют перекидку срезанного грунта.

Для определения норм времени работы режущего оборудования необходимо учитывать силу сопротивления грунта, рассчитанную в п. 3.3., в зависимости от факторов влияния.

При работе режущего оборудования необходимо выбрать модель электрической лебедки, применяемой для перемещения ножа вдоль направляющих.

Для определения необходимого тягового усилия лебедки, помимо силы сопротивления грунта резанию необходимо так же учитывать вес режущего оборудования с учетом длины грунтового целика, влияющей на количество режущих пластин. При исследовании силы сопротивления грунта резанию в п. 3.3. были запроектированы три варианта грунтовых профилей. При этом для первого варианта грунтового профиля вес режущего ножа составляет 157 кг, для второго варианта – 222 кг, для третьего варианта – 290 кг. Так же, согласно рекомендациям производителей лебедочных приспособлений, тяговое усилие лебедки необходимо брать с запасом прочности.

На основании расчетов в п.3.3. и анализа лебедочного оборудования, была составлена таблица (табл.3.17) по определению модели электрических лебедок в зависимости от максимальной глубины резания, максимальной ширины резания, с учетом максимального веса режущего оборудования.

Таблица 3.17 - Техническая характеристика электрических лебедок, применяемых при определенных условиях резания грунта режущим оборудованием

Наименование показателей электрических лебедок при перемещении режущего ножа	Ед. изм.	Модель электрических лебедок							
		ЛМ-0,35	ТЛЧ-14А	ТЛ-14Б	ЛМЧ-1		ЛМ-1,25		
Тяговое усилие на канате	т	0,35	0,42	0,63	1,0		1,25		
Канатоемкость барабана	м	80	80	50	100		250		
Скорость намотки каната	м/с	0,2	0,45	0,35	0,3		0,37		
Скорость намотки каната	м/мин	12	27	21	18		22,2		
Мощность электродвигателя	кВт	1,5	3,0	3,0	4,0		4,0		
Напряжение	В	400	400	400	400		400		
Масса (без каната)	Кг	75	280	220	270		320		
Управление		Электрическое							
При числе ударов динамического плотномера:	число	1-21	22-34	1-2	3-21	1-11	22-34	12-34	12-34
При максимальной глубине резания:	м	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	св. 0,6
При максимальной ширине резания:	м	3,5	3,5	5	5	6,5	5	6,5	св. 6,5
при массе режущего оборудования:	т	0,157	0,157	0,222	0,222	0,29	0,222	0,29	св. 0,29

В рамках исследования была разработана калькуляция затрат труда для определения норм затрат труда на срезку грунта по криволинейной поверхности при помощи нового режущего оборудования. В табл.3.18 представлен расчет производительности труда по срезке грунта по цилиндрической выпуклой вверх поверхности при устройстве вспомогательного оборудования из металлических

ферм для грунтового целика шириной 6 м и длиной резания 6 м (площадью срезаемой поверхности 36 м²).

Таблица 3.18 – Расчет производительности труда при срезке грунта по цилиндрической выпуклой вверх поверхности при устройстве вспомогательного оборудования из металлических ферм, S = 36 м²

№ п/п	Наименование процесса	Ед. изм.	Кол-во	Состав звена	Продолжительность, час	Норма времени		Обоснование
						На ед.	На объем	
1	Монтаж металлической фермы, L = 6 м, массой 215 кг	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е4-1-37, табл.2, 1
	Добавлять на 1 т	т	0,43	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,142</u> 0,142	<u>1</u> 0,33	<u>0,43</u> 0,142	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
2	Монтаж металлической фермы, L = 6 м, массой 47 кг	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	<u>0,3</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е4-1-37, табл.2, 2
	Добавлять на 1 т	т	0,094	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,031</u> 0,031	<u>1</u> 0,33	<u>0,094</u> 0,031	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
3	Монтаж металлических направляющих	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
	Добавлять на 1 т	т	0,213	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,071</u> 0,07	<u>1</u> 0,33	<u>0,213</u> 0,07	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
4	Монтаж режущего оборудования	Один конструктивный элемент	1	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	<u>0,1</u> 0,1	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,3</u> 0,1	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
	Добавлять на 1 т	т	0,282	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,094</u> 0,094	<u>1</u> 0,33	<u>0,282</u> 0,094	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
5	Перемещение режущего оборудования с помощью лебедок, масса груза до 0,4 т, расстояние до 10 м.	1 шт. груза	1	Такелажники: 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.; Машинист крана 3 р – 1 чел.	<u>0,18</u> 0,12	<u>0,36</u> 0,12	<u>0,36</u> 0,12	Е25-20, табл. 2, стр. 1
6	Перекидка грунта	1 м3 грунта	13,5	Землекоп 1 р – 2 чел.	1,28	0,19	2,565	§ Е2-1-47, табл. 3, стр. 1
Итого					<u>2,598</u> 1,156		<u>6,044</u> 1,156	

Аналогичным образом были произведены расчеты норм затрат труда для 81 варианта работы оборудования с различными ширинами и длинами резания. В табл. 3.19. представлены результаты расчетов норм затрат труда (чел.час. и маш.час.) при следующих условиях резания: при изменении ширины резания в

границах от 2 до 6 м, с шагом 0,5 м; при изменении длины резания в границах от 2 до 6 м, с шагом 0,5 м. Промежуточные значения следует определять интерполяцией.

Таблица 3.19 - Нормы затрат труда при условиях резания

Показатель	Ширина резания, L = 6 м								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,9	4,17	4,44	4,7	4,97	5,2	5,5	5,77	6,04
Норма затрат труда, маш.час.	1,01	1,03	1,05	1,06	1,085	1,1	1,12	1,13	1,15
	Ширина резания, L = 5,5 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,74	3,97	4,2	4,44	4,67	4,9	5,14	5,37	5,6
Норма затрат труда, маш.час.	1	1,022	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
	Ширина резания, L = 5 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,58	3,78	3,98	4,19	4,39	4,59	4,79	4,99	5,2
Норма затрат труда, маш.час.	0,99	1,01	1,03	1,05	1,066	1,08	1,01	1,11	1,14
	Ширина резания, L = 4,5 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,44	3,61	3,79	3,96	4,14	4,31	4,486	4,66	4,83
Норма затрат труда, маш.час.	0,98	1	1,02	1,04	1,056	1,07	1,09	1,1	1,127
	Ширина резания, L = 4 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,31	3,46	3,61	3,76	3,9	4,057	4,2	4,35	4,5
Норма затрат труда, маш.час.	0,97	0,99	1,01	1,03	1,047	1,06	1,08	1,1	1,11
	Ширина резания, L = 3,5 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,19	3,32	3,45	3,57	3,7	3,82	3,95	4,08	4,2
Норма затрат труда, маш.час.	0,97	0,98	1	1,01	1,037	1,055	1,07	1,09	1,1
	Ширина резания, L = 3 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел.час.	3,089	3,196	3,3	3,411	3,51	3,65	3,73	3,84	3,94
Норма затрат труда, маш.час.	0,957	0,97	0,99	1,01	1,028	1,045	1,06	1,08	1,0988
	Ширина резания, L = 2,5 м								

<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел. час.	2,99	3,08	3,17	3,27	3,36	3,449	3,539	3,63	3,72
Норма затрат труда, маш. час.	0,94	0,96	0,98	1	1,018	1,036	1,053	1,07	1,089
	Ширина резания, L = 2 м								
При длине резания, м	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Норма затрат труда, чел. час.	2,9	2,99	3,067	3,14	3,22	3,299	3,377	3,45	3,53
Норма затрат труда, маш. час.	0,94	0,955	0,97	0,99	1	1,026	1,044	1,062	1,079

На основании произведенных расчетов были составлены график изменения норм затрат труда в зависимости от длины резания (рис. 3.23) и график изменения норм затрат труда в зависимости от ширины резания (рис. 3.24).

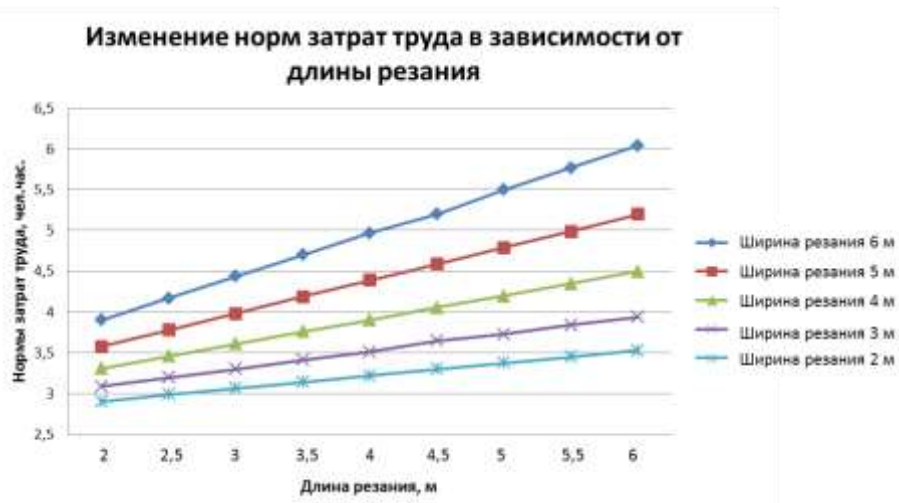


Рисунок 3.23. Изменение норм затрат труда в зависимости от длины резания

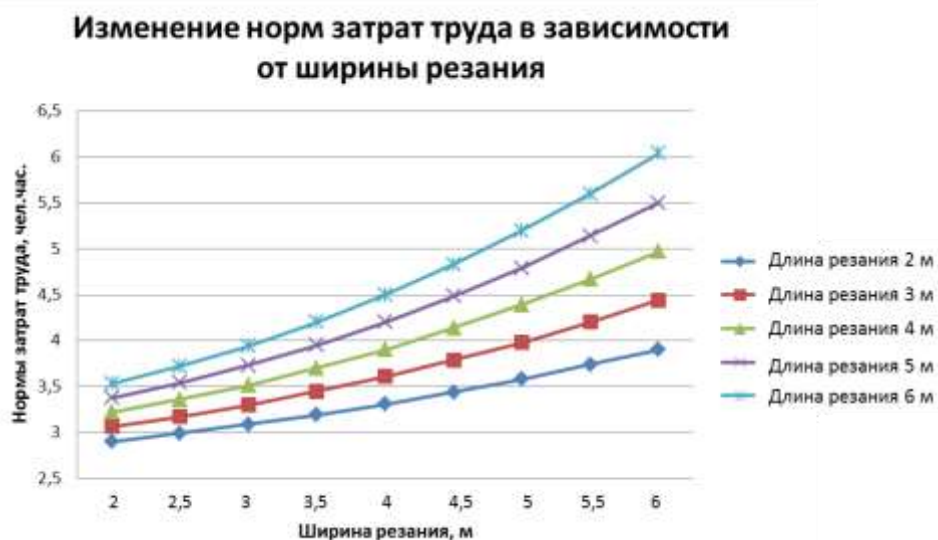


Рисунок 3.24. Изменение норм затрат труда в зависимости от ширины резания

Анализ графиков показал, что наиболее весомым фактором, влияющим на увеличение нормы затрат труда является длина резания грунтового целика новым

режущим оборудованием, что в большей степени обусловлено затратами труда на устройство опоры для перемещения режущего оборудования из металлических ферм.

Рекомендуемый состав звена рабочих:

Монтажник конструкций 5 р – 1 чел.; 4 разр. – 1 чел.; 3 разр. – 1 чел.;

Такелажники 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.;

Машинист крана б р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.;

Землекоп 1 разр. – 2 чел.

Пример расчета и сравнение трудозатрат при формировании криволинейной поверхности грунтового основания при помощи режущего оборудования и вручную.

Исходные данные: профиль грунта имеет следующие геометрические параметры (рис.3.25): ширина грунтового целика – 6 м, длина грунтового целика – 6 м, высота грунтового целика – 1,35 м, высота стрелы подъема цилиндрической поверхности – 0,75 м, длина режущего ножа – 6,2 м, число ударов динамического плотномера при исследовании свойств грунта – 12.

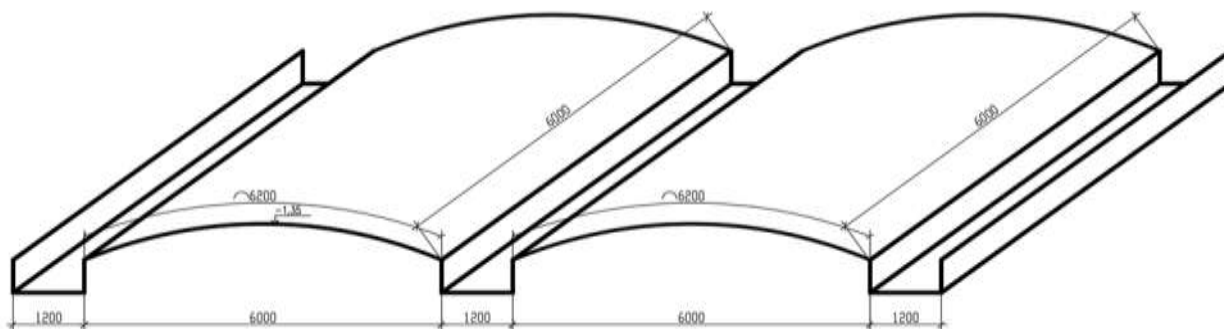


Рисунок 3.25. Профиль грунта для примера расчета трудозатрат

Пример расчета трудозатрат при формировании криволинейной поверхности грунтового основания при помощи режущего оборудования:

В зависимости от геометрических параметров грунтового профиля и режущего оборудования, по табл.3.17 подбираем модель электрической лебедки: Лебедка ГЛ-14Б.

Трудозатраты на срезку грунта режущим оборудованием:

$N_{вр} = 6,04$ чел.час. на 1 грунтовой целик – принята согласно норм затрат труда, определяемой по табл. 3.19;

$V_p = 1$ грунтовой целик при ширине резания 6 м, длине резания 6 м.

$T_{ср.гр} = 6,04$ чел. час. x 1 гр.целик = 6,04 чел.час.

Пример расчета трудозатрат при формировании криволинейной поверхности грунтового основания при разработке грунта вручную:

Трудозатраты определяются, как норма времени, умноженная на объем разрабатываемого грунта:

$$T_{з.тр.} = N_{вр} \times V_p \quad (3.16)$$

Норма времени принята согласно ЕНиР «Механизированные и ручные земляные работы», § Е2-1-47 Таблица 1 (1; ж):

$$N_{вр} = 1,9 \text{ чел. час. на } 1 \text{ м}^3;$$

$$V_p = 13,5 \text{ м}^3.$$

Трудозатраты на разработку грунта:

$$T_{з.тр.разр.} = 1,9 \text{ чел. час.} \times 13,5 \text{ м}^3 = 25,65 \text{ чел. час.}$$

Трудозатраты на перекидку грунта:

$$T_{перекид.гр.} = 0,19 \text{ чел. час.} \times 13,5 \text{ м}^3 = 2,565 \text{ чел. час.}$$

Общие трудозатраты на формирование грунта вручную составляют:

$$T_{з.тр.} = T_{з.тр.разр.} + T_{перекид.гр.} = 25,65 \text{ чел. час.} + 2,565 \text{ чел. час.} = 28,215 \text{ чел. час.}$$

Таким образом, как показал пример расчета, трудоемкость производства работ при помощи нового режущего оборудования снижается в 4,7 раз (снижение составляет 78,6%) по сравнению с ручным формированием грунтовых целиков при помощи совковых и штыковых лопат (рис. 3.26).

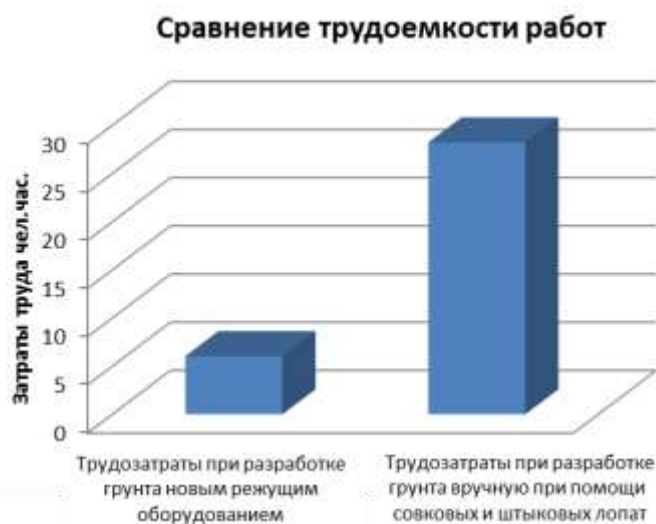


Рисунок 3.26. Сравнение трудозатрат при формировании криволинейной поверхности грунтового основания при помощи режущего оборудования и вручную

3.6. Новый способ формирования криволинейной поверхности подбололочечного массива грунта

Задачами предлагаемого способа являются: снижение технологических сложностей и трудоемкости производства ручных земляных работ, связанных с формированием криволинейной формы подбололочечного массива грунта, так, чтобы высота подъема стрелы цилиндрической поверхности была в пределах $(1/5 \div 1/12)L_1$, где L_1 – величина пролетной части фундамента, с условием ненарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой; расширение области применения фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности за счет механизации труда; повышение контроля соблюдения проектной геометрической точности криволинейной поверхности подбололочечного массива (согласно проекта), повышение качества поверхности подбололочечного массива, непосредственно контактирующего с железобетонной оболочкой фундамента.

Работа оборудования осуществляется следующим образом: на первом этапе производят анализ геометрии всех криволинейных выпуклых вверх грунтовых целиков, предусмотренных проектом; конструируют неразборные части оборудования режущего ножа; заготавливают необходимое количество элементов разборной части оборудования с учетом ширины грунтовых целиков (длины дуги режущего оборудования) и высоты подъема стрелы цилиндрического грунтового основания; на втором этапе на бровке котлована производят сборку одного или нескольких режущих ножей; на третьем этапе производят монтаж оборудования при помощи крана в исходное положение для резки грунта, закрепляют лебедку, прикрепляют тросом оборудование к крюку лебедки; на четвертом этапе производят срезку грунта, перемещая оборудование вдоль направляющих при помощи электролебедки.

Способ формирования криволинейной поверхности подбололочечного массива, осуществляется следующим образом (рис.3.27): 1 – производится разработка грунта в котловане экскаватором до верхней отметки грунтового профиля криволинейной формы; 2 – производится разработка грунта экскаватором в траншеях под опорные контуры; 3 – вдоль необработанного грунтового целика устанавливается опорная конструкция для режущего оборудования; 4 – сверху на опору крепятся направляющие из металлопроката (швеллер П16); 5 – краном подается предварительно собранный режущий нож и устанавливается в направляющие; 6 – нож свободно перемещается вдоль направляющих при помощи электролебедки.

При этом снижаются технологические сложности производства работ и трудоемкость разработки грунта в 4,7 раз по сравнению с ручным формированием криволинейной поверхности подбололочечного массива грунта; обеспечивается

технологичность устройства фундамента за счет применения средств механизации; обеспечивается максимальное соблюдение проектной геометрической точности поверхности подбололочечного массива; в целом повышается качество поверхности подбололочечного массива грунта, являющегося залогом качественного устройства всего фундамента.

