

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

На правах рукописи

Соловьев Иван Васильевич



ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПОВЕРХНОСТНОЙ
ВЫЕМКЕ ОРГАНОГЕННОГО СЫРЬЯ И СТРУКТУРЫ ВЫЕМОЧНО-
ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Михайлов А.В.

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Современное состояние торфяной промышленности в России и зарубежных странах.....	12
1.2 Разработка и внедрение фильтрующих материалов для пассивных систем очистки вод поверхностного стока.....	15
1.3 Современные тенденции рационального природопользования при ведении добычных работ на торфяных месторождениях	19
1.4 Анализ условий добычи на поверхности неосушенной торфяной залежи	21
1.5 Анализ условий залегания органогенного сырья и его структурные свойства	23
1.6 Осуществление выемки сырья с поверхности месторождения.....	26
1.7 Формирование комплекта оборудования для осуществления поверхностной добычи	27
1.8 Практики самовосстановления отработанных территорий в условиях неосушенной залежи	29
1.9 Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования	30
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА БЛОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЫЕМКИ ОРГАНОГЕННОГО СЫРЬЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКТА ДОБЫЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	33
2.1 Принципы формирования комплекта оборудования для добычи органогенного сырья на неосушенной залежи.....	33
2.2 Выбор и обоснование типа рабочего органа	34
2.3 Технологическое требование при ведении добычных работ с легковозводимых дорожных покрытий.....	35
2.4 Схемное решение блочной технологии выемки	38
2.5 Обоснование параметров структурных единиц выемочно-транспортного модуля.....	41
2.5.1 Обоснование параметров транспортного средства и гидроманипулятора	41
2.5.2 Обоснование параметров тягово-энергетического средства	43

2.5.3 Обоснование параметров рабочего органа	45
2.6 Этапы функционирования вилчатого грейфера при выемке органомогенного сырья из залежи	46
2.7 Анализ деформационных свойств верхнего слоя торфяной залежи	47
2.8 Анализ изменения объема материала при сжатии грейфером	54
2.9 Зависимость между деформациями и напряжениями при плоском деформированном состоянии.....	55
2.10 Анализ формы зубьев грейфера.....	57
2.11 Процесс внедрения в залежь рабочих элементов вилчатого грейфера	58
2.12 Процесс смыкания челюстей грейфера при захвате органомогенного материала	60
2.13 Определение влияния расстояния между двумя вертикальными профилями на сопротивление резанию	63
2.14 Процесс отрыва захваченного органомогенного материала из залежи	64
2.15 Выводы по Главе 2	66
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	68
3.1 Разработка программы проведения экспериментальных исследований	68
3.2 Характеристика торфяного месторождения «Камешки»	69
3.3 Разработка методики проведения экспериментальных исследований	70
3.3.1 Методика проведения экспериментальных исследований в полевых условиях на первом этапе.....	70
3.3.1.1 Эксперимент по определению интенсивности самовосстановления растительного покрова торфяной залежи в условиях натурального месторождения	71
3.3.1.2 Методика определения физико-механических свойств поверхностного слоя торфяной залежи	72
3.3.1.3 Нарботка опытных образцов торфяного сырья.....	75
3.4 Методика проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях	76

3.5 Методика проведения экспериментальных исследований в полевых условиях на пятом этапе.....	77
3.6 Выводы по Главе 3	81
ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	83
4.1 Результаты определения интенсивности самовосстановления растительного покрова торфяной залежи.....	83
4.2 Эксперимент по определению физико-механических свойств поверхностного слоя торфяной залежи.....	84
4.3 Результаты определения усилия внедрения рабочих элементов в торфяную залежь	88
4.4 Результаты определения усилия сдвига для осуществления захвата сырья.....	88
4.5 Результаты определения рационального расстояния между зубьями грейфера	90
4.6 Результаты определения усилия отрыва захваченной порции торфяного сырья из массива.....	91
4.7 Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами.....	92
4.8 Выводы по Главе 4	94
ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ	96
5.1 Алгоритм ведения добычных работ на поверхности месторождения.....	96
5.2 Основные показатели производственного процесса	98
5.3 Выводы по Главе 5	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	103
ПРИЛОЖЕНИЕ А Технические характеристики полуприцепа 1-ПТС2.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Технические характеристики гидроманипулятора Атлант-90	116

