

На правах рукописи



Цыганкова Мария Анатольевна

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

Специальность: 2.1.7. Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Дроздов Александр Данилович

Официальные оппоненты: **Бирюков Александр Николаевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГК ВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В.Хрулева», г. Санкт-Петербург, Военный институт (инженерно-технический) ВА МТО, кафедра технологии, организации и экономики строительства, заведующий;

Емельянов Дмитрий Игоревич,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кафедра технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью, доцент;

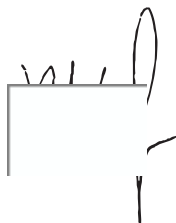
Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ).**

Защита состоится «09» июня 2022 г. в 14:30 часов на заседании диссертационного совета **24.2.380.04** по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, ауд. 220 (зал заседаний диссертационного совета). Тел./факс: (812) 316-58-73, E-mail: rector@spbgasu.ru

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

Автореферат разослан «12» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Конюшков Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Создание экономичных технологий строительства фундаментов, влияющих на себестоимость конечной продукции, уменьшение продолжительности и трудоемкости возведения фундаментов, повышение их несущей способности, уменьшение материалоемкости, возможно за счет применения ленточно-оболочечных фундаментов (ЛОФ), являющихся альтернативой традиционным видам фундаментов.

За счет выпуклой вверх конструкции пролетной части ленточно-оболочечного 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.

Основными недостатками ленточно-оболочечных фундаментов на данный момент являются: трудоемкость производства земляных работ, возникающая за счет сложной конфигурации конструкции фундамента; отсутствие средств механизации и технической документации, регламентирующей технологию выполнения работ; недостаточно высокий профессиональный уровень строителей.

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 грунта, 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. Исследованием различных форм оболочек, в том числе при взаимодействии с грунтом основания в составе сплошных фундаментов, занимались А. Н. Тетиор, С. Г. Ванюшкин, В. В. Павлов, В. З. Власов, К. Сечи, А. Н. Чече, А. М. Hanna, М. М. Abdel-Rahman, W. Hadid, N. P. Kurian, N. Hataf, S. R. Jeyachandran, С. S. Mohan. В направлении исследования взаимодействия ЛОФ с сильносжимаемым грунтовым основанием выполнен ряд работ, авторами которых являются: Я. А. Пронозин, О. С. Порошин, Р. В. Мельников, Л. В. Епифанцева, Ю. В. Наумкина, Д. В. Рачков. Вопросы технологии устройства ленточно-обо-

лочечных фундаментов мелкого заложения, 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 подоболочечного массива ЛОФ. Разработать новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подоболочечного 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 подоболочечного массива. Установить порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Разработать новый способ формирования криволинейной поверхности подоболочечного 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 подоболочечного 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 подоболочечного 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, а так же выявлена зависимость технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ, от геометрических параметров и механических характеристик грунта подоболочечного 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.

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 подоболочечного массива фундамента за счет устройства демпфирующей прокладки под ленточными опорными контурами;

– разработан новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента, обеспечивающий контролируемое включение в работу подоболочечного 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 подболовчатого массива грунта, обеспечивающий снижение трудоемкости проведения работ, повышающий качество поверхности подболовчатого 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 демфирующей прокладки и режущего оборудования; 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 демфирующей прокладки, влияющих на контролируемое включение в работу подболовчатого массива ЛОФ.

3. Результаты численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования и трудоемкость производства земляных работ. Порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Результаты экспе-

риментальных 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. (05.23.08) 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 работы. 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, 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.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, объект, предмет и методы исследования, достоверность полученных результатов, охарактеризована научная новизна исследования, представлена практическая значимость полученных результатов, а также приведены сведения об апробации и публикациях, структуре и объеме работы.

В первой главе раскрыта актуальность научных исследований на основании анализа существующих конструкций, способов и технологий строительства ЛОФ. Разработана классификация ЛОФ по основным признакам. Приведены примеры объектов с ленточно-оболочечными фундаментами в Тюменской области. Произведен анализ технологии возведения ленточно-оболочечных фундаментов.