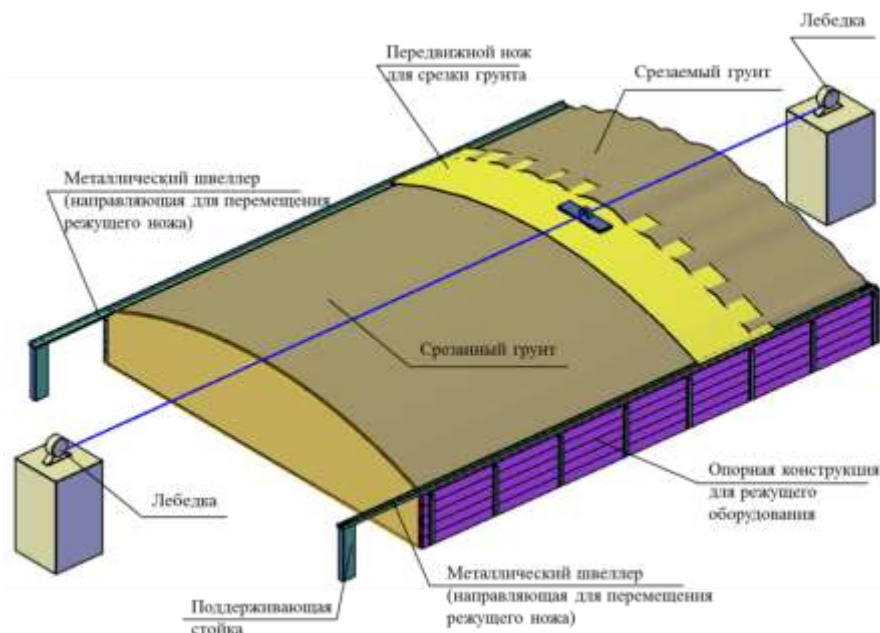


Рисунок 3.27. Предлагаемый способ резания грунта

Предлагаемый способ имеет следующие преимущества:

- 1) снижаются технологические сложности и трудоемкость разработки грунта при ручном формировании криволинейной поверхности грунтовых целиков, формирующих подбололочечный массив;
- 2) снижается зависимость трудоемкости и сроков формирования криволинейной поверхности грунтового массива от типа естественного основания грунта и его физико-механических свойств;
- 3) обеспечивается технологичность устройства фундамента за счет применения средств механизации при формировании криволинейной формы контактной поверхности фундамента;
- 4) снижается зависимость от климатических условий, в том числе от воздействия атмосферных осадков;
- 5) обеспечивается максимальное соблюдение проектной геометрической точности поверхности подбололочечного массива;
- 6) повышается качество поверхности подбололочечного массива грунта, являющегося залогом качественного устройства всего фундамента;
- 7) снижаются требования к опыту работы рабочих, выполняющих технологические операции по устройству фундамента.

Разработан «Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика» (Приложение 6).

3.7. Экспериментальное исследование работы модели режущего оборудования в полевых условиях

Для оценки качества срезаемой поверхности грунта произведено экспериментальное исследование [12] работы модели режущего оборудования в полевых условиях. С целью проведения натурного эксперимента была создана модель режущего оборудования в масштабе 1:20 (рис.3.28-3.29).

Модель режущего оборудования представляет собой металлическую конструкцию, выполненную из металлических прямоугольных труб размером сечения 25 x 20 мм длиной 500 мм, приваренных к ним трех гнутых труб размером сечения 20 x 20 мм длиной 1000 мм, приваренного к ним металлического листа размером 500 x 1000 мм, толщиной 1 мм. Сверху на гнутые металлические трубы приварены специальные петли для строповки режущего оборудования к лебедке с целью его перемещения вдоль грунтового целика по металлическим направляющим.

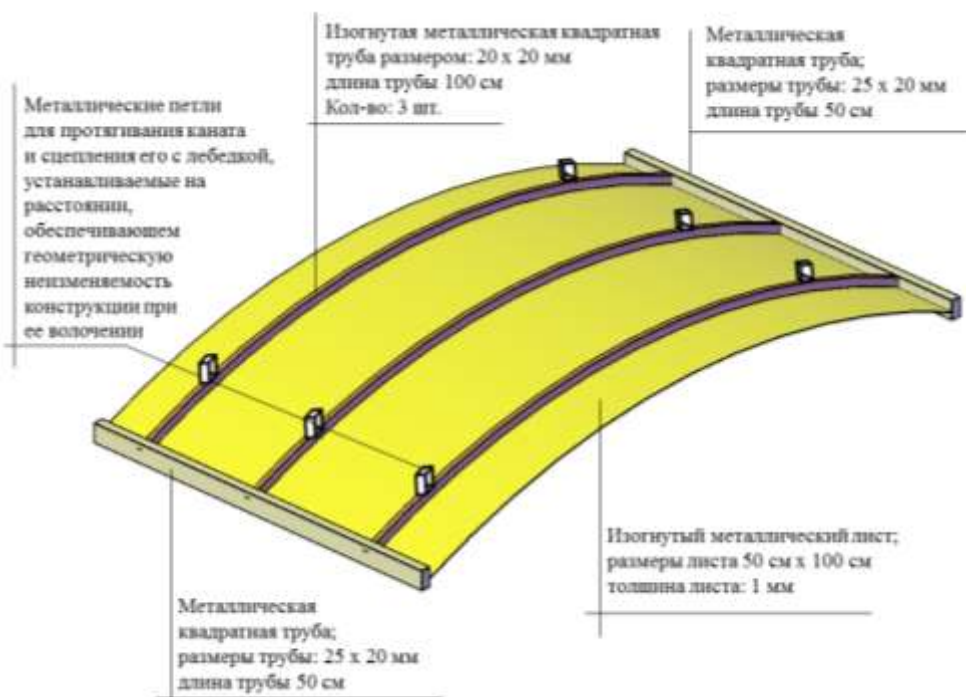


Рисунок 3.28. Проектная модель для эксперимента



Рисунок 3.29. Натурная модель для эксперимента

Эксперимент производился в следующей последовательности: на первом этапе были разработаны две продольные траншеи глубиной 20 см и яма размером 50 на 100 см; в траншее были уложены направляющие из металлического швеллера; в яму на направляющие было установлено режущее оборудование, оснащенное тонким металлическим тросом, протернутым в специализированные петли, расположенные на верхних гнутых трубах (рис.3.30); в первую очередь при помощи оборудования была произведена срезка растительного слоя грунта; далее производилась перекидка грунта из траншей в отвал (рис.3.31); далее производилась доработка дна траншеи на глубину 10 см для последующей прогонки оборудования; цикл повторялся до тех пор, пока не был срезан весь органический грунт и не была достигнута глубина залегания нижележащих глинистых слоев грунта (рис.3.32 – 3.34).



Рисунок 3.30. Подготовительный этап проведения натурального эксперимента



Рисунок 3.31. Первый этап. Срезка растительного слоя



Рисунок 3.32. Движение режущего ножа вдоль направляющих



Рисунок 3.33. Формируемая поверхность грунтового целика



Рисунок 3.34. Поверхность грунтового целика на конечном этапе срезки грунта

На основании изучения нормативно-технических документов, а так же литературных источников [103], устанавливающих требования к качеству производства работ, был произведен контроль качества срезаемой поверхности.

Результаты проведенного контроля качества срезаемой поверхности новым режущим оборудованием (моделью) приведены в таблице 3.20. В данной таблице представлены фактические значения предельных отклонений, полученные в ходе проведения натурного эксперимента моделью режущего оборудования (рис.3.35), а так же разработаны требования по величинам предельных отклонений в условиях строительных площадок при производстве работ новым режущим оборудованием.



Рисунок 3.35. Фиксация отклонений геометрических параметров грунтового целика

Таблица 3.20 – Контроль качества срезаемой поверхности

Техническое требование	Предельное отклонение		Контроль (метод и объем)
	Требуемое при производстве работ в условиях строительных площадок	Фактическое при производстве натурального эксперимента моделью режущего оборудования	
Отклонения отметок дна выемки	±5 см	±0,1 см	Измерительный
Отклонения отметок криволинейной поверхности по вертикали и горизонтали	±3 см	±0,2 см	Измерительный, провешивание, нивелирование
Неровность криволинейной поверхности	±3 см	±0,2 см	Измерительный, микронивелирование
Отклонения отметок криволинейной поверхности по длине грунтового целика	±5 см	±0,3 см	Измерительный, линейные измерения

В результате проведения эксперимента было отмечено высокое качество поверхности (при этом были допущены незначительные недоборы грунта из-за каменистых включений), соблюдение проектной кривизны, технологическая простота производства работ.

3.8. Выводы по главе 3

1. Предложена рабочая гипотеза по снижению трудоемкости производства работ и повышению качества криволинейной поверхности подбололочного массива за счет применения нового режущего оборудования.

2. Исследованы технологические параметры, влияющие на материалоемкость оборудования в зависимости от геометрических параметров грунтовых целиков; построены графики зависимости длины дуги от высоты подъема стрелы режущего, выведены уравнения линейной регрессии, позволяющие определять длину дуги нового режущего оборудования в зависимости от переменных факторов; определена методика расчета и формулы для расчета длины дуги режущего оборудования; выведен средний коэффициент $k_{p.o.}$, позволяющий определять длину дуги режущего оборудования в зависимости от ширины грунтового целика, выведена формула по определению длины дуги режущего оборудования с учетом коэффициента $k_{p.o.}$.

3. Исследованы технологические параметры режущего оборудования, влияющие на трудоемкость производства работ и качество поверхности подбололочного массива в зависимости от геометрических параметров и механических характеристик подбололочного массива грунта. Разработана методика расчета силы сопротивления грунта резанию новым оборудованием в зависимости от числа ударов динамического плотномера, длины дуги режущего оборудования, режима резания оборудования; на основании известной формулы выведена формула определения силы сопротивления грунта резанию новым оборудованием; проведен 3-х факторный расчетный эксперимент по выявлению влияния переменных факторов на усилие резания; построены графики зависимости силы сопротивления грунта резанию от числа ударов динамического плотномера, угла наклона режущих пластин и геометрических параметров грунтовых целиков; выведено уравнение линейной регрессии, позволяющее определять силу сопротивления грунта резанию в зависимости от переменных факторов. Выявлено, что наиболее весомым фактором, влияющими на силу сопротивления грунта резанию, являются: механическая характеристика грунтового основания (число ударов динамического плотномера) и длина дуги режущего оборудования. С увеличением плотности срезаемого грунта и увеличением длины дуги режущего оборудования увеличивается усилие, необходимое для срезки грунта.

4. Разработана конструкция нового режущего оборудования, отвечающая требованиям соблюдения проектной кривизны грунтового основания в пролетной части фундамента согласно заданным проектом условий. Разработана

спецификация оборудования. Предложен способ трансформации оборудования с целью изменения ширины оборудования от 3,5 до 6 м.

5. Разработан порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Эмпирическим путем вычислены нормы затрат труда при условиях резания от 2 до 6 м по длине резания и от 2 до 6 м по ширине резания, с шагом 0,5 м в обоих случаях. Построены графики зависимости норм затрат труда от длины и ширины резания. Анализ графиков показал, что наиболее весомым фактором, влияющим на увеличение нормы затрат труда является длина резания грунтового целика новым режущим оборудованием.

6. Даны рекомендации по подбору модели электрических лебедок, применяемых для перемещения режущего оборудования, в зависимости от максимальной глубины резания, максимальной ширины резания, с учетом максимального веса режущего оборудования.

7. Определен рекомендуемый состав звена рабочих для работы новым оборудованием. Установлено, что при формировании криволинейной поверхности грунтового целика режущим оборудованием по сравнению с ручной разработкой трудоемкость снижается в 4,7 раз по сравнению с ручным формированием криволинейной поверхности подбололочного массива грунта.

8. Разработан новый способ формирования криволинейной поверхности подбололочного массива грунта, обеспечивающий снижение трудоемкости проведения земляных работ, повышающий качество поверхности подбололочного массива за счет применения нового режущего оборудования.

9. Произведена практическая реализация работы модели режущего оборудования в масштабе 1:20 в полевых условиях с целью оценки технологичности устройства и качества срезаемой поверхности, отмечено уменьшение длительности производства работ, снижение трудоемкости, повышение качества поверхности, соблюдение проектной кривизны, технологическая простота производства работ. Разработаны требования к производству контроля качества срезаемой поверхности грунта.

10. Разработан «Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика».

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ЛОФ С УЧЕТОМ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов должна выполняться с учетом требований СП 48.13330 «Организация строительства», СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции», СП 22.13330.2016 [104], СП 52-101-2003 [105], СП 52-117-2008* [106], СП 63.13330.2018 [107], Стандарт организации СТО СРОП 001-2015 «Требования к проектированию и устройству ленточно-оболочечных фундаментов» [108], [61], [13, 14], [29] при наличии разработанного и согласованного ПОС и ППР. Работы по устройству фундаментов включают: подготовительные, земляные, опалубочные, арматурные, бетонные и другие работы, связанные с конструктивными особенностями возводимой конструкции фундамента. До начала разработки котлована должны быть выполнены следующие работы: разбивка котлована; планировка территории и отвод поверхностных и подземных вод; разборка или перенос попадающих в пятно застройки наземных и подземных коммуникаций или сооружений; ограждение котлована (в необходимых случаях).

Согласно нормам и разработанным техническим решениям рекомендуется применять следующие материалы [93, 108]:

- бетон: классы по прочности на сжатие: В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; марки по морозостойкости: F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; марки по водонепроницаемости: W6; W8; W10; W12;

- арматура: гладкая арматура класса А240; арматура периодического профиля классов А300; А400 (А400С); А500 (А500С, А500СП); А600; В500 (Вр-I, В500С); Вр500;

- щебень: для щебеночной подготовки фр.20-40 (допускается 40-70); для щебеночных целиков фр. 10-20 (допускается 20-40).

4.1. Технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов с учетом предлагаемых решений

С учетом предлагаемых решений работы по устройству ЛТОФ по грунтовому основанию следует выполнять в следующей последовательности:

- 1) производятся подготовительные работы по организации и обустройству строительной площадки, согласно ПОС и ППР;

- 2) производится срезка растительного слоя и планировка территории бульдозером;

- 3) производится разработка грунта в котловане экскаватором, оборудованным ковшем «обратная лопата», до отметки, соответствующей верху грунтового целика с учетом недобора грунта, подлежащего срезке при последующем формировании выпуклого вверх грунтового основания с сохранением естественной структуры грунта режущим оборудованием;

4) производится разработка грунта вдоль осей здания в траншеях экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», предназначенных для последующего устройства монолитных железобетонных опорных контуров;

5) в случае необходимости производится водоотвод при помощи устройства водоотводящих канав, либо устройство водопонижения с использованием установок ЛИУ-5 и ЛИУ-6;

6) вдоль необработанного грунтового целика устанавливается опорная конструкция для режущего оборудования;

7) сверху на опорную конструкцию крепятся направляющие из металлопроката (швеллер П16);

8) краном подается предварительно собранный режущий нож и устанавливается в направляющие;

9) нож свободно перемещается вдоль направляющих при помощи электролебедки и срезает грунт, создавая криволинейную цилиндрическую поверхность таким образом, чтобы высота подъема стрелы цилиндрической поверхности была в пределах $(1/5 \div 1/12)L_1$, где L_1 – величина пролетной части фундамента (согласно проекта), с условием ненарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой;

10) производится перестановка опорных конструкций для формирования следующего грунтового целика;

11) выполняется бетонирование основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента тощим бетоном класса В7,5 с целью закрепления основания и предотвращения расструктурирования подбололочного грунтового целика во время бетонирования оболочки;

12) по основанию траншей под опорные контуры производится устройство щебеночной подготовки из щебня фракции 20-40 толщиной 150 мм под ленточные части фундамента с уплотнением вибротрамбовкой;

13) по щебеночной подготовке выполняется подготовка из тощего бетона класса В7,5;

14) производится укладка демпфирующей прокладки из пенополистирола расчетной толщиной «х»;

15) с торцевой стороны и вдоль грунтовых целиков устанавливают опалубочные конструкции из фанеры;

16) выполняют армирование фундамента по бетонным подготовкам, для железобетонных оболочек арматуру по заданному радиусу гнут в условиях строительной площадки;

17) производят совместное бетонирование опорных контуров и оболочки с уплотнением глубинными и поверхностными вибраторами;

18) осуществляется уход за бетоном и последующая распалубка;

- 19) производится возведение вышерасположенных конструкций стен (колонн) и перекрытий подвала;
- 20) выполняется наружная гидроизоляция фундамента и стен подвала;
- 21) производится обратная засыпка пазух котлована непучинистым грунтом с послойным уплотнением.

4.2. Технология устройства ленточно-мембранных фундаментов с учетом предлагаемых решений

Конструкция ленточно-мембранных фундаментов отличается от конструкции ленточного тонкостенного фундамента оболочки отсутствием железобетонной оболочки и наличием несущей мембраны, выполненной из композиционных материалов с фиброй.

С учетом предлагаемых решений работы по устройству ЛМФ по грунтовому основанию следует выполнять в следующей последовательности:

- 1) производятся подготовительные работы по организации и обустройству строительной площадки, согласно ПОС и ППР;
- 2) производится срезка растительного слоя и планировка территории бульдозером;
- 3) производится разработка грунта в котловане экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», до отметки, соответствующей верху грунтового целика с учетом недобора грунта, подлежащего срезке при последующем формировании выпуклого вверх грунтового основания с сохранением естественной структуры грунта режущим оборудованием;
- 4) производится разработка грунта вдоль осей здания в траншеях экскаватором, оборудованным ковшом «обратная лопата», предназначенных для последующего устройства монолитных железобетонных опорных контуров;
- 5) в случае необходимости производится водоотвод при помощи устройства водоотводящих канав, либо устройство водопонижения с использованием установок ЛИУ-5 и ЛИУ-6;
- 6) вдоль необработанного грунтового целика устанавливается опорная конструкция для режущего оборудования;
- 7) сверху на опорную конструкцию крепятся направляющие из металлопроката (швеллер П16);
- 8) краном подается предварительно собранный режущий нож и устанавливается в направляющие;
- 9) нож свободно перемещается вдоль направляющих при помощи электролебедки и срезает грунт, создавая криволинейную цилиндрическую поверхность таким образом, чтобы высота подъема стрелы цилиндрической поверхности была в пределах $(1/5 \div 1/12)L_1$, где L_1 – величина пролетной части

фундамента (согласно проекта), с условием ненарушения естественной структуры грунта на планировочной кривой;

10) производится перестановка опорных конструкций для формирования следующего грунтового целика;

11) выполняется бетонирование основания с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента тощим бетоном класса В7,5 с целью закрепления основания и предотвращения расструктурирования подбололочечного грунтового целика во время бетонирования оболочки;

12) по основанию траншей под опорные контуры производится устройство щебеночной подготовки из щебня фракции 20-40 толщиной 150 мм под ленточные части фундамента с уплотнением вибротрамбовкой;

13) по щебеночной подготовке выполняется подготовка из тощего бетона класса В 7,5;

14) производится укладка демпфирующей прокладки из пенополистирола расчетной толщиной «х»;

15) производится укладка мембраны на основание с криволинейной цилиндрической поверхностью в пролетной части фундамента через прокладки, состоящие из двух слоев материала, скользящих относительно друг друга;

16) одновременно в местах примыкания мембраны к подошве продольных ленточных фундаментов производится укладка прокладок из полимерной пленки, необходимых для обеспечения скольжения мембраны относительно углов опорного контура, предотвращающих преждевременный износ и разрыв мембраны;

17) устанавливаются опалубочные конструкции из фанеры на всю высоту опорных контуров;

18) устанавливаются в проектное положение арматурные каркасы опорных контуров;

19) производится бетонирование опорных контуров одновременно с уплотнением глубинными вибраторами;

20) осуществляется уход за бетоном и последующая распалубка;

21) производится возведение вышерасположенных конструкций стен (колонн) и перекрытий подвала;

22) выполняется наружная гидроизоляция фундамента и стен подвала;

23) производится обратная засыпка пазух котлована непучинистым грунтом с послойным уплотнением.

Исследования по технологии и организации строительства ленточно-оболочечных фундаментов представлены автором, в том числе в соавторстве, в [29, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 133, 134, 153].

4.3. Сравнение технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов

Сравнение технологической последовательности выполняемых работ при строительстве ленточно-оболочечных фундаментов по известным и предлагаемым технологиям представлено в табл. 4.1.

Таблица 4.1. - Сравнение технологий строительства ЛОФ

Наименование работ	Известная технология ЛТОФ	Предлагаемая технология ЛТОФ	Известная технология ЛМФ	Предлагаемая технология ЛМФ
Разработка грунта в котловане экскаватором	+	+	+	+
Разработка грунта в траншеях экскаватором	+	+	+	+
Ручное формирование грунтового целика	+	-	+	-
Формирование грунтового целика при помощи режущего оборудования	-	+	-	+
Устройство щебеночной подготовки	+	+	+	+
Устройство подготовки из тощего бетона	+	+	+	+
Укладка демпфирующей прокладки	-	+	-	+
Укладка мембраны	-	-	+	+
Устройство опалубки	+	+	+	+
Армирование опорных контуров	+	+	+	+
Армирование оболочки	+	+	-	-
Бетонирование опорных контуров	+	+	+	+
Бетонирование оболочки	+	+	-	-
Уход за бетоном и последующая распалубка	+	+	+	+

Анализ таблицы показал, что применение новых технологических решений при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов, а именно, добавление демпфирующей прокладки из пенополистирола в качестве вспомогательного способа включения подоболочечной части фундамента в работу, приводит к увеличению количества работ на одну, применение режущего оборудования при формировании криволинейной поверхности грунтового целика производится взамен ручного формирования рабочими.

С целью проведения анализа изменения объемов производства работ, а также трудоемкости производства работ при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов по известным и новым технологиям, запроектирован план ленточно-оболочечного фундамента (рис. 4.1).

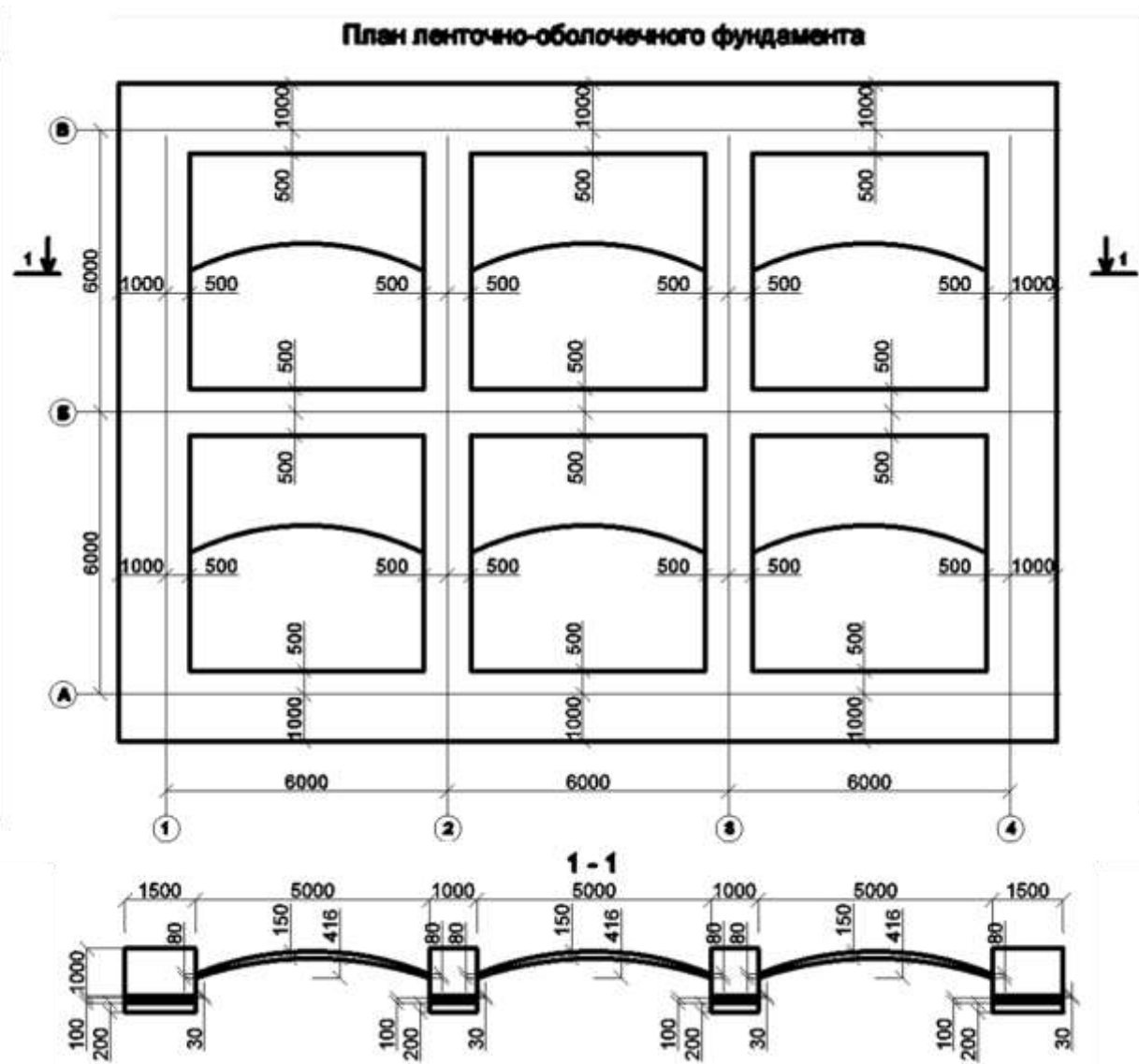


Рисунок 4.1. План и разрез ленточно-оболочечного фундамента

По заданному проекту разработана ведомость объемов работ (табл.4.2).

Таблица 4.2. - Ведомость объемов работ

Наименование работ	Известная технология ЛТОФ	Предлагаемая технология ЛТОФ	Известная технология ЛМФ	Предлагаемая технология ЛМФ
Разработка грунта в котловане экскаватором, м3	457,6	457,6	457,6	457,6
Разработка грунта в траншеях экскаватором, м3	242,4	242,4	242,4	242,4
Ручное формирование грунтового целика, м3	46,87	-	46,87	-
Перекидка грунта, м3	46,87	-	46,87	46,87
Формирование грунтового целика при помощи режущего оборудования, 1 гр. целик, LxB = 5x5 м*	-	6	-	6
Устройство щебеночной подготовки, м2	130	26	26	26
Устройство подготовки из тощего бетона, 1 м3	26	20,6	20,6	20,6
Укладка демпфирующей прокладки, м2	-	130	-	130
Укладка мембраны, м2	-	-	283	283
Устройство опалубки, м2	154,5	154,5	154,5	154,5
Разборка опалубки, м2	154,5	154,5	154,5	154,5
Армирование ленточного фундамента, т	2,528	2,528	2,528	2,528
Армирование оболочки фундамента, т	2,784	2,784	-	-
Бетонирование ленточных железобетонных фундаментов, м3	130	130	130	130
Бетонирование оболочки, м3	22,95	22,95	-	-
Уход за бетоном, м2	283	283	130	130

*При формировании грунтового целика при помощи режущего оборудования объем работ исчисляется, как 1 грунтовый целик, при этом для определения трудоемкости производства работ, определяемой нормой затрат труда согласно табл. 3.18 имеют значение геометрические размеры грунтового целика, см. п.3.5.

Таблица 4.3. - Трудоемкость производства работ

Наименование работ	Объем	Обоснование	Нормы затрат труда, чел.час., (маш.час.)							
			Известная технология ЛТОФ		Предлагаемая технология ЛТОФ		Известная технология ЛМФ		Предлагаемая технология ЛМФ	
			На ед.	На объем	На ед.	На объем	На ед.	На объем	На ед.	На объем
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Разработка грунта в котловане экскаватором, 100 м3	4,57	§ Е2-1-11, табл.3, № 5, в	3,5	15,99	3,5	15,99	3,5	15,99	3,5	15,99
Разработка грунта в траншеях экскаватором, 100 м3	2,42	§ Е2-1-13, табл.2, № 5, в	3,3	7,98	3,3	7,98	3,3	7,98	3,3	7,98
Ручное формирование грунтового целика, 1 м3	46,87	§ Е2-1-47, табл.2, № 1, ж	1,9	89,05	-	-	1,9	89,05	-	-
Перекидка грунта, 1 м3	46,87	§ Е2-1-47, табл.3, № 1, в	0,19	8,905	-	-	0,19	8,905	-	-
Формирование грунтового целика при помощи режущего оборудования, 1 гр. целик, LxB = 5x5 м	6	Расчет, табл. 3.19	-	-	4,79	28,74	-	-	4,79	28,74
Устройство щебеночной подготовки, м2	130	§ Е4-3-1, № 1, в	0,26	33,8	0,26	33,8	0,26	33,8	0,26	33,8
Устройство подготовки из тощего бетона, 1 м3	26	§ Е4-3-173	0,64	16,64	0,64	16,64	0,64	16,64	0,64	16,64
Укладка демпфирующей прокладки, 100 м2	1,3	§ Е7-14, №9	-	-	11,5	14,95	-	-	11,5	14,95
Укладка мембраны, 100 м2	2,83	§ Е11-40, № 2, в	-	-	-	-	15,5	43,86	15,5	43,86
Устройство опалубки, 1 м2	154,4	§ Е4-1-34, табл. 2, № 1, а	0,62	95,73	0,62	95,73	0,62	95,73	0,62	95,73

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Разборка опалубки, 1 м2	154,4	§ Е4-1-34, табл. 2, № 1, б	0,15	23,16	0,15	23,16	0,15	23,16	0,15	23,16
Армирование ленточного фундамента, т	2,53	§ Е4-1-46, № 3, г	14	35,42	14	35,42	14	35,42	14	35,42
Армирование оболочки фундамента, т	2,78	§ Е4-1-46, № 1, г	8	22,24	8	22,24	-	-	-	-
Бетонирование ленточных железобетонных фундаментов, 1 м3	130	§ Е4-1-49, табл. 2, №1	0,23	29,9	0,23	29,9	0,23	29,9	0,23	29,9
Бетонирование оболочки, 1 м3	23	§ Е4-1-49, табл. 1, №6	0,22	5,06	0,22	5,06	-	-	-	-
Уход за бетоном, 100 м2	2,83/ 1,3	§ Е4-1-54, № 9	0,14	0,39	0,14	0,39	0,14	0,182	0,14	0,182
ИТОГО:				384,28		330,01		400,63		346,36

Анализ расчета показал, что производство работ при устройстве ленточного тонкостенно-оболочечного фундамента (ЛТОФ) с использованием демпфирующей прокладки и нового режущего оборудования приводит к уменьшению общей трудоемкости работ на 14 %. При этом трудоемкость применения демпфирующей прокладки составляет 3,89 % от общих затрат труда. Применение нового режущего оборудования позволяет снизить ручные земляные работы по сравнению с известной технологией в 3,4 раза (70,65%).

При устройстве ленточно-мембранного фундамента (ЛМФ) с использованием демпфирующей прокладки и нового режущего оборудования общая трудоемкость работ снижается на 13,5 %. При этом трудоемкость применения демпфирующей прокладки составляет 3,73 % от общих затрат труда. Применение нового режущего оборудования позволяет снизить ручные земляные работы по сравнению с известной технологией, так же, как и при ЛТОФ, на 70,65%.

4.4. Техничко-экономическая эффективность предлагаемых решений

В целях исследования технико-экономической эффективности рассмотрено сравнение технологии устройства известного ленточно-оболочечного фундамента и новой технологии устройства ЛОФ с добавлением демпфирующей прокладки под опорными контурами и применением режущего оборудования для формирования криволинейной поверхности грунтового основания под оболочку.

Параметры сравниваемых фундамента представлены в табл.4.4.

Таблица 4.4 - Параметры сравниваемых фундамента

№ п/п	Параметры фундамента	Известная технология ЛОФ	Предлагаемая технология ЛОФ
1	Ширина фундамента, м	14	14
2	Длина фундамента, м	20	20
3	Высота фундамента, м	-	-
4	Ширина опорных контуров, м	1,5 (крайние), 1,0 (средние)	1,5 (крайние), 1,0 (средние)
5	Высота опорных контуров, м	1,0	1,0
6	Высота подболоочечного массива, м	1,1	1,1
7	Объем грунта, разрабатываемого вручную при формировании криволинейной поверхности грунтового основания, м ³	46,87	-
8	Количество грунтовых целиков, разрабатываемых новым режущим оборудованием, шт	-	6
9	Толщина демпфирующей прокладки, м	-	0,03

На основании расчетов локальных смет, рассчитанных по ФЕР, по исследуемым вариантам составлена таблица технико-экономического сравнения фундамента (табл. 4.5.) и гистограмма, иллюстрирующая полученные результаты (рис.4.2).

Таблица 4.5 - Техничко-экономические показатели сравниваемых фундамента

№ п/п	Вид фундамента	Стоимость:		Объемы основных материалов:				
		Сметная стоимость, руб.	В том числе материалы, руб.	Щебень, М1200, м ³	Бетон, В7,5, м ³	Пенополистирол, м ³	Бетон, В22,5, м ³	Сталь арматурная, А500, диам.14-20, т
1	Известная технология ЛОФ	2244431,81	1669828,94	29,9	21,06	нет	155,24	5,31
2	Предлагаемая технология ЛОФ	2183673,15	1685122,79	29,9	21,06	3,9	155,24	5,31

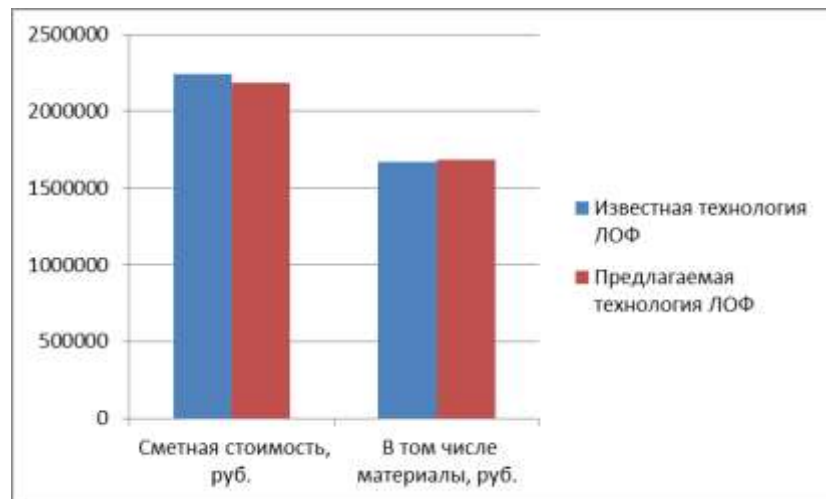


Рисунок 4.2. Гистограмма сравнения сметной стоимости строительства фундаментов, руб.

На основании данных таблицы 4.3. составлены гистограммы сравнения трудозатрат, рассчитанных по ЕНиР и индивидуальному расчету при работе нового режущего оборудования, при устройстве ленточного тонкостенно-оболочечного фундамента (ЛТОФ) и ленточно-мембранного фундамента (ЛМФ) (рис. 4.3).

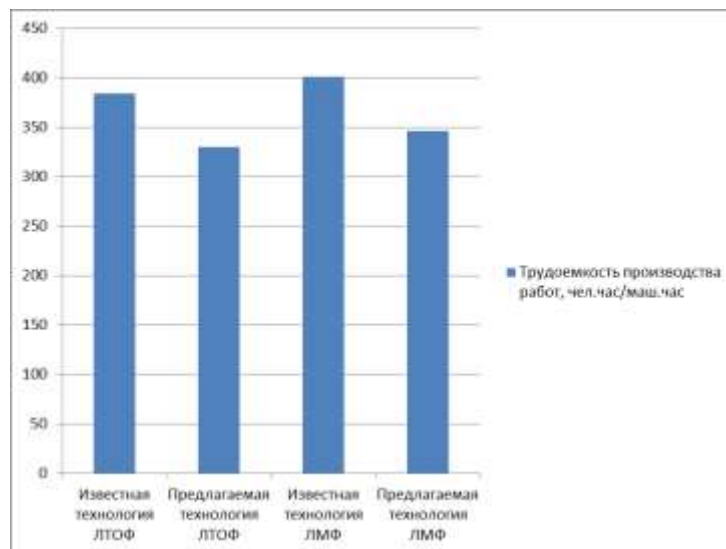


Рисунок 4.3. Гистограмма сравнения затрат труда рабочих, чел.час./маш.час.

Анализ гистограмм показал, что применение новых технологических решений при устройстве ЛОФ с добавлением демпфирующей прокладки под опорными контурами не приводит к увеличению сметной стоимости строительства и не увеличивает общие затраты труда рабочих. При использовании новых технологических решений устройства ЛОФ, по сравнению с известной технологией устройства ЛОФ наблюдается незначительное уменьшение сметной стоимости строительства на 3%, уменьшение общих затрат труда рабочих на 14% для ЛТОФ и 13,5% для ЛМФ.

На основании полученных расчетов трудоемкости производства работ составлен календарный график (рис.4.4), показывающий уменьшение продолжительности работ при устройстве ЛТОФ с добавлением демпфирующей прокладки под опорными контурами и применением режущего оборудования по сравнению с известной технологией устройства ЛТОФ на 8%.

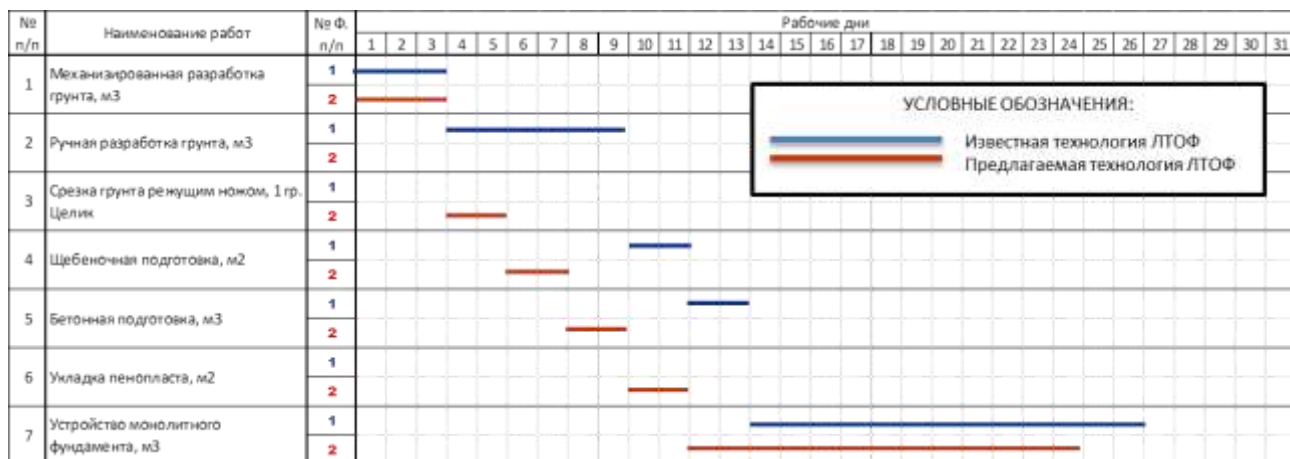


Рисунок 4.4. Календарный план производства работ

Отсутствие значительного снижения стоимости, общей трудоемкости и продолжительности строительства фундамента по новой технологии в сравнении с известной технологией устройства ЛОФ, компенсируется возможностью контролируемого включения в работу оболочечной части фундамента за счет натяжения арматуры оболочки (мембраны) в результате сжатия демпфирующей прокладки из пенополистирола, повышенной эффективностью взаимодействия системы «опорный железобетонный контур – железобетонная оболочка – подбололочный грунтовый массив», снижении технологических сложностей и трудоемкости разработки грунта при ручном формировании криволинейной поверхности грунтовых целиков, формирующих подбололочный массив, технологичностью устройства фундамента за счет применения средств механизации, обеспечении максимального соблюдения проектной геометрической точности поверхности подбололочного массива, повышении качества поверхности подбололочного массива грунта, являющегося залогом качественного устройства всего фундамента.