Во второй главе предложена рабочая гипотеза по реализации включения в работу подоболочечного массива грунта за счет применения демпфирующей прокладки. Исследованы технологические параметры демпфирующей прокладки. Произведена оценка эффективности применения пенополистирола в качестве материала демпфирующей прокладки. Разработан новый способ устройства ленточно-оболочечного фундамента с применением демпфирующей прокладки.

В третьей главе предложена рабочая гипотеза по снижению трудоемкости производства земляных работ и повышению качества поверхности подоболочечного массива за счет применения нового режущего оборудования. Исследованы технологические параметры, влияющие на материалоемкость режущего оборудования и трудоемкость производства земляных работ в зависимости от переменных факторов. Разработана конструкция нового режущего оборудования. Разработан порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. Определен рекомендуемый состав звена рабочих для работы новым оборудованием. Разработан новый способ формирования криволинейной поверхности подоболочечного массива грунта. Проведено экспериментальное исследование работы модели режущего оборудования в масштабе 1:20 в полевых условиях с целью оценки технологичности устройства и качества поверхности срезаемого грунта. Разработаны допуски и отклонения при производстве работ новым оборудованием. Разработан «Технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика».

В четвертой главе разработана новая усовершенствованная технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов по грунтовому основанию с учетом предлагаемых решений. 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.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

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

Проведен анализ существующих конструкций и технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов (ЛОФ), разработана классификация по основным признакам. Выявлены факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, такие как: сложность контроля включения в работу подоболочечного массива ЛОФ на стадии строительства; технологические трудности, связанные с производством большого объема ручных земляных работ, выполняемых при формировании грунтового основания под оболочку, а так же сложность соблюдения проектной геометрической точности и качества грунтовой поверхности; отсутствие средств механизации при формировании выпуклой вверх поверхности грунтового целика.

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

Предложена рабочая гипотеза по реализации контролируемого включения в работу подоболочечного массива ЛОФ за счет демпфирующей прокладки, расположенной под опорными контурами по бетонной подготовке, и выполненной из плитного сильно сжимаемого материала.

Выполнены численные исследования по определению толщины прокладки в зависимости от: деформационных характеристик грунта подоболочечного массива и прокладки, геометрических характеристик опорных контуров, геометрических характеристик грунтовых целиков. Значение толщины прокладки является функцией ряда факторов:

$$t = f(E_{сп}, a_{он}, h_{он}, E_n, a_{зп}, L_{зп}, P) \quad (1)$$

где: t – толщина демпфирующей прокладки; $E_{сп}$ – модуль деформации грунта подоболочечного массива, МПа, $a_{он}$ – ширина опорных контуров, м;

h_{on} – высота опорных контуров, м; E_n – модуль деформации прокладки, МПа, $a_{ци}$ – ширина грунтового целика, м; $L_{ци}$ – высота грунтового целика, м; P – действующая нагрузка на демпфирующую прокладку на I стадии нагружения, т/м².

В силу корреляции факторов предельные значения факторов, влияющие на толщину прокладки, определены следующим образом: X_1 – модуль деформации грунта под оболочкой, в границах 3,5–30 МПа; X_2 – геометрические параметры ленточного фундамента (ширина ленты) – 0,6 м; 0,9 м; 1,2 м; X_3 – геометрические параметры оболочки (ширина оболочки) – 3,0 м; 4,5 м; 6,0 м.

На основе реализации полного факторного эксперимента и расчета толщины прокладки с учетом влияния определяющих факторов, построены графики зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подоболочечного массива (рис. 1).