4.5. Выводы по главе 4

1. Разработана новая усовершенствованная технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов (ЛТОФ) по грунтовому основанию с учетом предлагаемых решений.

2. Разработана новая усовершенствованная технология устройства ленточно-мембранных фундаментов (ЛМФ) по грунтовому основанию с учетом предлагаемых решений.

3. Произведено пооперационное сравнение технологий устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов (ЛТОФ). Выявлено, что производство работ при устройстве ЛТОФ с использованием демпфирующей прокладки и нового режущего оборудования приводит к уменьшению общей трудоемкости работ на 14 %. При этом трудоемкость применения демпфирующей прокладки составляет 3,89 % от общих затрат труда. Применение нового режущего оборудования позволяет снизить ручные земляные работы по сравнению с известной технологией в 3,4 раза (на 70,65%).

4. Произведено пооперационное сравнение технологий устройства ленточно-мембранных фундаментов (ЛМФ). Выявлено, что при устройстве ЛМФ с использованием демпфирующей прокладки и нового режущего оборудования общая трудоемкость работ снижается на 13,5 %. При этом трудоемкость применения демпфирующей прокладки составляет 3,73 % от общих затрат труда. Применение нового режущего оборудования позволяет снизить ручные земляные работы по сравнению с известной технологией, так же, как и при ЛТОФ, в 3,4 раза (на 70,65%).

5. Произведено технико-экономическое сравнение технологии устройства известного ленточно-оболочечного фундамента и новой технологии устройства ЛОФ с добавлением демпфирующей прокладки под опорными контурами и формированием грунтового профиля новым режущим оборудованием. Выявлено, что при использовании новых технологических решений устройства ЛОФ, по сравнению с известной технологией наблюдается уменьшение сметной стоимости строительства на 3% и уменьшение продолжительности работ на 8 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих конструкций и технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов позволил выявить факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, а также технологические трудности, связанные со сложной конфигурацией фундамента в пролетной части.

2. Разработаны и запатентованы новые конструктивно-технологические решения устройства ленточно-оболочечного и ленточно-мембранного фундаментов с устройством демпфирующей прокладки из сильно сжимаемого материала под опорными контурами.

3. Выявлены зависимости технологических параметров демпфирующей прокладки от механических характеристик грунта подоболочечного массива и геометрических параметров ленточно-оболочечного фундамента. Предложены формулы, позволяющие определять толщину демпфирующей прокладки при различных механических характеристиках грунта подоболочечного массива и различных геометрических размерах фундамента. Выявлено, что с увеличением прочности грунта подоболочечного массива уменьшается толщина прокладки.

4. Оценена эффективность применения сильно сжимаемого материала – пенополистирола в качестве материала демпфирующей прокладки.

5. Разработан новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подоболочечного массива грунта за счет устройства демпфирующей прокладки под ленточными опорными контурами фундамента.

6. Предложена и разработана конструкция режущего оборудования, позволяющая механизировать большой объем земляных работ, связанных с формированием криволинейной выпуклой вверх поверхности грунта в пролетной части фундамента.

7. Выявлены зависимости технологических параметров режущего оборудования, влияющие на материалоемкость оборудования, предложены формулы, позволяющие определять длину дуги режущего оборудования ($L_{д.р.о}$), влияющую на материалоемкость и вес конструкции, в зависимости от ограничений по высоте подъема стрелы оборудования, заданных проектом $f=(1/5 \div 1/12)L$, выведен коэффициент $кр.о.$, позволяющий определять $L_{д.р.о}$ в зависимости от ширины грунтового целика при различных значениях f .

8. Выявлены зависимости технологических параметров нового режущего оборудования, влияющие на трудоемкость производства работ и качество поверхности подоболочечного массива, от механических характеристик грунта подоболочечного массива, геометрических параметров ленточно-оболочечного

фундамента, длины режущего оборудования и режима резания оборудования. Выявлено, что наиболее весомым фактором, влияющими на силу сопротивления грунта резанию новым оборудованием, являются: механическая характеристика грунтового основания (число ударов динамического плотномера) и длина дуги режущего оборудования. С увеличением плотности срезаемого грунта и увеличением длины дуги режущего оборудования увеличивается усилие, необходимое для срезки грунта.

9. Установлен порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Эмпирическим путем вычислены нормы затрат труда при условиях резания от 2 до 6 м по длине резания и от 2 до 6 м по ширине резания, с шагом 0,5 м в обоих случаях. Выявлено, что наиболее весомым фактором, влияющим на увеличение нормы затрат труда при работе нового оборудования, является длина резания грунтового целика. Определен рекомендуемый состав звена рабочих для работы новым оборудованием. Установлено снижение затрат труда при работе новым режущим оборудованием более чем в 4 раза по сравнению с ручным формированием криволинейной поверхности подболовочного массива.

10. Разработан новый способ формирования криволинейной поверхности подболовочного массива грунта при помощи нового режущего оборудования, обеспечивающий снижение трудоемкости проведения земляных работ, повышающий качество криволинейной грунтовой поверхности. Проведены экспериментальные исследования работы модели режущего оборудования в полевых условиях. Разработаны требования к производству контроля качества срезаемой поверхности грунта.

11. Разработана технология устройства ЛОФ с учетом предлагаемых решений, в том числе ленточного тонкостенно-оболочечного и ленточно-мембранного фундаментов.

12. Разработан «Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика».

13. Подтверждена технико-экономическая эффективность предлагаемых решений, характеризуемая уменьшением общей трудоемкости работ на 14 % по сравнению с известной технологией устройства фундамента, при этом трудоемкость применения демпфирующей прокладки составляет порядка 4 % от общих затрат труда, а применение нового режущего оборудования позволяет снизить ручные земляные работы по сравнению с известной технологией более чем в 4 раза (в среднем на 70%), при общем снижении сметной стоимости строительства на 3% и уменьшении продолжительности работ на 8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
2. Айзеншток, И. Я. К построению физической теории резания грунтов / И. Я. Айзеншток. – М. : АН СССР, 1951. – С. 76–103.
3. Артемьев, К. А. О возможности использования теории предельного равновесия сыпучей среды для определения сопротивления грунтов резанию и копанию / К. А. Артемьев // Исследование и испытание дорожных и строительных машин : тр. СибАДИ. – Омск, 1975. – Вып. 56. – С. 3–8.
4. Ашихмин, О. В. Применение инновационных фундаментов в сложных гидрогеологических условиях г. Тюмени / О. В. Ашихмин, О. С. Порошин, Ю. В. Ванина. // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии - 2016 Сборник материалов международной научно-практической конференции: в трех томах. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – Тюмень : ТИУ, 2016. – С. 24-28.
5. Бадьин, Г.М. Строительное производство. Основные термины и определения / Г. М. Бадьин, В. В. Верстов, В. Д. Лихачев, А. Ф. Юдина : Учебное пособие / Санкт-Петербург. – 2011.
6. Бартоломей, Л. А. Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с грунтовым основанием при внецентренном нагружении / Л. А. Бартоломей, А. А. Тарасенко, Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2012. Вып. 1 (20). Режим доступа: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BartolomeyTarasenko-2012_1_20_.pdf, свободный (дата обращения 22.01.2020)
7. Баловнев, В. И. Новые методы расчета сопротивлений резанию грунтов / В. И. Баловнев. – М. : Росвузиздат, 1963. – 95 с.
8. Берестов, Е. И. Математическое моделирование динамических процессов при резании грунта / Е. И. Берестов // Совершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении, сварочном производстве и строительстве : материалы Междунар. Науч.-техн. конф., Могилев, 3-5 мая 1991 г. – Могилев, 1991. – С. 56–58.
9. Берестов, Е. И. Сопротивление грунтов резанию / Е. И. Берестов // Изв. Вузов. Строительство. – 1997. – № 10. – С. 102–107.
10. Бирюков, А. Н. Подбор состава комплекта средств механизации в зависимости от способа выполнения демонтажных работ / А. Н. Бирюков, Ю.А. Бирюков, И.Н. Кравченко, Н.В. Токарев // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 3. – С. 49-55.
11. Бирюков, А. Н. Применение композитной арматуры для бетонных конструкций / А. Н. Бирюков, Д.В. Бирюков, Е.С. Васюткин, А.А. Белый // Композитные системы на объектах подземного и гражданского строительства: Сборник трудов первой Международной научно-практической конференции (22-28 сентября 2018 г.). – СПб.: ПГУПС, 2019. – С. 61-67.
12. Бирюков, А. Н. Методика планирования экспериментальных исследований ресурсосберегающих материалов для объектов военной инфраструктуры / А. Н. Бирюков, Ю.С. Яковлева // Состояние и перспективы развития источников и систем энергоснабжения и жизнеобеспечения объектов Российской Федерации: Сборник научных статей межведомственной научно-технической конференции (8.4.2021 г.). – Анапа, ВИТ «Эра», 2021. Часть 1. Инв. 47316. – С. 222-231.

13. Болотин, С.А. Анализ современных методов прогноза продолжительности строительства / С. А. Болотин, А. К. Х. Дадар, А. Р. Мальсагов // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – № 4. – С. 79-83.
14. Болотин, С.А. Организация строительного производства : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Экономика и управление на предприятии строительства" / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. – Москва, 2009. Сер. Высшее профессиональное образование. Строительство (3-е изд., стер.)
15. Ванюшкин, С. Г. Особенности взаимодействия многоволновых фундаментов-оболочек с основанием: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / С. Г. Ванюшкин. – Днепропетровск, 1985.
16. Ватин, Н.И. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана торговой марки "spu-insulation" в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий / Н. И. Ватин, В. З. Величкин, А. С. Горшков, И. И. Пестряков, А. А. Пешков, Д. В. Немова, С.С. Киски // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – № 3 (8). – С. 1-264.
17. Верстов, В. В. Обоснование выбора рациональных способов устройства свайных фундаментов по критерию технологичности в различных условиях строительства / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2013. – № 4. – С. 6–12.
18. Ветров, Ю. А. Расчеты сил резания и копания грунтов / Ю. А. Ветров. – Киев : Изд-во Киевского ун-та, 1965. – 123 с.
19. Ветров, Ю. А. Соппротивление грунтов резанию / Ю. А. Ветров. – Киев : Изд-во Киевского ун-та, 1962. – 96 с.
20. Волосюк, Д. В. Оптимизация неритмичных потоков с целью сокращения сроков строительства ленточно-оболочечных фундаментов / Д. В. Волосюк, М. А. Цыганкова // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири. – В 2-х т. – Т.1. – Тюмень : РИО ТюмГАСУ, 2015. – С. 7-14.
21. Волосюк, Д. В. Организация механизированных работ по устройству комбинированных фундаментов с регулируемым напряженно-деформированным состоянием грунтового основания / Д. В. Волосюк // Механизация строительства. – 2018. – №2 (884). – С. 14-19.
22. Волосюк, Д.В. Особенности производства арматурных работ при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / Д.В. Волосюк, М.А. Цыганкова // В сборнике: Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мега бассейна (опыт, инновации): материалы Международной научно-технической конференции Т.3. Современные эффективные материалы и конструкции. Социально-экономические проблемы освоения регионов со сложными климатическими условиями / ТИУ; отв. редактор П.В. Евтин. – Тюмень: ТИУ. – 2016. – С. 87-92.
23. Волосюк, Д. В. Технология устройства комбинированных свайно-плитных фундаментов с опрессовкой основания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Волосюк Д. В. – Тюмень, 2019. – 182 с.
24. Волосюк, Д. В. Устройство комбинированных фундаментов в зимнее время / Д. В. Волосюк // Вестник Тюменского государственного архитектурно-строительного университета. – Тюмень : РИО ТюмГАСУ, 2015. – № 2. – С. 17-20.

25. Гайдо, А. Н. Анализ экспериментальных результатов определения несущей способности грунтов по технологическим параметрам / А. Н. Гайдо, Я. В. Иванов, Я. В. Ильин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 5. – С. 54–59.
26. Гербер, А. Д. Расчет оснований ленточных фундаментов, объединенных оболочками или мембранами, по несущей способности / А. Д. Гербер, Я. А. Пронозин, Л. Р. Епифанцева – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. Режим доступа: www.science-education.ru/117-13344, свободный (дата обращения: 22.01.2021).
27. Гиматова, А. Р. Анализ факторов, влияющих на скорость возведения и качество ленточно-оболочечных фундаментов / А. Р. Гиматова, Д. В. Усольцева, М. А. Цыганкова // В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону Материалы Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор П.В. Евтин. – Тюмень : ТИУ. – 2018. – С. 147-149.
28. Домбровский, Н. Г. Землеройные машины / Н. Г. Домбровский, С. А. Панкратов. – М. : Гостройиздат, 1961. – 321 с.
29. Дроздов, А.Д. Регрессионный анализ зависимости материала подбололочного пространства от вида грунтового основания при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / А.Д. Дроздов, М.А. Цыганкова // В сборнике: Организация строительного производства: материалы Всерос. науч. конф. [4 февраля 2019 года]; СПбГАСУ. – СПб. – 2019. – С. 8-13.
30. Евтюков, С.А. О проблеме проектирования и расчета конструкции облегченных насыпей из пенополистирольных блоков на слабых грунтах / С. А. Евтюков, Е. П. Медрес, Е. Е. Медрес, Е. Ю. Матюсова // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 6 (77). – С. 271-276.
31. Евтюков, С.А. Влияние слоев пенобетона в комбинированной дорожной насыпи на несущую способность массива из пенополистирола / С. А. Евтюков, Е. Ю. Матюсова // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 2 (43). – С. 124-127.
32. Емельянов, Д. И. Решение задач планирования строительно-монтажных работ в организационно-технологическом проектировании с учетом энергоэффективности / Д. И. Емельянов, Н.А. Понявина, И.А. Клоков, К.А. Андреева // Строительное производство. – 2021. – № 3. – С. 35-40.
33. Емельянов, Д. И. Перспективные конструктивные и организационно-технологические решения по возведению зданий / Д. И. Емельянов, Д. Н. Кузнецов, А. А. Петриева, И. Р. Коробова, В. О. Слушева // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 2 (6). – С. 89-96.
34. Епифанцева, Л. Р. Взаимодействие мембранных фундаментов зданий малой и средней этажности с грунтовым основанием: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Епифанцева, Л. Р. – Тюмень, 2013. – 201 с.
35. Епифанцева, Л. Р. Экспериментальные исследования взаимодействия мембранного фундамента с глинистым основанием / Л. Р. Епифанцева // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 1 (36). – С. 65-68.
36. Завьялов, А. М. Экспериментальные исследования процесса копания грунта неповоротным отвалом бульдозера / А. М. Завьялов, Т. Е. Болдовская // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 6. – С. 21–28.
37. Зеленин, А. Н. Машины для земляных работ [Текст] : (Основы теории разрушения грунтов, моделирование процессов, прогнозирование параметров): Для вузов по специальности "Строит. и дор. машины и оборудование" / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Н. Зеленина. – М. : Машиностроение, 1975. – 422 с.

38. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М. : Машиностроение, 1968. – 198 с.
39. Зеленин, А. Н. Физические основы теории резания грунтов / А. Н. Зеленин. – М. : АН СССР, 1950. – 187 с.
40. Зубов, Н. Н. Моделирование и оптимизация технологических процессов: учебное пособие / Н. Н. Зубов, В. А. Титов. – СПб. : Изд-во СПбГУСЭ, 2009. – 183 с.
41. Кабанов, В. Н. Информационное моделирование производства земляных работ при устройстве котлована / В.Н. Кабанов // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. – 2020. – С. 944-949.
42. Казаков, Ю. Н. Применение композитных материалов при строительстве, ремонте и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры / Ю. Н. Казаков, А. Н. Бирюков, Б. Б. Дудурич [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 10. – С. 46–52.
43. Ким, Б.Г. Опыт возведения ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками в сложных инженерно-геологических условиях г. Тюмени / Б.Г. Ким, Я.А. Прозин, М.А. Цыганкова, Д.В. Волосюк // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10407>, свободный.
44. Ким, Б. Г. Производство земляных и подготовительных работ при устройстве комбинированных фундаментов / Б.Г. Ким, Д.В. Волосюк, Ф.А. Урусов // Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ. – В 2-х т. – Т. I. – Тюмень : РИО ТюмГАСУ, 2015. – С. 56-60.
45. Ким, Б. Г. Способ устройства комбинированных фундаментов в зимний период / Б. Г. Ким, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк – Текст : непосредственный // ВЕСТНИК ПНИПУ Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С.83-92.
46. Ким, Б. Г., Волосюк Д.В. Технология устройства профилированного дна котлована в зимних условиях при высоком уровне грунтовых вод. Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сборник материалов международной научно-практической конференции / Б. Г. Ким, Д. В. Волосюк // В 3-х т. – Т. I. – Тюмень : РИО ТюмГАСУ, – 2014. – С.28-31.
47. Ким, Б. Г. Устройство ленточных фундаментов мелкого заложения объединенных пологими оболочками / Б. Г. Ким, Я. А. Прозин, Д. В. Волосюк – Текст : непосредственный // Механизация строительства. – 2014. – №9 (843). – С. 9-14.
48. Ким, Б. Г. Эффективные комбинированные ленточные свайные фундаменты, объединенные плитами переменной жесткости, с предварительным напряжением грунтового основания, для многоэтажного строительства на юге Тюменской области / Б. Г. Ким, Я. А. Прозин, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк // Инновационные технологии в строительном производстве : сб. науч. ст. / под общ. ред. проф. Б.Г. Кима ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2015. – С. 7-16.
49. Киселёв, Н. Ю. Работа плитных фундаментов с компенсирующим слоем на грунтовом основании: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Киселёв Никита Юрьевич. – Тюмень : ТИУ, 2017. – 146 с.
50. Клиопа, Г. И. Влияние скорости на усилие резания грунта / Г. И. Клиопа. – М. : Автотрансиздат. 1958. – 134 с.
51. Колчеданцев, Л.М. Оценка качества грунтового массива при строительстве фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности с помощью функции желательности Харрингтона / Л.М. Колчеданцев, А.Д. Дроздов, М.А. Цыганкова // В сборнике: Организация строительного производства : материалы II Всероссийской научной конференции [4-5 февраля

2020 г.] / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург. – 2020. – С. 3-14.

52. Красноносков, А. Ю. Математическое моделирование взаимосвязи параметров рабочего оборудования и энергоемкости копания грунта / А. Ю. Красноносков // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2014. – № 6. – С. 685–688.

53. Лапидус, А. А. Организационно-технологические особенности фундаментных систем малоэтажных многоквартирных домов / А. А. Лапидус, В. Д. Евстигнеев, И. Ю. Русаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 5. – С. 30-36.

54. Лапидус, А. А. Особенности выбора фундаментов малоэтажных многоквартирных домов по трудоемкости работ / А. А. Лапидус, В. Д. Евстигнеев // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – С. 364-368.

55. Лапидус, А. А. Проведение многофакторного эксперимента для определения комплексного показателя оптимизации сроков продолжительности монолитных работ / А. А. Лапидус, А. Е. Степанов // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 11 (113). – С. 59-64.

56. Лесковец, И. В. Влияние параметров профиля отвала бульдозера на величины сил сопротивления копанию / И. В. Лесковец, Е. И. Берестов, А. П. Смоляр // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015. – № 2(47). – С. 12–22.

57. Лесковец, И. В. История и перспективы развития землеройного оборудования отвального типа / И. В. Лесковец, // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 3 (32). – С. 64–70.

58. Максимов, С. Н. Сопротивление сдвигу слабоуплотненных глинистых пород / С. Н. Максимов // Гидротехническое строительство. – 1953. – № 9. – С. 17–20.

59. Малышкин, А. П. Экспериментально-теоретические исследования работы эффективных площадных фундаментов / А. П. Малышкин, Я. А. Пронозин // Известия Высших учебных заведений. Строительство.- Новосибирск, 2002 – №3. – С. 35-141.

60. Мангушев, Р.А. Анализ устройства фундаментов старых зданий в центре Санкт-Петербурга / Р. А. Мангушев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 5. – С. 13.

61. Мангушев, Р. А. и др. Основания и фундаменты: Учебник для бакалавров строительства / Р.А. Мангушев, В.Д. Карлов, И.И. Сахаров, А.И. Осокин. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 394 с.

62. 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.

63. Мельников, Р. В. Взаимодействие осесимметричных фундаментов-оболочек с неметаллическим армированием с основанием сложенным пылевато-глинистыми грунтами: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Мельников Роман Викторович. – Тюмень : ТюмГАСУ, 2011. – 172 с.

64. Мигин, С. И. Экспериментальное исследование влияния влажности на сопротивление связного грунта сдвигу / С. И. Мигин // Информационные материалы ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной геологии. – 1954. – № 1. – 54 с.

65. Наумкина, Ю. В. Несущая способность основания, нагруженного ленточно-оболочечными фундаментами / Ю. В. Наумкина, Я. А., Пронозин, Л. Р. Епифанцева // Инженерно-строительный журнал. – 2016.– № 6. – С.23-34.

66. Наумкина, Ю. В. Результаты экспериментального исследования влияния формы контактной поверхности фундамента на деформируемость грунтового основания / Ю. В. Наумкина, Я. А. Прозин, Д. В. Рачков // Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 4. № 2. – С. 12-20.

67. Наумкина, Ю. В. Усиление ленточных фундаментов с переустройством в сплошную плиту переменной жесткости с предварительным напряжением грунтового основания: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Наумкина Ю. В. – Тюмень, 2013. – 24 с.

68. Пат. 2223367 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Фундамент / А. П. Малышкин, Я. А. Прозин; заявитель и патентообладатель Тюменская Государственная Архитектурно-строительная академия. № 2001122570/03; заявл. 09.08.2001; опубл. 10.02.2004.

69. Пат. 2223368 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Фундамент / А. П. Малышкин, Я. А. Прозин; заявитель и патентообладатель Тюменская Государственная Архитектурно-строительная академия. № 2001122571/03; заявл. 09.08.2001; опубл. 10.02.2004.

70. Пат. 2301303 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Плитно-свайный фундамент / В. В. Лушников, О. Ю. Оржеховский, М. В. Сметанин, А. С. Ярдяков; заявитель и патентообладатель ООО «Экспертно-консультационная фирма «ГеоСтройЭксперт». № 2005106662/03; заявл. 09.03.2005; опубл. 20.06.2007 Бюл. №17.

71. Пат. 2491386 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/12. Фундамент / Я.А. Прозин, О. С. Порошин, Л. Р. Епифанцева, Ю. В. Наумкина, М. А. Степанов; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "ТюмГАСУ"). № 2012107033/03; заявл. 27.02.2012; опубл. 27.08.2013 Бюл. № 24

72. Пат. 2380484 С1 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Фундамент / Я. А. Прозин, Р. В. Мельников; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТюмГАСУ». № 2008124515/03; заявл. 16.06.2008; опубл. 27.01.2010, Бюл. № 3.

73. Пат. 2380483 С1 Российская Федерация, МПК E02D27/00. Фундамент / Я. А. Прозин, Р. В. Мельников; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТюмГАСУ». № 2008124706/03; заявл. 16.06.2008; опубл. 27.01.2010, Бюл. № 3.

74. Пат. 2393297 С1 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Фундамент / Я. А. Прозин, О. С. Порошин, Р. В. Мельников; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТюмГАСУ». № 2009116522/03; заявл. 29.04.2009; опубл. 27.06.2010, Бюл. № 18.

75. Пат. 2464381 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Предварительно напряженный фундамент мелкого заложения / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров, Е. В. Городнова; заявитель и патентообладатель Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет". № 2010142529/03; заявл. 18.10.2010; опубл. 20.10.2012.

76. Пат. 2447230 С1 Российская Федерация, МПК E02D27/00. Свайно-оболочечный фундамент / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Прозин, Ю. В. Наумкина, Л.Р.Епифанцева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет». № 2010154568/03; заявл. 30.12.2010; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 10.

77. Пат. 2447232 С2 Российская Федерация, МПК E02D27/01. Фундамент / Я. А. Прозин, Ю. В. Наумкина, Л. Р.Епифанцева; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "ТюмГАСУ"). № 2011103615/03; заявл. 01.02.2011; опубл. 10.04.2012 Бюл. № 10

78. Пат. 2561441 С1 Российская Федерация, МПК E02D27/12. Плитно-ребристый фундамент мелкого заложения / Я. А. Пронозин, Н. Ю. Киселев; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный архитектурно-строительный университет" (ФГБОУ ВПО "ТюмГАСУ"). № 2014118060/03; заявл. 05.05.2014; опубл. 27.08.2015 Бюл. № 24
79. Пат. 2572477 Российская Федерация, МПК E02D 27/26. Способ восстановления контактного слоя «фундамент – грунтовое основание» / Пронозин Я. А., Степанов М. А., Волосюк Д. В.; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2015100469/03; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.
80. Пат. 2616633 Российская Федерация, МПК E02D 27/12. Способ возведения плитно-свайного фундамента / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк, П. Ш. о Аббасов; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2016104145; заявл. 09.02.2016; опубл. 18.04.2017, Бюл. № 11.
81. Пат. 2689957 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Ленточно-оболочечный фундамент мелкого заложения / Колчеданцев Л.М., Пронозин Я.А., Дроздов А.Д., Цыганкова М.А.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2018131864; заявл. 04.09.2018; опубл. 29.05.2019, Бюл. № 16.
82. Пат. 2752890 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Ленточно-мембранный фундамент мелкого заложения / Цыганкова М.А., Дроздов А.Д., Колчеданцев Л.М.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2021100198; заявл. 11.01.2021; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 23.
83. Порошин, О. С. Взаимодействие цилиндрических бинарных фундаментов-оболочек с глинистым грунтом основания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Порошин Олег Сергеевич – ТюмГАСА. – Тюмень, 2011. – 172 с.
84. Пронозин, Я. А. Взаимодействие ленточно-оболочечных фундаментов с сильносжимаемым грунтовым основанием: дис. ... д-р. техн. наук: 05.23.02 / Пронозин Яков Александрович – М., 2016. – 368 с.
85. Пронозин, Я. А. Взаимодействие цилиндрического мембранного фундамента с глинистым основанием / Я. А. Пронозин, А. Д. Гербер, О. С. Порошин // Вестник МГСУ. – 2010. – №1. – С.219-225.
86. Пронозин, Я. А. Геотехнический мониторинг строительства жилого дома на ленточно-оболочечных фундаментах в городе Тюмени / Я. А. Пронозин, Л. Р. Епифанцева, М. А. Степанов, В. М. Чикишев // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 10. – С. 59-66.
87. Пронозин, Я. А. Исследование работы площадных фундаментов в виде вогнутых пологих оболочек: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Пронозин Яков Александрович – Тюмень, 2001. – 24 с.
88. Пронозин, Я. А. К вопросу использования оболочек и мембран в качестве сплошных фундаментов зданий и сооружений / Я. А. Пронозин, О. С. Порошин, Р. В. Мельников – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – №4 (25). – С. 78-85.
89. Пронозин, Я. А. Определение продолжительности устройства комбинированного фундамента / Я. А. Пронозин, Д. В. Волосюк // Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5. № 4. – С. 3.
90. Пронозин, Я. А. Опыт устройства фундаментов зданий повышенной этажности в условиях юга Тюменской области / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк, А. Н.

Шуваев, Г. И. Рыбак – DOI: 10.22227/1997–0935.2018.3.282-292– Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. вып. 3 (114). – С. 282–292.

91. Пронозин, Я. А. Организационно-технологические особенности устройства комбинированных ленточных свайных фундаментов с предварительно опрессованным грунтовым основанием / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении : материалы международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск 13-15 мая 2015 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). – 2015. – С. 380-385.

92. Пронозин, Я. А. Особенности взаимодействия фундаментов-оболочек с грунтовым основанием / Я. А. Пронозин // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №1. – С.3-6.

93. Пронозин, Я. А. Цилиндрические фундаменты-оболочки / Я. А. Пронозин – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 168 С.

94. Пронозин, Я. А. Регулирование напряженно-деформированного состояния основания комбинированных ленточно-свайных фундаментов / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, Д. В. Волосюк // Основания, фундаменты, механика грунтов. – 2016. – №3. – С. 16-20.

95. Пронозин, Я. А. Результаты экспериментально-теоретических исследований взаимодействия осесимметричного фундамента-оболочки с грунтовым основанием / Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – №5. – С.114-119.

96. Пронозин, Я. А. Технологические аспекты и экономические показатели устройства ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками / Я. А. Пронозин, М. А. Цыганкова, Д. В. Волосюк – Текст : непосредственный // Вестник ПНИПУ «Строительство и архитектура». – 2014. – №3. – С. 179-193.

97. Пронозин, Я. А. Фундаменты-оболочки - опыт применения / Я. А. Пронозин, Д. В. Волосюк, М. А. Цыганкова – Текст : непосредственный // Строительный вестник Тюменской области. – 2013. – № 3. – С. 58.

98. Пронозин, Я. А. Экспериментально-теоретическое обоснование уточненного метода послойного суммирования для определения осадки фундаментов мелкого заложения / Я. А. Пронозин, В. М. Чикишев, Д. В. Рачков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. № 4. – С. 95-103.

99. Рачков, Д. В. Взаимодействие системы «основание-фундамент» при криволинейной форме контактной поверхности: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02 / Рачков Дмитрий Владимирович – Тюмень, 2018. – 164 с.

100. Рисунов, А. Р. Выбор оптимального комплекта ведущих машин для земляных работ в зависимости от ряда влияющих производственных и геотехнических факторов / А. Р. Рисунов, В. Н. Кабанов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 4 (64). – С. 38.

101. Сахаров, И. И. Опыт применения поверхностных фундаментов для каркасного здания в окрестностях Санкт-Петербурга / И. И. Сахаров, П. В. Войтенко // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 5 (88). – С. 77-83.

102. Сегаль, И. С. К исследованию процессов резания и волочения сыпучих материалов в подъемно-транспортных установках / И. С. Сегаль // Сб. ст. Гинстальмост. – 1936. – Вып. 2. – С. 36–45.

103. Соколов, Г. К. Контроль качества выполнения строительно-монтажных работ: справ. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений / Г. К. Соколов, В. В. Филатов, К. Г. Соколов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 384 с.

104. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. - М.: ОАО "ЦПП", 2016.
105. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2004.
106. СП 52-117-2008* Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Методы расчета и конструирование. – М.: ОАО "НИЦ "Строительство", 2010.
107. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003– М.: Стандартинформ, 2019.
108. Стандарт организации СТО СРОП 001-2015 "Требования к проектированию и устройству ленточно-оболочечных фундаментов". – Тюмень, 2015, 43 с.
109. Станевский, В. П. О физической сущности влияния скорости на силу резания грунтов / В. П. Станевский // Горные, строительные и дорожные машины : сборник. – Киев : Техника, 1966. – Вып. 4. – С. 15–19.
110. Степанов, М. А. Взаимодействие комбинированных ленточных свайных фундаментов с предварительно опрессованным грунтовым основанием: дис. ... канд.техн. наук: 05.23.02 / Степанов М. А. – Тюмень, 2015. – 189 с.
111. Степанов, М. А. Влияние опрессовки грунтового основания на формирование НДС основания ленточных свайных фундаментов, объединенных плитами переменной жесткости / М. А. Степанов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5.
112. Тер-Мартirosян, З. Г. Использование предварительно напряженных оболочек при усилении ленточных фундаментов / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Пронозин, Ю. В. Наумкина // Вестник МГСУ. – 2012. – №2. – С.30-34.
113. Тер-Мартirosян, З. Г. Ленточные фундаменты мелкого заложения, объединенные пологими оболочками, на сильносжимаемых грунтах / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Пронозин, Н. Ю. Киселев – Текст : непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – № 4. – С. 2-6.
114. Тер-Мартirosян, З. Г. Обоснование использования свайно-оболочечных фундаментов с предварительно напряженным грунтовым основанием / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Пронозин, М. А. Степанов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 4. – С. 2-6.
115. Тер-Мартirosян, З. Г. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных по прогнозу осадки крупномасштабной модели ленточно-оболочечного фундамента / З. Г. Тер-Мартirosян, Я. А. Пронозин, Л. Р. Епифанцева, О. С. Порошин – Текст : непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 209.
116. Тетиор, А. Н. Железобетонные оболочки в качестве фундаментов / А. Н. Тетиор // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1965. – № 6.
117. Тетиор, А. Н. Исследование оболочек в качестве фундаментов: канд. дисс. НИИОСП / А. Н. Тетиор – М., 1968.
118. Тетиор, А. Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для условий Урала и Тюменской области / А.Н. Тетиор - Свердловск: Средне-Уральское изд-во, 1971. – 91 с.
119. Тетиор, А. Н. Фундаменты-оболочки / А. Н. Тетиор, А. Г. Литвиненко. – М. : Стройиздат, 1975. – 135 с.
120. Тишков, Е. В. Экспериментальные исследования деформативных характеристик пенополистила демпфирующих вставок / Е. В. Тишков, С. С. Роскошный. // В кн.: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. – С.208-214.

121. Устинкин, Н. Д. Исследование сопротивления от сил инерции при резании грунта / Н. Д. Устинкин // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1966. – № 3. – С. 43–47.

122. Ушакова, В. Н. Применение метода «термоса» при бетонировании фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности / В.Н. Ушакова, М.А. Цыганкова // Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков, посвященной 40-летию юбилею Нижневартковского филиала ТИУ (Нижневартовск, 20 апреля 2021 г.) / отв. ред. Е.В. Белокурова, В.Я. Мауль, М.В.Шалаева. – Тюмень: ТИУ. – 2021. – С. 433-437.

123. Хлопенков, И. В. Технологические схемы производства работ при устройстве цилиндрических фундаментов / И. В. Хлопенков, М. А. Цыганкова // В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону. Материалы Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор П.В. Евтин. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 309-311.

124. Цыганкова, М.А. Исследование технологических параметров оборудования для срезки грунта при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // Вестник Евразийской науки. — 2021. — № 6. — Режим доступа: <https://esj.today/PDF/21SAVN621.pdf>, свободный.

125. Цыганкова, М.А. Классификация оболочечных фундаментов, применяемых в г. Тюмени и Тюменской области / М.А. Цыганкова // В сборнике: Архитектура - строительство – транспорт: материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета. 3-5 октября 2018 г.: [в 2 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство; СПбГАСУ. – СПб. – 2018. – С. 65-71.

126. Цыганкова, М.А. Конструктивно-технологические решения устройства мелкозаглубленных ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова, Л.М. Колчеданцев // Актуальные проблемы строительства: материалы 70-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства»: в 3-х ч.; СПбГАСУ. – СПб. – 2017. – Ч. 2. – С.105-111.

127. Цыганкова, М. А. Оборудование для формирования криволинейной поверхности подоболочечного массива при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков, посвященной 40-летию юбилею Нижневартковского филиала ТИУ (Нижневартовск, 20 апреля 2021 г.) / отв. ред. Е.В. Белокурова, В.Я. Мауль, М.В.Шалаева. – Тюмень : ТИУ. – 2021. – С. 437-442.

128. Цыганкова, М. А. Оптимизация трудовых ресурсов при поточной организации строительства ленточно-оболочечных фундаментов / М. А. Цыганкова // В сборнике: Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии - 2016 Сборник материалов международной научно-практической конференции: в трех томах. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». – 2016. – С. 258-265

129. Цыганкова, М. А. Организация строительства ленточно-оболочечных фундаментов поточным методом / М. А. Цыганкова // В сборнике: Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ в двух томах В двух томах. Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет». – 2015. – С. 192-200.

130. Цыганкова, М. А. Практическое применение параллельно-поточной организации работ при устройстве мелкозаглубленных ленточно-оболочечных фундаментов / М. А. Цыганкова // В сборнике: Петербургская школа поточной организации строительства I Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 95-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева. Под общ. ред. Е.Б. Смирнова. – 2018. – С. 24-30.

131. Цыганкова, М.А. Применение демпфирующей прокладки в качестве вспомогательного способа включения в работу железобетонной оболочки при устройстве ленточно-оболочечного фундамента / М.А. Цыганкова // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 12. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7350>, свободный.

132. Цыганкова, М.А. Совершенствование технологии и методов организации при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции : Т. 2 / отв. ред. П.В. Евтин. – Тюмень : ТИУ. – 2019. – С. 225-227.

133. Цыганкова, М.А. Техничко-экономическое обоснование устройства фундаментов с выпуклой вверх криволинейной формой контактной поверхности / М.А. Цыганкова // Вестник Евразийской науки. – 2021. – № 1. Том 13. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/14SAVN121.pdf>, свободный.

134. Цыганкова, М.А. Технологические особенности производства земляных работ при устройстве мелкозаглубленных фундаментов-оболочек / М.А. Цыганкова // В сборнике: Архитектура - строительство – транспорт: материалы 73-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 4-6 октября 2017 г.: [в 3 ч.]. Ч I. Архитектура и строительство: СПбГАСУ. – СПб. – 2017. – С. 84-89.

135. Цыганкова, М.А. Факторы, влияющие на сроки и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // В сборнике: Актуальные проблемы строительства: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х ч.: СПбГАСУ. – СПб. – 2018. – Ч. 2. – (сер.: «Актуальные проблемы современного строительства»). – С. 188-194.

136. Чикишев, В. М. Расчетно-экспериментальное обоснование использования свайно-оболочечных фундаментов в высотном строительстве / В. М. Чикишев, Я. А. Пронозин, Л. Е. Мальцев, Ю. В. Зазуля, М. А. Степанов // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. – 2012. – № 1(20). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ChikishevPronozinMaltsevZazulyaStepanov-2012_1\(20\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/ChikishevPronozinMaltsevZazulyaStepanov-2012_1(20).pdf) (дата обращения: 22.01.2020).

137. Юдина, А. Ф. Критерии выбора оптимального комплекта строительного-монтажных машин для возведения объекта в зависимости от заданных сроков строительства / А. Ф. Юдина, О. Н. Дьячкова // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 1 (14). – С. 52-55.

138. Юдина, А. Ф. Технология строительного производства в задачах и примерах (Производство земляных работ) / А. Ф. Юдина, А. Ф. Котрин, В. Д. Лихачев : Учебное пособие / Санкт-Петербург. – 2013.

139. Ярцев, В. П. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений : учебное пособие / В. П. Ярцев, К. А. Андрианов, Д. В. Иванов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 120 с.