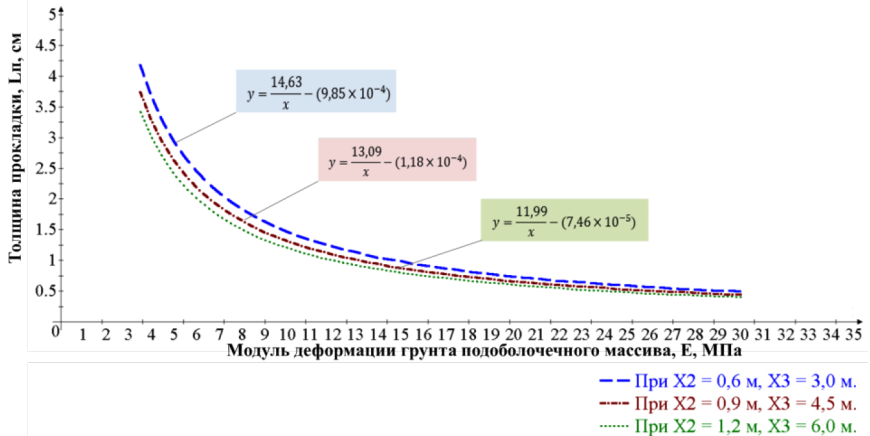


Рисунок 1. График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подоболочечного массива

Анализ графиков выявил: с увеличением модуля деформации грунта подоболочечного массива толщина прокладки уменьшается. Это означает, что применение демпфирующей прокладки является целесообразным при грунте подоболочечного массива с низкими деформационными характеристиками. Аппроксимированы полученные результаты в зависимости от технологических параметров, предложены аналитические зависимости расчета толщины прокладки. При укладке демпфирующей прокладки необходимо принимать толщину, рассчитываемую по формуле:

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

где: X_1 – модуль деформации грунта под оболочкой (E_{cp}); X_2 – ширина ленты (опорного контура) (a_{on}); X_3 – ширина грунтового целика ($a_{ци}$).

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

Произведена оценка эффективности применения пенополистирола в качестве материала демпфирующей прокладки. Разработаны и запатентованы в соавторстве конструктивно-технологические решения ленточно-тонкостенно-оболочечного фундамента (ЛТОФ) (рис. 2) и ленточно-мембранного фундамента (ЛМФ), отличаем от прототипа, в том числе, является наличие демпфирующей прокладки под ленточными опорными контурами.

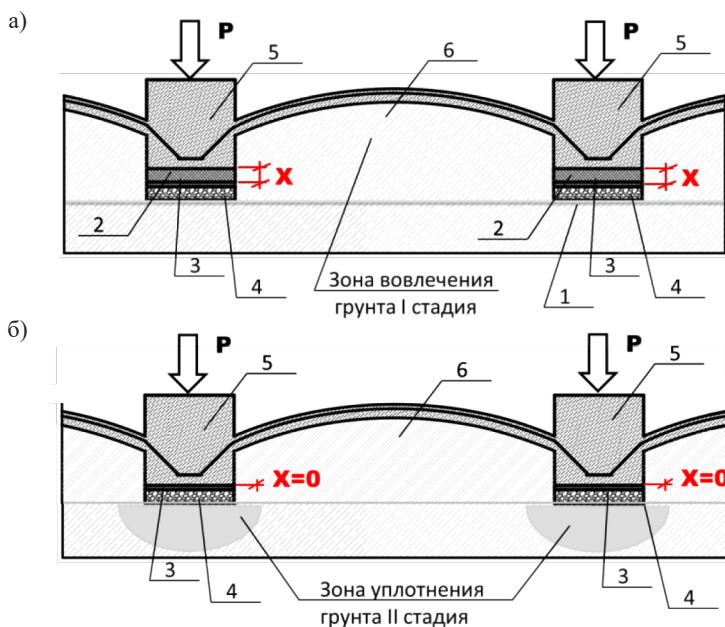


Рисунок 2. Этапы работы фундамента. а) I стадия работы фундамента.

б) II стадия работы фундамента. 1 – грунтовое основание; 2 – демпфирующая прокладка; 3 – бетонная подготовка; 4 – щебеночная подготовка; 5 – опорные железобетонные контуры; 6 – грунт подоболочечной части до и после обжатия; x – толщина демпфирующей прокладки

3. Результаты численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на материалоемкость оборудования.