140. Abdel-Rahman, M. M. Geotechnical behaviour of shell foundations. / M. M. Abdel-Rahman // Department of Civil Engineering, Concordia University, Canada, 1996. URL: <http://spectrum.library.concordia.ca/128/> (date of application: 21.07.2016).
141. Abdel-Rahman, M. M. Vertical Displacement induced in soil by conical shell foundations / M. M. Abdel-Rahman, A. M. Hanna // Proc. Vertical and Horizontal Deformations of foundations and Embankments, settlement 94, ASCE, University of Texas at A & M, Geotechnical Special Publication № 40. – 1994. – №2. – P.937-948.
142. Epifantceva, L. Building technology for strip foundations combined by membranes in heavy geotechnical conditions of Siberia / L. Epifantceva, O. Poroshin, Y. Pronozin // Proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics, ICG. – 2014. – 10.
143. Hanna, A. M. New models of shallow foundations / A. M. Hanna, W. Hadid // Int. J. Math. Modeling. – 1987. – № 9 (11). – P.799-811.
144. Hanna, A. M. Shell foundations: the future alternative / A. M. Hanna // Int. J. Housing Science and Its Applications. – 1988. – № 12 (4). – P.289-295.
145. Hong, T. Axisymmetric shells and plates on tensionless elastic foundations / T. Hong, J. G. Teng, Y. F. Luo // International Journal of Solids and Structures. – 1999. – Vol. 36. – № 34. – Pp. 5277-5300.
146. Kiselev, N. Theoretical and experimental substantiation for applicability of a damping layer in a foundation slab placed on soil bed / N. Kiselev, Y. Pronozin, M. Stepanov, L. Bartolomey, D. Keck // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 73. – Pp. 01017.
147. Kurian, N. P. Behaviour off shell foundations under subsidence of core soil / N. P. Kurian // Proc. 13th Int. Conf. Soil Mechanics and foundation Engrg., New Delhi, India. – 1994. – № 2. – Pp.591-594.
148. Luo, Y.F. Stability analysis of shells of revolution on nonlinear elastic foundations / Y. F. Luo, J. G. Teng // Computers & Structures. – 1998. – Vol. 69. – № 4. – Pp. 499–511.
149. Paliwal, D. N. Free vibrations of circular cylindrical shell on Winkler and Pasternak foundations / D. N. Paliwal, R. K. Pandey, T. Nath // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 1996. – Vol. 69. – № 1. – Pp. 79-89.
150. Pronozin, Ya. A. Theoretical studies of the features of stress-strain of a foundation loaded along an upward-convex curved surface / Ya. A. Pronozin, D.V. Rachkov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2017. – № 4 (36). – Pp. 37-49.
151. Pronozin, Ya. A. Regulation of the stress-strain state of combined strip pile foundation beds / Ya. A. Pronozin, M. Stepanov, D.V. Volosyuk // Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 53. – №. 3. – July, 2016. DOI 10.1007/s11204-016-9382-8
152. Ter-Martirosyan, Z. G. Shallow strip foundations joined by gently inclining envelopes on highly compressible soils / Z. G. Ter-Martirosyan, Y.A. Pronozin, N.Y. Kiselev // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2014. – Volume 51. – № 4. – Pp. 157-164. DOI 10.1007/s11204-014-9272-x
153. Tsygankova, M. A. Quality Estimation of Soil Body during Construction of Foundations with Curved Contact Surface using Harrington’s Desirability Function / M. A. Tsygankova // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – Volume 8. – №. 3. – March 2020. – Pp. 721-725.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Ким, Б.Г. Опыт возведения ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками в сложных инженерно-геологических условиях г. Тюмени / Б.Г. Ким, Я.А. Пронозин, **М.А. Цыганкова**, Д.В. Волосюк // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10407>, свободный.

2. Пронозин, Я.А. Технологические аспекты и экономические показатели устройства ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками / Я. А. Пронозин, **М.А. Цыганкова**, Д.В. Волосюк // Вестник ПНИПУ «Строительство и архитектура». – 2014. – № 3. – С. 179-193.

3. **Цыганкова М. А.** Техничко-экономическое обоснование устройства фундаментов с выпуклой вверх криволинейной формой контактной поверхности // Вестник Евразийской науки. — 2021 №1, Том 13 — URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN121.pdf> (доступ свободный).

4. **Цыганкова М. А.** Применение демпфирующей прокладки в качестве вспомогательного способа включения в работу железобетонной оболочки при устройстве ленточно-оболочечного фундамента // Инженерный вестник Дона. — 2021 №12 — URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7350> (доступ свободный).

5. **Цыганкова М. А.** Исследование технологических параметров оборудования для срезки грунта при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов // Вестник Евразийской науки. — 2021 №6. — URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN621.pdf>.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.:

6. **Tsygankova M. A.** Quality Estimation of Soil Body during Construction of Foundations with Curved Contact Surface using Harrington’s Desirability Function //

Статьи, опубликованные в других журналах и изданиях:

7. Волосюк, Д.В. Особенности производства арматурных работ при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / Д.В. Волосюк, **М.А. Цыганкова** // В сборнике: Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мега бассейна (опыт, инновации): материалы Международной научно-технической конференции Т.3. Современные эффективные материалы и конструкции. Социально-экономические проблемы освоения регионов со сложными климатическими условиями / ТИУ; отв. редактор П.В. Евтин. – Тюмень: ТИУ. – 2016. – С. 87-92.

8. **Цыганкова, М.А.** Технологические особенности производства земляных работ при устройстве мелкозаглубленных фундаментов-оболочек / М.А. Цыганкова // В сборнике: Архитектура - строительство – транспорт: материалы 73-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. 4-6 октября 2017 г.: [в 3 ч.]. Ч I. Архитектура и строительство: СПбГАСУ. – СПб. – 2017. – С. 84-89.

9. **Цыганкова, М.А.** Конструктивно-технологические решения устройства мелкозаглубленных ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова, Л.М. Колчеданцев // Актуальные проблемы строительства: материалы 70-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства»: в 3-х ч.; СПбГАСУ. – СПб. – 2017. – Ч. 2. – С.105-111.

10. **Цыганкова, М.А.** Классификация оболочечных фундаментов, применяемых в г. Тюмени и Тюменской области / М.А. Цыганкова // В сборнике: Архитектура - строительство – транспорт: материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета. 3-5 октября 2018 г.: [в 2 ч.]. Ч. I. Архитектура и строительство; СПбГАСУ. – СПб. – 2018. – С. 65-71.

11. **Цыганкова, М.А.** Факторы, влияющие на сроки и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // В сборнике: Актуальные проблемы строительства: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х ч.: СПбГАСУ. – СПб. – 2018. – Ч. 2. – (сер.: «Актуальные проблемы современного строительства»). – С. 188-194.

12. Гиматова А.Р. Анализ факторов, влияющих на скорость возведения и качество ленточно-оболочечных фундаментов / А.Р. Гиматова, Д.В. Усольцева, **М.А. Цыганкова** // В сборнике: Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции / отв. ред. П.В. Евтин. – Тюмень : ТИУ. – 2018. – С. 147-149.

13. Хлопенков, И. В. Технологические схемы производства работ при устройстве цилиндрических фундаментов / И. В. Хлопенков, **М. А. Цыганкова** // В сборнике: Новые технологии - нефтегазовому региону Материалы Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор П.В. Евтин. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 309-311.

14. Дроздов, А.Д. Регрессионный анализ зависимости материала подоболочечного пространства от вида грунтового основания при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / А.Д. Дроздов, **М.А. Цыганкова** // В сборнике: Организация строительного производства: материалы Всерос. науч. конф. [4 февраля 2019 года]; СПбГАСУ. – СПб. – 2019. – С. 8-13.

15. **Цыганкова, М.А.** Совершенствование технологии и методов организации при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции : Т. 2 / отв. ред. П.В. Евтин. – Тюмень : ТИУ. – 2019. – С. 225-227.

16. Колчеданцев, Л.М. Оценка качества грунтового массива при строительстве фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности с помощью функции желательности Харрингтона / Л.М. Колчеданцев, А.Д. Дроздов, **М.А. Цыганкова** // В сборнике: Организация строительного

производства : материалы II Всероссийской научной конференции [4-5 февраля 2020 г.] / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург. – 2020. – С. 3-14.

17. Колчеданцев, Л.М. Экспертная оценка нового способа устройства подоболочечного массива фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности / Л. М. Колчеданцев, А. Д. Дроздов, **М. А. Цыганкова** // Организация строительного производства : материалы III Всероссийской научно-практической конференции [10–11 февраля 2021 г.] / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – С. 19-35.

18. Ушакова, В. Н. Применение метода «термоса» при бетонировании фундаментов с криволинейной формой контактной поверхности / В.Н. Ушакова, **М.А. Цыганкова** // Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков, посвященной 40-летию юбилею Нижневартковского филиала ТИУ (Нижневартовск, 20 апреля 2021 г.) / отв. ред. Е.В. Белокурова, В.Я. Мауль, М.В.Шалаева. – Тюмень: ТИУ. – 2021. – С. 433-437.

19. **Цыганкова, М. А.** Оборудование для формирования криволинейной поверхности подоболочечного массива при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов / М.А. Цыганкова // Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков, посвященной 40-летию юбилею Нижневартковского филиала ТИУ (Нижневартовск, 20 апреля 2021 г.) / отв. ред. Е.В. Белокурова, В.Я. Мауль, М.В.Шалаева. – Тюмень : ТИУ. – 2021. – С. 437-442.

Патенты:

20. Пат. 2689957 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Ленточно-оболочечный фундамент мелкого заложения / Колчеданцев Л.М., Пронозин Я.А., Дроздов А.Д., **Цыганкова М.А.**; патентообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-

Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – № 2018131864; заявл. 04.09.2018; опубл. 29.05.2019, Бюл. № 16.

21. Пат. 2752890 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Ленточно-мембранный фундамент мелкого заложения / **Цыганкова М.А.**, Дроздов А.Д., Колчеданцев Л.М.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2021100198; заявл. 11.01.2021; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 23.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1 - Расчетная длина дуги режущего оборудования

№ п/п	L1, м	Длина дуги режущего оборудования Lp.o. при:							
		f = 1/5L1, м	f = 1/6L1, м	f = 1/7L1, м	f = 1/8L1, м	f = 1/9L1, м	f = 1/10L1, м	f = 1/11L1, м	f = 1/12L1, м
1	2	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
	Длина дуги Р.О.	2,20	2,14	2,11	2,08	2,06	2,05	2,04	2,04
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02
2	2,15	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18
	Длина дуги Р.О.	2,34	2,29	2,26	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
3	2,3	0,46	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19
	Длина дуги Р.О.	2,51	2,45	2,41	2,39	2,36	2,34	2,33	2,32
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
4	2,45	0,49	0,41	0,35	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20
	Длина дуги Р.О.	2,67	2,61	2,57	2,54	2,52	2,50	2,48	2,47
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
5	2,6	0,52	0,43	0,37	0,33	0,29	0,26	0,24	0,22
	Длина дуги Р.О.	2,84	2,78	2,73	2,70	2,67	2,65	2,64	2,62
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
6	2,75	0,55	0,46	0,39	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23
	Длина дуги Р.О.	3,00	2,94	2,89	2,86	2,83	2,81	2,79	2,77
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
7	2,9	0,58	0,48	0,41	0,36	0,32	0,29	0,26	0,24
	Длина дуги Р.О.	3,17	3,10	3,05	3,01	2,98	2,96	2,94	2,93
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01
8	3,05	0,61	0,51	0,44	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25
	Длина дуги Р.О.	3,33	3,26	3,21	3,17	3,14	3,12	3,10	3,08
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
9	3,2	0,64	0,53	0,46	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27
	Длина дуги Р.О.	3,50	3,42	3,37	3,33	3,30	3,27	3,25	3,23
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
10	3,35	0,67	0,56	0,48	0,42	0,37	0,34	0,30	0,28
	Длина дуги Р.О.	3,66	3,58	3,53	3,48	3,45	3,42	3,40	3,38
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
11	3,5	0,70	0,58	0,50	0,44	0,39	0,35	0,32	0,29
	Длина дуги Р.О.	3,83	3,74	3,69	3,64	3,61	3,58	3,56	3,54
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
12	3,65	0,73	0,61	0,52	0,46	0,41	0,37	0,33	0,30
	Длина дуги Р.О.	3,99	3,91	3,84	3,80	3,76	3,73	3,71	3,69
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
13	3,8	0,76	0,63	0,54	0,48	0,42	0,38	0,35	0,32
	Длина дуги Р.О.	4,16	4,07	4,00	3,95	3,92	3,89	3,86	3,84
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
14	3,95	0,79	0,66	0,56	0,49	0,44	0,40	0,36	0,33
	Длина дуги Р.О.	4,32	4,23	4,16	4,11	4,07	4,04	4,02	3,99

	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
15	4,1	0,82	0,68	0,59	0,51	0,46	0,41	0,37	0,34
	Длина дуги P.O.	4,51	4,39	4,30	4,27	4,24	4,21	4,19	4,17
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
16	4,25	0,85	0,71	0,61	0,53	0,47	0,43	0,39	0,35
	Длина дуги P.O.	4,65	4,55	4,48	4,43	4,38	4,35	4,32	4,30
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
17	4,4	0,88	0,73	0,63	0,55	0,49	0,44	0,40	0,37
	Длина дуги P.O.	4,82	4,71	4,64	4,58	4,54	4,50	4,48	4,45
	кр.о.=Lp.o./L1	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
18	4,55	0,91	0,76	0,65	0,57	0,51	0,46	0,41	0,38
	Длина дуги P.O.	4,98	4,87	4,80	4,74	4,69	4,66	4,63	4,60
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
19	4,7	0,94	0,78	0,67	0,59	0,52	0,47	0,43	0,39
	Длина дуги P.O.	5,15	5,04	4,96	4,90	4,85	4,81	4,78	4,76
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
20	4,85	0,97	0,81	0,69	0,61	0,54	0,49	0,44	0,40
	Длина дуги P.O.	5,31	5,20	5,11	5,05	5,01	4,97	4,94	4,91
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
21	5	1,00	0,83	0,71	0,63	0,56	0,50	0,45	0,42
	Длина дуги P.O.	5,48	5,36	5,27	5,21	5,16	5,12	5,09	5,06
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
22	5,15	1,03	0,86	0,74	0,64	0,57	0,52	0,47	0,43
	Длина дуги P.O.	5,64	5,52	5,43	5,37	5,32	5,28	5,24	5,21
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
23	5,3	1,06	0,88	0,76	0,66	0,59	0,53	0,48	0,44
	Длина дуги P.O.	5,81	5,68	5,59	5,52	5,47	5,43	5,40	5,37
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
24	5,45	1,09	0,91	0,78	0,68	0,61	0,55	0,50	0,45
	Длина дуги P.O.	5,97	5,84	5,75	5,68	5,63	5,58	5,55	5,52
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
25	5,6	1,12	0,93	0,80	0,70	0,62	0,56	0,51	0,47
	Длина дуги P.O.	6,14	6,00	5,91	5,84	5,78	5,74	5,70	5,67
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
26	5,75	1,15	0,96	0,82	0,72	0,64	0,58	0,52	0,48
	Длина дуги P.O.	6,30	6,17	6,07	5,99	5,94	5,89	5,86	5,82
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
27	5,9	1,18	0,98	0,84	0,74	0,66	0,59	0,54	0,49
	Длина дуги P.O.	6,47	6,33	6,23	6,15	6,09	6,05	6,01	5,98
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
28	6,05	1,21	1,01	0,86	0,76	0,67	0,61	0,55	0,50
	Длина дуги P.O.	6,63	6,49	6,39	6,31	6,25	6,20	6,16	6,13
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01
29	6,2	1,24	1,03	0,89	0,78	0,69	0,62	0,56	0,52
	Длина дуги P.O.	6,84	6,65	6,54	6,46	6,40	6,37	6,34	6,32
	кр.о.=Lp.o./L1	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02

Приложение 2

Таблица 1 - Расчетная сила сопротивления грунта резанию (усилие резания), в зависимости от параметров 1-го варианта при угле резания 90 градусов

№ п/п	Число ударов динамического плотмера, С	Длина горизонтальной кромки, li, м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, hi, м	Угол резания α	Толщина режущего ножа, s, м	Коэффициент V	Условия резания, характерные μ	Усилие резания, Р, Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	317,78
2	34	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	169,79
3	34	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	74,91
4	34	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	17,00
5	34	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	6,67
								СУММА:	586,15
1	33	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	308,44
2	33	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	164,80
3	33	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	72,71
4	33	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	16,50
5	33	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	6,47
								СУММА:	568,91
1	32	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	299,09
2	32	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	159,80
3	32	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	70,50
4	32	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	16,00
5	32	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	6,28
								СУММА:	551,67
1	31	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	289,74
2	31	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	154,81
3	31	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	68,30
4	31	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	15,50
5	31	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	6,08
								СУММА:	534,43
1	30	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	280,40
2	30	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	149,81
3	30	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	66,10
4	30	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	15,00
5	30	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	5,88
								СУММА:	517,19
1	29	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	271,05
2	29	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	144,82
3	29	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	63,89
4	29	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	14,50
5	29	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	5,69
								СУММА:	499,95

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	261,70
2	28	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	139,83
3	28	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	61,69
4	28	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	14,00
5	28	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	5,49
								CYMMMA:	482,71
1	27	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	252,36
2	27	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	134,83
3	27	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	59,49
4	27	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	13,50
5	27	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	5,30
								CYMMMA:	465,47
1	26	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	243,01
2	26	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	129,84
3	26	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	57,28
4	26	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	13,00
5	26	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	5,10
								CYMMMA:	448,23
1	25	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	233,66
2	25	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	124,85
3	25	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	55,08
4	25	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	12,50
5	25	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	4,90
								CYMMMA:	430,99
1	24	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	224,32
2	24	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	119,85
3	24	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	52,88
4	24	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	12,00
5	24	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	4,71
								CYMMMA:	413,75
1	23	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	214,97
2	23	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	114,86
3	23	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	50,67
4	23	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	11,50
5	23	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	4,51
								CYMMMA:	396,51
1	22	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	205,63
2	22	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	109,86
3	22	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	48,47
4	22	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	11,00
5	22	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	4,31
								CYMMMA:	379,27
1	21	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	196,28
2	21	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	104,87
3	21	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	46,27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	21	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	10,50
5	21	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	4,12
								CYMMMA:	362,03
1	20	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	186,93
2	20	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	99,88
3	20	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	44,06
4	20	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	10,00
5	20	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	3,92
								CYMMMA:	344,79
1	19	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	177,59
2	19	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	94,88
3	19	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	41,86
4	19	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	9,50
5	19	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	3,73
								CYMMMA:	327,55
1	18	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	168,24
2	18	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	89,89
3	18	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	39,66
4	18	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	9,00
5	18	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	3,53
								CYMMMA:	310,32
1	17	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	158,89
2	17	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	84,89
3	17	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	37,45
4	17	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	8,50
5	17	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	3,33
								CYMMMA:	293,08
1	16	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	149,55
2	16	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	79,90
3	16	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	35,25
4	16	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	8,00
5	16	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	3,14
								CYMMMA:	275,84
1	15	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	140,20
2	15	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	74,91
3	15	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	33,05
4	15	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	7,50
5	15	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	2,94
								CYMMMA:	258,60
1	14	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	130,85
2	14	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	69,91
3	14	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	30,84
4	14	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	7,00
5	14	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	2,75
								CYMMMA:	241,36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	13	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	121,51
2	13	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	64,92
3	13	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	28,64
4	13	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	6,50
5	13	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	2,55
								CYMMMA:	224,12
1	12	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	112,16
2	12	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	59,93
3	12	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	26,44
4	12	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	6,00
5	12	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	2,35
								CYMMMA:	206,88
1	11	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	102,81
2	11	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	54,93
3	11	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	24,24
4	11	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	5,50
5	11	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	2,16
								CYMMMA:	189,64
1	10	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	93,47
2	10	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	49,94
3	10	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	22,03
4	10	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	5,00
5	10	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	1,96
								CYMMMA:	172,40
1	9	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	84,12
2	9	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	44,94
3	9	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	19,83
4	9	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	4,50
5	9	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	1,77
								CYMMMA:	155,16
1	8	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	74,77
2	8	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	39,95
3	8	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	17,63
4	8	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	4,00
5	8	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	1,57
								CYMMMA:	137,92
1	7	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	65,43
2	7	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	34,96
3	7	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	15,42
4	7	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	3,50
5	7	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	1,37
								CYMMMA:	120,68
1	6	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	56,08
2	6	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	29,96
3	6	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	13,22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	6	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	3,00
5	6	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	1,18
								CYMMMA:	103,44
1	5	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	46,73
2	5	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	24,97
3	5	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	11,02
4	5	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	2,50
5	5	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	0,98
								CYMMMA:	86,20
1	4	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	37,39
2	4	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	19,98
3	4	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	8,81
4	4	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	2,00
5	4	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	0,78
								CYMMMA:	68,96
1	3	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	28,04
2	3	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	14,98
3	3	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	6,61
4	3	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	1,50
5	3	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	0,59
								CYMMMA:	51,72
1	2	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	18,69
2	2	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	9,99
3	2	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	4,41
4	2	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	1,00
5	2	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	0,39
								CYMMMA:	34,48
1	1	0,3	2	0,18	90	0,01	1,03	1,6	9,35
2	1	0,3	2	0,11	90	0,01	1,03	1,6	4,99
3	1	0,3	2	0,06	90	0,01	1,03	1,6	2,20
4	1	0,3	2	0,02	90	0,01	1,03	1,6	0,50
5	1	0,3	2	0,01	90	0,01	1,03	1,6	0,20
								CYMMMA:	17,24