Предложена рабочая гипотеза по совершенствованию технологии устройства ЛОФ в части производства земляных работ при формировании криволинейной поверхности грунта за счет использования нового режущего оборудования.

При создании оборудования для срезки грунта выпуклой вверх цилиндрической поверхности, высота подъема стрелы режущего оборудования должна соответствовать требованиям проектной документации и быть в границах от $1/5 L_1$ до $1/12 L_1$, где L_1 – ширина грунтового целика (ширина режущего оборудования), что влияет на длину дуги режущего оборудования, что, в свою очередь, определяет материалоемкость конструкции.

По результатам численных расчетов построены графики зависимости длины дуги режущего оборудования от ширины грунтового целика (L_1) и высоты подъема стрелы (f) (рис. 3).

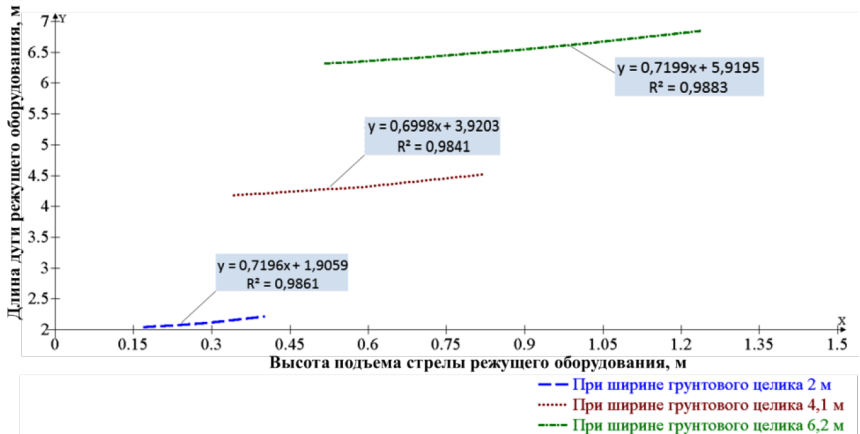


Рисунок 3. График зависимости длины дуги от высоты подъема стрелы режущего оборудования при заданной ширине

Длина дуги режущего оборудования может быть определена по формуле:

$$L_{\text{д.р.о.}} = 0,7131 f + L_1 - 0,0941 - 0,00643 * k, \quad (3)$$

где: $L_{\text{д.р.о.}}$ – длина дуги режущего оборудования, м; f – высота подъема стрелы режущего оборудования, м; L_1 – ширина режущего оборудования, м; k – эмпирический коэффициент.

С целью упрощения формулы 3 вычислен средний коэффициент $k_{\text{р.о.}}$ (табл. 1), позволяющий определять длину дуги режущего оборудования, в зависимости от его ширины (формула 4.).

Таблица 1. – Значение эмпирического коэффициента $k_{\text{р.о.}}$, в зависимости от отношения f/L_1

f/L_1	1/5	1/6	1/7	1/8
$k_{\text{р.о.}}$	1,096	1,071	1,054	1,041
f/L_1	1/9	1/10	1/11	1/12
$k_{\text{р.о.}}$	1,032	1,024	1,017	1,012

$$L_{\text{д.р.о.}} = L_1 * k_{\text{р.о.}}, \quad (4)$$

где: $L_{\text{д.р.о.}}$ – длина дуги режущего оборудования, м; L_1 – ширина режущего оборудования, м; $k_{\text{р.о.}}$ – эмпирический коэффициент (определяемый по табл. 1).

Результаты численных исследований технологических параметров режущего оборудования, влияющих на трудоемкость производства работ и качество поверхности подбололочного массива.

При реализации способа устройства подбололочного массива фундамента, обеспечивающего снижение трудоемкости проведения земляных работ, повышающего качество поверхности подбололочного массива, осуществляемого за счет использования режущего оборудования, важным технологическим параметром, подлежащим рассмотрению, является сила сопротивления грунта резанию. Сила сопротивления грунта резанию влияет на тяговое усилие лебедки при перемещении оборудования, от которого зависит трудоемкость процесса и продолжительность срезки грунта.