Таблица 2 - Расчетная сила сопротивления грунта резанию (усилие резания), в зависимости от параметров 1-го варианта при угле резания 60 градусов

№ п/п	Число ударов динамического плотномера, С	Длина горизонтальной кромки, li, м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, hi, м	Угол резания α	Толщина режущего ножа, s, м	Коэффициент V	Условия резания, характеризующие μ	Усиление резания, Р, Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	275,10
2	34	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	146,98
3	34	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	64,85
4	34	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	14,72
5	34	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	5,77
								СУММА:	507,41
1	33	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	267,01
2	33	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	142,66
3	33	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	62,94
4	33	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	14,28
5	33	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	5,60
								СУММА:	492,49
1	32	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	258,91
2	32	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	138,34
3	32	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	61,03
4	32	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	13,85
5	32	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	5,43
								СУММА:	477,57
1	31	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	250,82
2	31	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	134,01
3	31	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	59,13
4	31	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	13,42
5	31	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	5,26
								СУММА:	462,64
1	30	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	242,73
2	30	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	129,69
3	30	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	57,22
4	30	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	12,98
5	30	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	5,09
								СУММА:	447,72
1	29	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	234,64
2	29	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	125,37
3	29	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	55,31
4	29	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	12,55
5	29	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,92
								СУММА:	432,79
1	28	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	226,55

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	28	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	121,04
3	28	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	53,40
4	28	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	12,12
5	28	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,75
								CYMMMA:	417,87
1	27	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	218,46
2	27	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	116,72
3	27	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	51,50
4	27	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	11,69
5	27	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,58
								CYMMMA:	402,95
1	26	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	210,37
2	26	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	112,40
3	26	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	49,59
4	26	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	11,25
5	26	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,41
								CYMMMA:	388,02
1	25	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	202,28
2	25	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	108,08
3	25	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	47,68
4	25	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	10,82
5	25	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,24
								CYMMMA:	373,10
1	24	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	194,19
2	24	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	103,75
3	24	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	45,77
4	24	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	10,39
5	24	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	4,07
								CYMMMA:	358,17
1	23	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	186,09
2	23	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	99,43
3	23	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	43,87
4	23	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	9,95
5	23	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,91
								CYMMMA:	343,25
1	22	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	178,00
2	22	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	95,11
3	22	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	41,96
4	22	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	9,52
5	22	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,74
								CYMMMA:	328,33
1	21	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	169,91
2	21	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	90,78
3	21	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	40,05
4	21	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	9,09

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	21	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,57
								CYMMMA:	313,40
1	20	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	161,82
2	20	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	86,46
3	20	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	38,15
4	20	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	8,66
5	20	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,40
								CYMMMA:	298,48
1	19	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	153,73
2	19	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	82,14
3	19	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	36,24
4	19	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	8,22
5	19	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,23
								CYMMMA:	283,55
1	18	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	145,64
2	18	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	77,81
3	18	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	34,33
4	18	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	7,79
5	18	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	3,06
								CYMMMA:	268,63
1	17	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	137,55
2	17	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	73,49
3	17	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	32,42
4	17	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	7,36
5	17	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,89
								CYMMMA:	253,71
1	16	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	129,46
2	16	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	69,17
3	16	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	30,52
4	16	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	6,92
5	16	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,72
								CYMMMA:	238,78
1	15	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	121,37
2	15	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	64,85
3	15	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	28,61
4	15	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	6,49
5	15	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,55
								CYMMMA:	223,86
1	14	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	113,28
2	14	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	60,52
3	14	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	26,70
4	14	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	6,06
5	14	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,38
								CYMMMA:	208,94
1	13	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	105,18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	13	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	56,20
3	13	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	24,79
4	13	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	5,63
5	13	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,21
								CYMMMA:	194,01
1	12	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	97,09
2	12	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	51,88
3	12	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	22,89
4	12	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	5,19
5	12	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	2,04
								CYMMMA:	179,09
1	11	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	89,00
2	11	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	47,55
3	11	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	20,98
4	11	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	4,76
5	11	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,87
								CYMMMA:	164,16
1	10	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	80,91
2	10	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	43,23
3	10	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	19,07
4	10	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	4,33
5	10	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,70
								CYMMMA:	149,24
1	9	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	72,82
2	9	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	38,91
3	9	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	17,17
4	9	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	3,90
5	9	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,53
								CYMMMA:	134,32
1	8	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	64,73
2	8	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	34,58
3	8	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	15,26
4	8	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	3,46
5	8	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,36
								CYMMMA:	119,39
1	7	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	56,64
2	7	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	30,26
3	7	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	13,35
4	7	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	3,03
5	7	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,19
								CYMMMA:	104,47
1	6	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	48,55
2	6	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	25,94
3	6	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	11,44
4	6	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	2,60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	6	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	1,02
								CYMMMA:	89,54
1	5	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	40,46
2	5	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	21,62
3	5	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	9,54
4	5	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	2,16
5	5	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	0,85
								CYMMMA:	74,62
1	4	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	32,36
2	4	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	17,29
3	4	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	7,63
4	4	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	1,73
5	4	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	0,68
								CYMMMA:	59,70
1	3	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	24,27
2	3	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	12,97
3	3	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	5,72
4	3	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	1,30
5	3	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	0,51
								CYMMMA:	44,77
1	2	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	16,18
2	2	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	8,65
3	2	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	3,81
4	2	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	0,87
5	2	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	0,34
								CYMMMA:	29,85
1	1	0,3	2	0,18	60	0,01	1,03	1,6	8,09
2	1	0,3	2	0,11	60	0,01	1,03	1,6	4,32
3	1	0,3	2	0,06	60	0,01	1,03	1,6	1,91
4	1	0,3	2	0,02	60	0,01	1,03	1,6	0,43
5	1	0,3	2	0,01	60	0,01	1,03	1,6	0,17
								CYMMMA:	14,92

Таблица 3 - Расчетная сила сопротивления грунта резанию (усилие резания), в зависимости от параметров 1-го варианта при угле резания 30 градусов

№ п/п	Число ударов динамического плотнотемера, С	Длина горизонтальной кромки, li, м	Кол-во пластинок, шт	Глубина резания, hi, м	Угол резания α	Толщина режущего ножа, s, м	Коэффициент V	Условия резания, характерные μ	Усиление резания, P, Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	34	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	232,41
2	34	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	124,17
3	34	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	54,78
4	34	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	12,43
5	34	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,88
								СУММА:	428,68
1	33	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	225,57
2	33	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	120,52
3	33	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	53,17
4	33	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	12,07
5	33	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,73
								СУММА:	416,07
1	32	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	218,74
2	32	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	116,87
3	32	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	51,56
4	32	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	11,70
5	32	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,59
								СУММА:	403,46
1	31	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	211,90
2	31	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	113,22
3	31	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	49,95
4	31	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	11,34
5	31	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,45
								СУММА:	390,85
1	30	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	205,07
2	30	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	109,57
3	30	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	48,34
4	30	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	10,97
5	30	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,30
								СУММА:	378,24
1	29	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	198,23
2	29	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	105,91
3	29	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	46,73
4	29	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	10,60
5	29	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,16
								СУММА:	365,64
1	28	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	191,40

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	28	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	102,26
3	28	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	45,12
4	28	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	10,24
5	28	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	4,02
								CYMMMA:	353,03
1	27	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	184,56
2	27	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	98,61
3	27	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	43,51
4	27	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	9,87
5	27	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,87
								CYMMMA:	340,42
1	26	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	177,72
2	26	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	94,96
3	26	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	41,89
4	26	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	9,51
5	26	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,73
								CYMMMA:	327,81
1	25	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	170,89
2	25	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	91,30
3	25	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	40,28
4	25	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	9,14
5	25	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,59
								CYMMMA:	315,20
1	24	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	164,05
2	24	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	87,65
3	24	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	38,67
4	24	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	8,78
5	24	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,44
								CYMMMA:	302,60
1	23	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	157,22
2	23	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	84,00
3	23	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	37,06
4	23	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	8,41
5	23	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,30
								CYMMMA:	289,99
1	22	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	150,38
2	22	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	80,35
3	22	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	35,45
4	22	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	8,04
5	22	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,16
								CYMMMA:	277,38
1	21	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	143,55
2	21	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	76,70
3	21	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	33,84
4	21	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	7,68

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	21	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	3,01
								CYMMMA:	264,77
1	20	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	136,71
2	20	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	73,04
3	20	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	32,23
4	20	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	7,31
5	20	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,87
								CYMMMA:	252,16
1	19	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	129,88
2	19	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	69,39
3	19	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	30,61
4	19	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	6,95
5	19	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,73
								CYMMMA:	239,56
1	18	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	123,04
2	18	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	65,74
3	18	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	29,00
4	18	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	6,58
5	18	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,58
								CYMMMA:	226,95
1	17	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	116,20
2	17	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	62,09
3	17	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	27,39
4	17	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	6,22
5	17	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,44
								CYMMMA:	214,34
1	16	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	109,37
2	16	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	58,44
3	16	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	25,78
4	16	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	5,85
5	16	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,30
								CYMMMA:	201,73
1	15	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	102,53
2	15	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	54,78
3	15	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	24,17
4	15	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	5,48
5	15	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,15
								CYMMMA:	189,12
1	14	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	95,70
2	14	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	51,13
3	14	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	22,56
4	14	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	5,12
5	14	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	2,01
								CYMMMA:	176,51
1	13	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	88,86

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	13	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	47,48
3	13	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	20,95
4	13	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	4,75
5	13	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,86
								CYMMMA:	163,91
1	12	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	82,03
2	12	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	43,83
3	12	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	19,34
4	12	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	4,39
5	12	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,72
								CYMMMA:	151,30
1	11	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	75,19
2	11	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	40,17
3	11	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	17,72
4	11	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	4,02
5	11	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,58
								CYMMMA:	138,69
1	10	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	68,36
2	10	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	36,52
3	10	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	16,11
4	10	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	3,66
5	10	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,43
								CYMMMA:	126,08
1	9	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	61,52
2	9	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	32,87
3	9	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	14,50
4	9	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	3,29
5	9	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,29
								CYMMMA:	113,47
1	8	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	54,68
2	8	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	29,22
3	8	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	12,89
4	8	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	2,93
5	8	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,15
								CYMMMA:	100,87
1	7	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	47,85
2	7	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	25,57
3	7	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	11,28
4	7	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	2,56
5	7	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	1,00
								CYMMMA:	88,26
1	6	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	41,01
2	6	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	21,91
3	6	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	9,67
4	6	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	2,19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	6	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,86
								CYMMMA:	75,65
1	5	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	34,18
2	5	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	18,26
3	5	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	8,06
4	5	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	1,83
5	5	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,72
								CYMMMA:	63,04
1	4	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	27,34
2	4	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	14,61
3	4	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	6,45
4	4	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	1,46
5	4	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,57
								CYMMMA:	50,43
1	3	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	20,51
2	3	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	10,96
3	3	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	4,83
4	3	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	1,10
5	3	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,43
								CYMMMA:	37,82
1	2	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	13,67
2	2	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	7,30
3	2	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	3,22
4	2	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	0,73
5	2	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,29
								CYMMMA:	25,22
1	1	0,3	2	0,18	30	0,01	1,03	1,6	6,84
2	1	0,3	2	0,11	30	0,01	1,03	1,6	3,65
3	1	0,3	2	0,06	30	0,01	1,03	1,6	1,61
4	1	0,3	2	0,02	30	0,01	1,03	1,6	0,37
5	1	0,3	2	0,01	30	0,01	1,03	1,6	0,14
								CYMMMA:	12,61

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2689957

**ЛЕНТОЧНО-ОБОЛОЧЕЧНЫЙ ФУНДАМЕНТ МЕЛКОГО
ЗАЛОЖЕНИЯ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (RU)*

Авторы: *Колчеданцев Леонид Михайлович (RU), Пронозин Яков Александрович (RU), Дроздов Александр Данилович (RU), Цыганкова Мария Анатольевна (RU)*

Заявка № 2018131864

Приоритет изобретения 04 сентября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 29 мая 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 04 сентября 2038 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Иванев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2752890

Ленточно-мембранный фундамент мелкого заложения

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет" (ТИУ) (RU)*

Авторы: *Цыганкова Мария Анатольевна (RU), Дроздов Александр Данилович (RU), Колчеданцев Леонид Михайлович (RU)*

Заявка № 2021100198

Приоритет изобретения 11 января 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 августа 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 11 января 2041 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат безопасности информации № 1181118
Подписан: **Илья Владимирович Патрушев**
Действителен с 2021.08.11 по 11.01.2041

Г.П. Патрушев



ВСЕРОССИЙСКОЕ
ОБЩЕСТВО
ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ И
РАЦИОНАЛИЗАТОРОВ

ДИПЛОМ ПОБЕДИТЕЛЯ

Регионального этапа
Всероссийской премии ВОИР

ВРУЧАЕТСЯ

**Мария Анатольевна
Цыганкова**

Ленточно-мембранный фундамент

Председатель
Тюменского
Областного совета
ВОИР



Мельцер М.М.

г. Тюмень, 2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«СОГЛАСОВАНО»
Директор ООО «ГЕОФОНД+»


Я. А. Пронозин
« 01 » ноября 2021г.




«УТВЕРЖДАЮ»
Профессор по научной работе
ТИУ, к.т.н., доцент

Ю. В. Ваганов
« 01 » ноября 2021г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВЫПУКЛОЙ ВВЕРХ ПОВЕРХНОСТИ
ГРУНТОВОГО ЦЕЛИКА**

Заведующий кафедрой строительного производства,
к.т.н., доцент ТИУ


О. В. Ашихмин

Научный руководитель,
к.т.н., доцент кафедры организации строительства
СПбГАСУ


А. Д. Дроздов

Разработчик, старший преподаватель кафедры
строительного производства ТИУ,
аспирант кафедры организации строительства
СПбГАСУ


М. А. Цыганкова

Содержание

1. Общие положения
2. Область применения
3. Основные требования перед началом работ
4. Применяемое оборудование
5. Сборка оборудования
6. Последовательность производства работ
7. Квалификационный состав бригады
8. Указания по технике безопасности

1. Общие положения

1.1. Настоящий технологический регламент определяет порядок производства работ по формированию цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика при устройстве ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения.

1.2. Технологический регламент разработан в соответствии со СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве».

1.3. Требования регламента распространяются на производство работ по формированию цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика с использованием специализированного оборудования для срезки грунта по криволинейной поверхности.

1.4. Работники, выполняющие работу и обслуживающие оборудование должны иметь соответствующую профессию и квалификацию.

2. Область применения

2.1. Способ применим для устройства ленточно-оболочечных фундаментов с цилиндрической выпуклой вверх поверхностью грунтового основания в пролетной части фундамента.

2.2. Применение указанного способа не имеет ограничений по ширине и высоте пролетной части грунтового профиля.

2.3. В качестве оснований допускается использование глинистого и суглинистого грунта естественного сложения, характеризуемого числом ударов динамического плотномера от 1 до 34.

2.4. Технология позволяет производить качественную планировку грунта с соблюдением проектных значений в пределах от 1/5 до 1/12 соотношения высоты подъема стрелы цилиндрической поверхности к ее ширине пролета.

2.5. Эффективность применения регламента заключается в повышении качества поверхности грунтового основания и снижении трудоемкости производства работ.

3. Основные требования перед началом работ

До начала производства работ по срезке грунта специализированным оборудованием необходимо:

3.1. Произвести анализ грунтовых профилей согласно плану фундамента.

3.2. Определить размеры унифицированного оборудования, подходящего для грунтовых профилей различной ширины и высоты.

3.3. Разработать проект режущего оборудования.

3.4. Произвести сварку деталей режущего оборудования в заводских условиях.

3.5. Привезти детали режущего оборудования на строительную площадку.

3.6. Произвести сборку деталей режущего оборудования в условиях строительной площадки.

4. Применяемое оборудование, материалы, их характеристики

4.1. Н-образная траверса;

4.2.а. – металлические опалубочные щиты 0,3 х 1,5 м; 0,4 х 1,5 м; 0,5 х 1,5 м; 0,6 х 1,5 м; 0,3 х 3,0 м; 0,4 х 3,0 м; 0,5 х 3,0 м; 0,6 х 3,0 м;

– клиновой замок для соединения опалубочных щитов;

4.2.б. – металлические фермы с параллельными поясами, (номер швеллеров 22П, 5П, 8П, 12П), L = 6 м – 2 шт.;

– металлические фермы с параллельными поясами, (размеры сечений квадратных труб 60х60х2; 20х20х2; 30х30х3; 40х40х2), L = 6 м – 2 шт.;

4.3. швеллер 16П, длина 600 см – 2 шт.;

4.4. трубы стальные прямоугольные 100 х 50 мм, толщина стенки 5 мм, длина 100 см – 2 шт.;

4.5. трубы стальные прямоугольные 60 х 30 мм, толщина стенки 3 мм, длина 30 см – 6 шт.;

4.6. трубы стальные прямоугольные 50 х 25 мм, толщина стенки 3 мм, длиной равной длине выпуклого вверх грунтового основания – 3 шт.;

4.7. металлические листы 100 х 30 см, – n шт.;

4.8. металлические петли – 6 шт на 1 мет. лист;

4.9. строп двухветвевой 2СК-3,2, ТУ-400-2-355-86; строп четырехветвевой 4СК-3,2, ТУ-400-2-355-86;

4.10. электрическая лебедка, моделью, определяемой по таблице 1.