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

$$P = f(C, L_{\text{рн}}, h_i, \alpha, s, v), \quad (5)$$

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

В силу корреляции факторов предельные значения факторов, влияющих на силу сопротивления грунта резанию, определены следующим образом: X_1 – число ударов динамического плотномера в границах 1 – 34; X_2 – длина оборудования в границах 3,05 – 6,2 м; X_3 – угол резания равный 30; 60; 90 градусов.

На рис. 4 представлен график зависимости силы сопротивления грунта резанию от числа ударов динамического плотномера C в границах 1 – 34 удар при $X_2 = 4,2$ м, при 3-х значениях угла резания α 30; 60; 90 градусов.

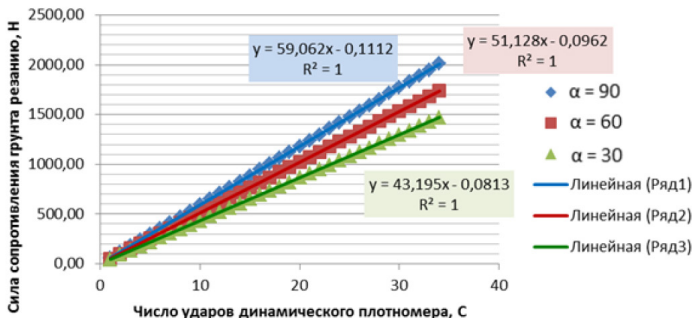


Рисунок 4. Зависимость силы сопротивления грунта резанию от C и α .

Анализ графика показал: с увеличением плотности грунта и увеличением угла резания, увеличивается сила сопротивления грунта резанию.

После проведения численных исследований автором аппроксимированы полученные результаты в зависимости от технологических параметров, предложены аналитические зависимости расчета силы сопротивления грунта резанию, возникающей при работе новым режущим оборудованием.

Таким образом, при срезке грунта по криволинейной поверхности новым оборудованием, силу сопротивления грунта резанию, рассчитывают по формуле:

$$P = 582,8 + 549,6 X_1 + 321,6 X_2 + 90,43 X_3 + 303,3 X_1 X_2 + 85,3 X_1 X_3 \quad (6)$$

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

Наиболее весомыми факторами, влияющими на силу сопротивления грунта резанию, 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 режущего ножа увеличивается усилие, необходимое для срезки грунта (знак «плюс»), соответственно увеличивается тяговое усилие лебедки, что влияет на трудоемкость, определяемую нормой времени работы режущего оборудования.

Разработана конструкция нового режущего оборудования (рис. 5–6), отвечающая требованиям соблюдения проектной кривизны грунтового основания в пролетной части фундамента согласно заданным проектом условий. Разработана спецификация оборудования.

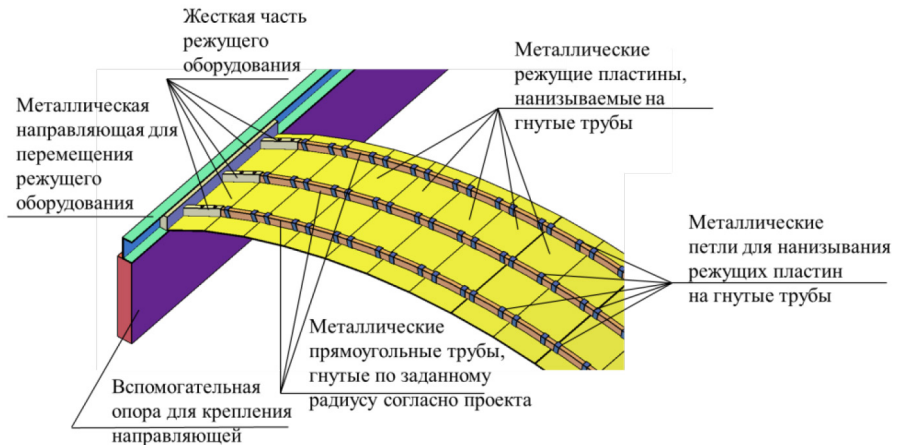


Рисунок 5. Общий вид режущего оборудования

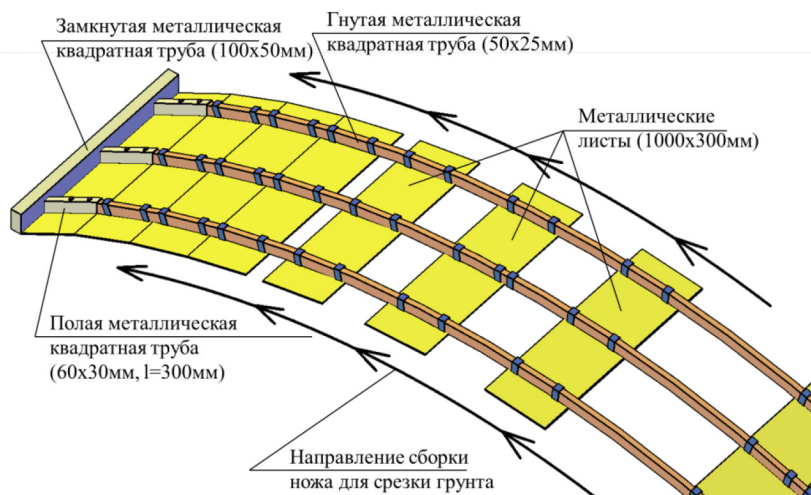


Рисунок 6. Сборка режущего оборудования

Разработан способ и технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика при работе новым режущим оборудованием. При данном способе снижаются технологические сложности производства земляных работ за счет применения средств механизации, снижается трудоемкость разработки грунта; обеспечивается соблюдение проектной геометрической точности криволинейной поверхности; повышается качество поверхности подболовочного массива грунта.

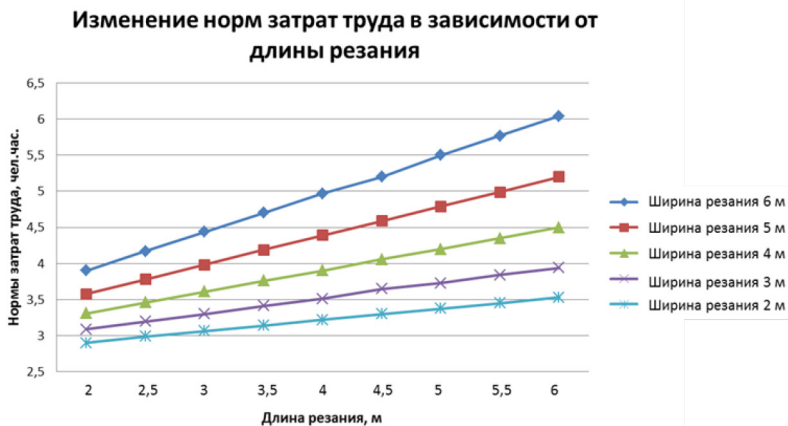
Порядок определения норм затрат труда при работе нового режущего оборудования. В рамках исследования произведены расчеты норм затрат труда для 81 варианта работы оборудования при следующих условиях: при изменении ширины резания в границах от 2 до 6 м, с шагом 0,5 м; при изменении длины резания в границах от 2 до 6 м, с шагом 0,5 м.

На основании произведенных расчетов составлены: график изменения норм затрат труда в зависимости от длины резания (рис. 7а) и график изменения норм затрат труда в зависимости от ширины резания (рис. 7б).

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 опорной конструкции, обеспечивающей перемещение режущего оборудования при помощи электролебедки.

Предложен 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 6 р – 1 чел.; 3 р – 1 чел.; землекоп 1 разр. – 2 чел.