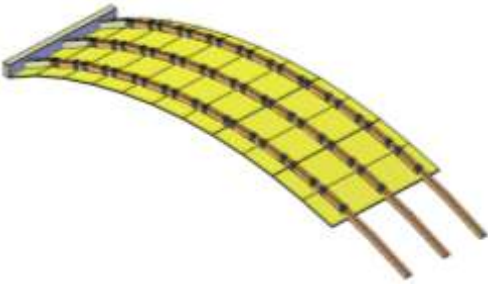
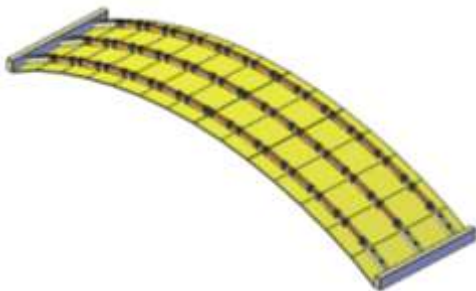
Таблица 1 - Техническая характеристика электрических лебедок, применяемых при определенных условиях резания грунта режущим оборудованием

Наименование показателей электрических лебедок при перемещении режущего ножа	Ед. изм.	Модель электрических лебедок				
		ЛМ-0,35	ТЛЧ-14А	ТЛ-14Б	ЛМЧ-1	ЛМ-1,25
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Тяговое усилие на канате	т	0,35	0,42	0,63	1,0	1,25
Канатоемкость барабана	м	80	80	50	100	250
Скорость намотки каната	м/с	0,2	0,45	0,35	0,3	0,37
Скорость намотки каната	м/мин	12	27	21	18	22,2
Мощность электродвигателя	кВт	1,5	3,0	3,0	4,0	4,0

1	2	3	4	5	6	7			
Напряжение	В	400	400	400	400	400			
Масса (без каната)	Кг	75	280	220	270	320			
Управление	Электрическое								
При числе ударов динамического плотномера:	число	1-21	22-34	1-2	3-21	1-11	22-34	12-34	12-34
При максимальной глубине резания:	м	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	св. 0,6
При максимальной ширине резания:	м	3,5	3,5	5	5	6,5	5	6,5	св. 6,5
при массе режущего оборудования:	т	0,157	0,157	0,222	0,222	0,29	0,222	0,29	св. 0,29

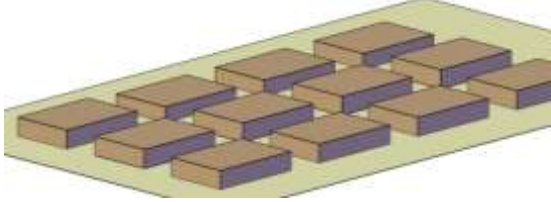
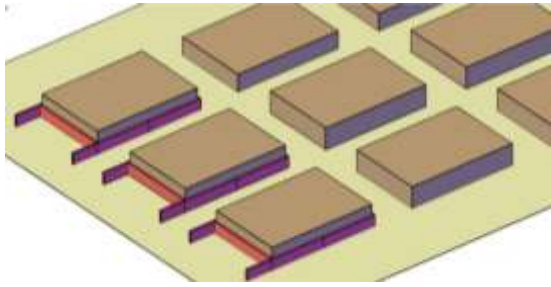
5. Сборка режущего оборудования

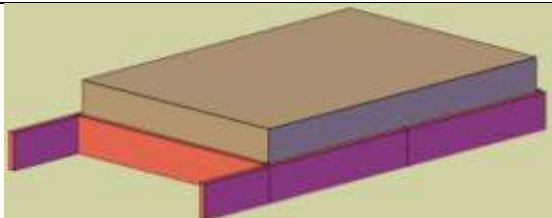
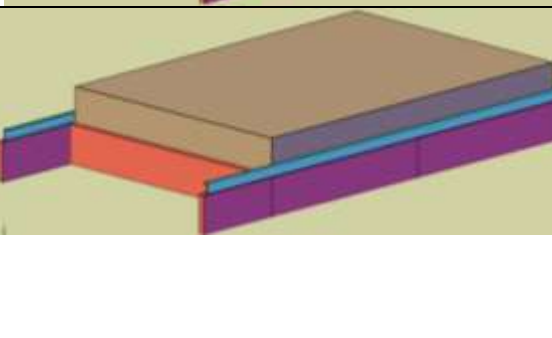
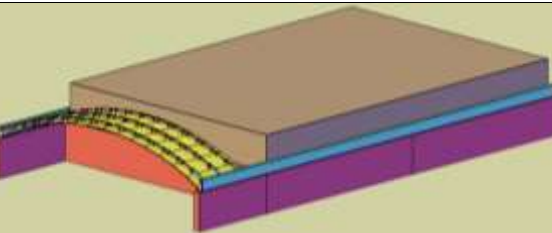
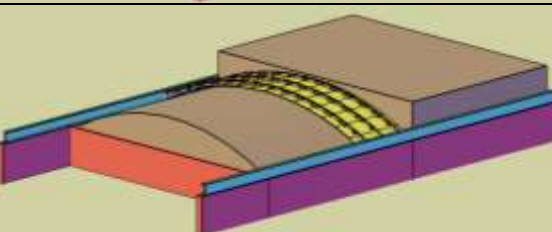
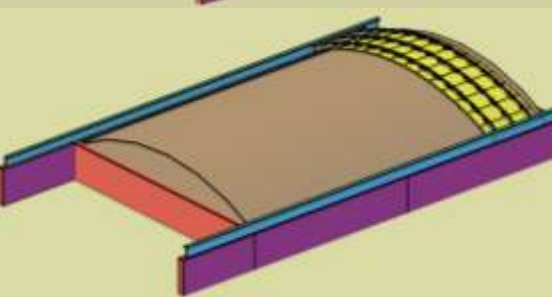
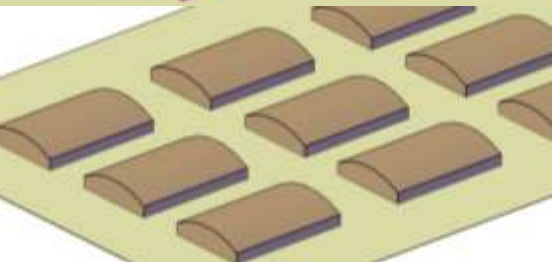
№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
5.1.	«Неразборная часть»: к двум металлическим замкнутым трубам размером профиля 100x50, длиной 100 см привариваются по трубы стальные прямоугольные размером профиля 60x30, длиной 30 см под углом, обеспечивающим заданную кривизну подболовочного массива грунта.	
5.2.	Снизу к данным стальным прямоугольным трубам привариваются крайний левый и крайний правый металлические листы.	
5.3.	«Разборная часть оборудования»: в трубы стальные прямоугольные с одной стороны вставляются и закрепляются болтовым соединением гнутые по заданному диаметру трубы размером профиля 50x25, длиной определяющей длину верхней поверхности планируемого грунтового целика.	

1	2	3
5.4.	Далее на три гнутых трубы нанизываются металлические пластины размером 100х30 см через специальные металлические петли, приваренные к ним сверху.	
5.5.	После полной сборки металлических пластин, оставшийся свободным конец гнутых труб, вставляется в трубы большего диаметра и фиксируется болтовым соединением с «неразборной частью» оборудования*.	

* Сборка оборудования осуществляется согласно паспорта завода-изготовителя.

6. Последовательность производства работ

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
6.1.	Производится разработка грунта котлована экскаватором до верхней отметки грунтового целика. Далее производится разработка траншей под ленточные опорные контуры.	
6.2.	По периметру грунтового целика, подлежащего срезке по цилиндрической выпуклой вверх поверхности, устанавливается металлическая опалубка (как показано на рисунке). Допускается установка опалубки на нескольких грунтовых целиках одновременно. В случае устройства металлических опор под режущее оборудование производят монтаж металлических ферм с параллельными поясами вдоль грунтового целика (расчет массы металлической конструкции см. п.7.1.-7.2.). Фермы жестко закрепляются в геометрически неизменяемую конструкцию при помощи 4-х горизонтально расположенных швеллеров 12П и 2-х раскосов 6,5П.	

1	2	3
6.3.	С одной стороны грунтового целика опалубка (ферма) превышает длину грунтового целика на величину 1,5 м с целью создания «монтажного столика» для установки режущего оборудования.	
6.4.	Сверху на опалубку (ферму), расположенную вдоль грунтового целика крепятся металлические направляющие из металлопроката (швеллер 16П). Направляющие крепятся к опалубке при помощи заклепок, в заранее просверленные отверстия. Направляющие крепятся к ферме при помощи электросварки.	
6.5.	Режущее оборудование подается к месту производства работ при помощи крана и Н-образной траверсы. Оборудование заводится в швеллер 16П на монтажном столике.	
6.6.	Перемещение оборудование осуществляется при помощи электрической лебедки, установленной с противоположной от монтажного столика стороны грунтового целика.	
6.7.	Срезку производят за одну проходку, осуществляя вспомогательный сброс грунта вручную совковыми лопатами в траншеи с последующей зачисткой дна траншеи.	
6.8.	Далее производят перестановку опалубки и оборудования для формирования цилиндрической поверхности остальных грунтовых целиков.	

7. Расчет веса металлической конструкции, являющейся опорой для передвижения режущего оборудования

7.1. Конструкция и вес основных металлических ферм

Конструкция металлической фермы и типы сечений элементов представлены на рисунке А.

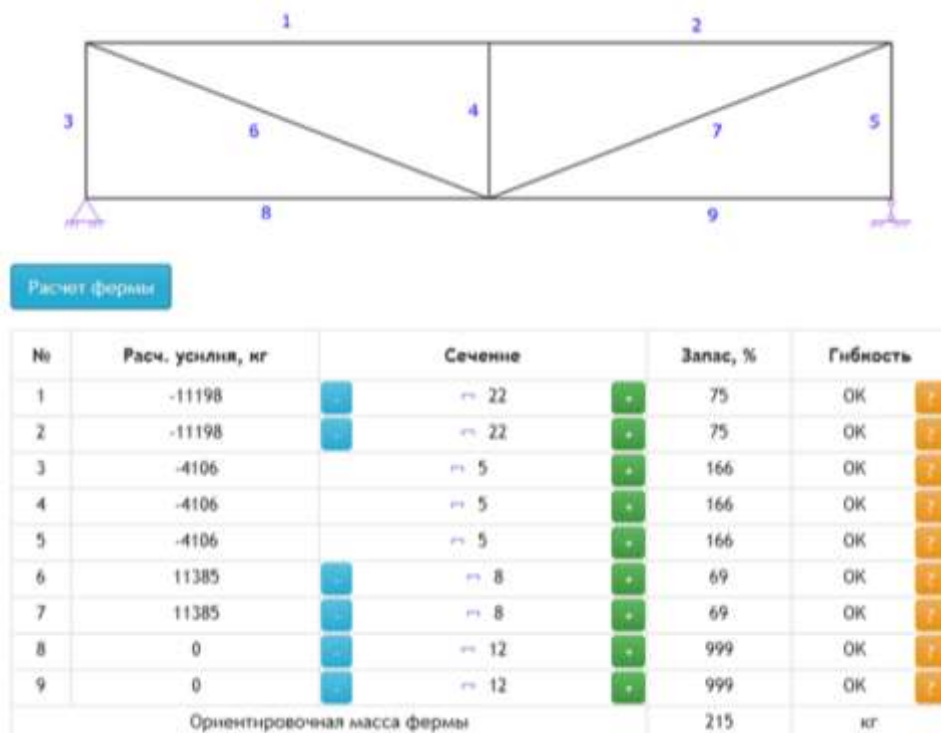


Рисунок А. Конструкция основной металлической фермы и типы сечений элементов фермы

7.2. Конструкция и вес вспомогательных металлических ферм

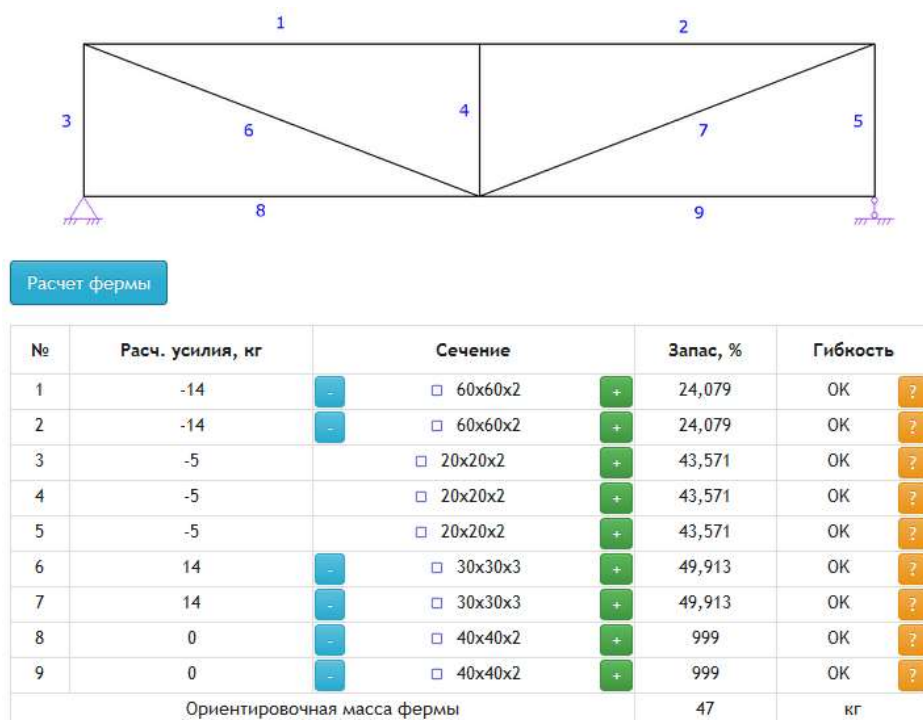


Рисунок Б. Конструкция вспомогательной металлической фермы и типы сечений элементов фермы

8. Квалификационный состав бригады

8.1.1. Квалификационный состав бригады при устройстве опоры для перемещения режущего оборудования из металлической опалубки:

Слесарь строительный 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.;
Монтажник конструкций 5 р – 1 чел.; 4 разр. – 1 чел.; 3 разр. – 1 чел.;
Такелажники 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.;
Машинист крана 6 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.;
Землекоп 1 разр. – 2 чел.

8.1.2. Квалификационный состав бригады при устройстве опоры для перемещения режущего оборудования из металлических ферм:

Монтажник конструкций 5 р – 1 чел.; 4 разр. – 1 чел.; 3 разр. – 1 чел.;
Такелажники 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.;
Машинист крана 6 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.;
Землекоп 1 разр. – 2 чел.

9. Расчет производительности труда по срезке грунта

9.1. Расчет производительности труда по срезке грунта при устройстве опоры для перемещения режущего оборудования из металлической опалубки.

Расчет производительности труда произведен согласно разработанным нормам по трудозатратам (таблица 2) на 1 грунтовый целик с геометрическими параметрами, представленными на рисунке А.

Таблица 2 – Расчет производительности труда по срезке грунта по цилиндрической выпуклой вверх поверхности при устройстве вспомогательного оборудования из металлической опалубки

№ п/п	Наименование процесса	Ед. изм.	Кол - во	Состав звена	Продолжительность, час	Норма времени		Обоснование
						На ед.	На объем	
1	Установка металлической опалубки	1 м ²	13,2	Слесарь строительный 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.	2,57	0,39	5,148	§ Е4-1-37, табл.2, 1
2	Разборка металлической опалубки	1 м ²	13,2	Слесарь строительный 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.	1,386	0,21	2,772	§ Е4-1-37, табл.2, 2
3	Сверление отверстий под заклепки ручной электрической сверлильной машинкой	100 отверстий	0,24	Монтажник конструкций 4 р – 1 чел.	0,034	0,14	0,0336	§ Е5-1-20, табл. 5, стр. 2
4	Установка заклепок	100 заклепок	0,24	Монтажник конструкций 4 р – 1 чел.	0,173	0,72	0,1728	§ Е5-1-20, табл. 5, стр. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Монтаж металлических направляющих	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
6	Монтаж режущего оборудования	Один конструктивный элемент	1	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,1</u> 0,1	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,3</u> 0,1	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
7	Перемещение режущего оборудования с помощью лебедок, масса груза до 0,4 т, расстояние до 10 м.	1 шт. груза	1	Такелажники: 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.; Машинист крана 3 р – 1 чел.	<u>0,12</u> 0,12	<u>0,36</u> 0,12	<u>0,36</u> 0,12	Е25-20, табл. 2, стр. 1
8	Перекидка грунта	1 м3 грунта	13,5	Землекоп 1 р – 2 чел.	1,28	0,19	2,565	§ Е2-1-47, табл. 3, стр. 1
	Итого				<u>5,85</u> 0,42		<u>11,95</u> 0,42	

7.2.2. Расчет производительности труда по срезке грунта при устройстве опоры для перемещения режущего оборудования из металлических ферм.

Расчет производительности труда произведен согласно разработанным нормам по трудозатратам (таблица 3) на 1 грунтовый целик с геометрическими параметрами, представленными на рисунке В.

Таблица 3 – Расчет производительности труда по срезке грунта по цилиндрической выпуклой верх поверхности при устройстве вспомогательного оборудования из металлических ферм

№ п/п	Наименование процесса	Ед. изм.	Кол-во	Состав звена	Продолжительность, час	Норма времени		Обоснование
						На ед.	На объем	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Монтаж металлической фермы, L = 6 м, массой 215 кг	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,2</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е4-1-37, табл.2, 1
	Добавлять на 1 т	т	0,43		<u>0,142</u> 0,142	<u>1</u> 0,33	<u>0,43</u> 0,142	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
2	Монтаж металлической фермы, L = 6 м, массой 47 кг	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	<u>0,3</u> 0,2	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,6</u> 0,2	§ Е4-1-37, табл.2, 2
	Добавлять на 1 т	т	0,094		<u>0,031</u> 0,031	<u>1</u> 0,33	<u>0,094</u> 0,031	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Монтаж металлических направляющих	Один конструктивный элемент	2	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{0,3}{0,1}$	$\frac{0,6}{0,2}$	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
	Добавлять на 1 т	т	0,213	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	$\frac{0,071}{0,07}$	$\frac{1}{0,33}$	$\frac{0,213}{0,07}$	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
4	Монтаж режущего оборудования	Один конструктивный элемент	1	Монтажники конструкций 5 р – 1 чел.; 4 р – 1 чел.;	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,3}{0,1}$	$\frac{0,3}{0,1}$	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 1, 3, б.
	Добавлять на 1 т	т	0,282	3 р – 1 чел.; Машинист крана 6 разр. – 1 чел.	$\frac{0,094}{0,094}$	$\frac{1}{0,33}$	$\frac{0,282}{0,094}$	§ Е5-1-6, табл. 2, стр. 2, 4, б.
5	Перемещение режущего оборудования с помощью лебедок, масса груза до 0,4 т, расстояние до 10 м.	1 шт. груза	1	Такелажники: 3 р – 1 чел.; 2 р – 1 чел.; Машинист крана 3 р – 1 чел.	$\frac{0,18}{0,12}$	$\frac{0,36}{0,12}$	$\frac{0,36}{0,12}$	Е25-20, табл. 2, стр. 1
6	Перекидка грунта	1 м3 грунта	13,5	Землекоп 1 р – 2 чел.	1,28	0,19	2,565	§ Е2-1-47, табл. 3, стр. 1
Итого					$\frac{2,598}{1,156}$		$\frac{6,044}{1,156}$	

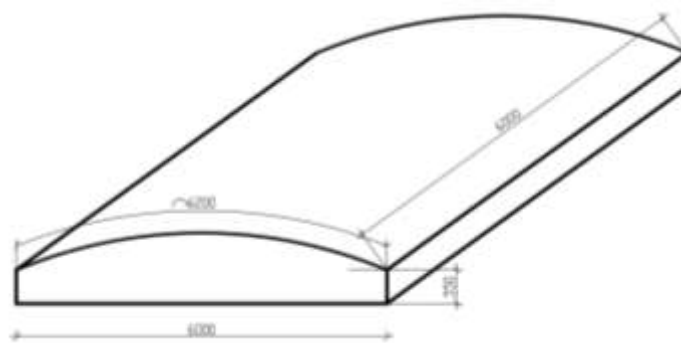


Рисунок В. Геометрические параметры расчетного грунтового целика

8. Указания по технике безопасности

8.1. Правила техники безопасности должны соблюдаться в соответствии со СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве».

8.2. Погрузочно-разгрузочные работы должны выполняться в соответствии с ГОСТ 12.3.009-76* «Работы погрузочно-разгрузочные».

8.3. Работа с электроустановками должна выполняться в соответствии с требованиями ПОТ РМ-016-2001 «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок».



Общество с ограниченной ответственностью
«ГЕОФОНД +»
ИНН/КПП 7203258350/720301001
625000, г. Тюмень, ул. Достоевского, 18/1
Тел. (3452) 39-32-88

№ _____

Справка
о внедрении результатов диссертационного исследования
Цыганковой Марии Анатольевны на тему:
«Технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов мелкого заложения»,
выполненного по специальности
2.1.7 – Технология и организация строительства

Основные результаты диссертационного исследования старшего преподавателя кафедры Строительного производства Тюменского индустриального университета, аспиранта кафедры Организации строительства Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета Цыганковой М. А. были реализованы при разработке организационно-технологической документации на устройство ленточно-оболочечных фундаментов 22-этажных жилых домов ГП-1.1, ГП-1.2, расположенных по адресу: г. Тюмень, ул. Таврическая, 9 в составе ЖК «Аквадель».

Директор ООО «ГЕОФОНД +»
д-р.техн. наук, профессор

Я.А. Пронзин