а)



б)

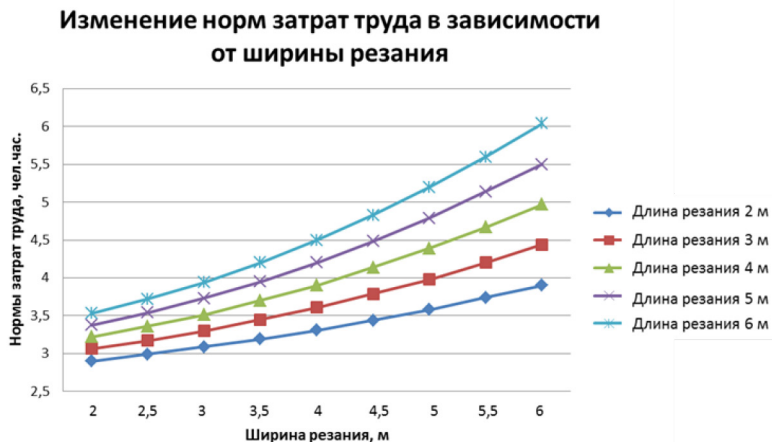


Рисунок 7. Изменение норм затрат труда в зависимости от параметров резания. а) при изменении длины резания от 2 до 6 м. б) при изменении ширины резания от 2 до 6 м

Выявлено, что трудоемкость производства работ при помощи нового режущего оборудования снижается в 4,7 раз по сравнению с ручным формированием грунтовых целиков при помощи совковых и штыковых лопат

Результаты экспериментальных исследований работы модели режущего оборудования в полевых условиях.

Для оценки качества срезаемой поверхности грунта произведена практическая реализация работы оборудования в полевых условиях. Для проведения эксперимента запроектирована и разработана модель режущего оборудования в масштабе 1:20.

Эксперимент выполнялся в июле 2021 года в г. Тюмени. В процессе экспериментов изучались вопросы трудоемкости производства работ модели режущего оборудования, качества поверхности срезаемого грунта. В результате проведения эксперимента (рис. 8) зафиксировано высокое качество поверхности (при этом были допущены незначительные недоборы грунта из-за каменистых включений), соблюдение проектной кривизны, технологическая простота производства работ.



Рисунок 8. Апробация работы модели режущего оборудования

Разработана схема контроля качества и требования по величинам предельных допустимых отклонений срезаемой поверхности новым режущим оборудованием.

4. Технология устройства ЛОФ с учетом предлагаемых решений.

Разработана технология устройства ленточно-оболочечных фундаментов с учетом предлагаемых решений. В частности технология устройства ленточных тонкостенно-оболочечных фундаментов (ЛТОФ) и ленточно-мембранных фундаментов (ЛМФ) по грунтовому основанию. Разработан технологический регламент по производству цилиндрической выпуклой вверх поверхности грунтового целика.

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 %, при общем повышении технологичности устройства и качества ленточно-оболочечных фундаментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ)

1. Анализ существующих конструкций и технологий устройства ленточно-оболочечных фундаментов позволил выявить факторы, влияющие на трудоемкость и качество устройства ленточно-оболочечных фундаментов, а так же 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 ($L_{др.о}$), 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 $k_{р.о}$, позволяющий определять $L_{др.о}$ 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 подбололочечного массива, геометрических параметров ленточно-оболочечного фундамента, длины режущего оборудования и режима резания оборудования. Выявлено, что наиболее весомыми факторами, 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 подбололочечного массива.

10. Разработан новый способ формирования криволинейной поверхности подбололочечного 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 фундамента.

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 %.

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.** Технично-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.

4. **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.

5. **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.

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 / М. А. Tsygankova // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – Volume 8. – No. 3. – March 2020. – p. 721–725.

Патенты:

7. 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.

8. 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.

Статьи, опубликованные в других журналах и изданиях:

9. 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.

10. **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.

11. **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.

12. **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.

13. **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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. **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.

18. 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.

19. Колчеданцев, Л. М. Экспертная оценка нового способа устройства подбололочного 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.

20. 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 специа-

листов-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.

21. **Цыганкова, М. А.** Оборудование для формирования криволинейной поверхности подололочечного 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.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 29.03.2022. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$, Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,34. Тираж 120 экз. Заказ 28.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

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

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