ПРИЛОЖЕНИЕ В Технические характеристики трактора МТЗ Беларусь	622
.....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Технические характеристики вилчатого грейфера FLO-10	
.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Результаты экспериментальных исследований	120
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Акт о внедрении результатов диссертационного исследования	
.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Патент на полезную модель	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Благодаря особым физико-механическим свойствам торфяное сырье малой степени разложения (органогенное сырье) применяется для производства торфяных фильтрующих элементов, используемых в природоохранных системах очистки поверхностного стока. За последние 20 лет разработано и внедрено более 1500 систем очистки разного масштаба на объектах Санкт-Петербурга, Ленинградской и Новгородской областей, Республики Карелия.

Добыча органогенного сырья для производства фильтрующих элементов осуществляется методом поверхностной выемки, при котором торфяная залежь является как опорной поверхностью, так и объектом разработки. Метод ведения горных работ основан на природоохранных принципах – добыча происходит на неосушенном торфяном месторождении. Особенностью процесса добычи органогенного сырья для производства природоохранной продукции на основе торфа является минимальное нарушение его естественной структуры при выемке для сохранения эксплуатационных свойств материала.

Задача выбора средств механизации для осуществления поверхностной выемки без нарушения естественной структуры сырья должна решаться комплексно, охватывать разработку и внедрение универсальных машин повышенного технического уровня с расширенными функциональными возможностями их рабочих органов путем адаптации к условиям эксплуатации, сочетающих функции выемочного оборудования и функции перемещения экскавированного материала в кузов транспортного средства.

Установление технологических требований к процессу механизированной поверхностной выемки органогенного сырья для организации добычных работ в условиях неосушенной залежи, и определение структуры и параметров оборудования для добычи сырья без нарушения его естественной структуры является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в направлении исследования торфяных месторождений, процессов добычи торфа и

созданию средств механизации посвящены работы Амаряна Л.С., Афанасьева А.Е., Богатова Б.А., Гревцева Н.В., Зюзина Б.Ф., Иванова С.Л., Корчунова С.С., Ларгина И.Ф., Лиштвана И.И., Малкова Л.М., Михайлова А.В., Опейко Ф.А., Самсонова Л.Н., Селеннова В.Г., Солопова С.Г., Терентьева А.А., Тюремнова С.Н., Штина С.М., Clarke D., Leinonen A. и др.

Ими определены свойства и характеристики торфяных месторождений, основы технологии разработки и условия функционирования технологического оборудования при добыче торфяного сырья. Однако создание комбинированных машин для выемки, погрузки и транспортирования торфяного сырья без нарушения его естественной структуры требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объект исследования – процесс добычи органогенного сырья из поверхностного слоя месторождения без нарушения структуры.

Предмет исследования – элементы и основные параметры технологии поверхностной выемки органогенного сырья, структура и основные параметры выемочно-транспортного оборудования.

Целью работы является установление технологических требований и закономерностей процесса механизированной поверхностной выемки органогенного сырья в условиях неосушенной залежи с обоснованием структуры комплекта оборудования для добычи сырья без нарушения естественной структуры материала.

Идея заключается в том, что при обеспечении установленных технологических требований возможно разработать алгоритм механизированной поверхностной выемки органогенного сырья по блочной технологии с применением принципов палудикультуры, которая реализуется при помощи универсального многофункционального выемочно-транспортного модуля, который перемещается по легковозводимым дорожным покрытиям на поверхности неосушенной торфяной залежи.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме работы с выявлением основных принципов поверхностной выемки сырья на неосушенном месторождении.
2. Провести анализ размерно-массовых и физико-механических свойств верхнего слоя торфяной залежи и требований к вынимаемому сырью.
3. Обосновать структуру выемочно-транспортного оборудования для реализации блочной технологии поверхностной выемки торфяного сырья.
4. Провести полевые и лабораторные исследования для установления основных закономерностей процесса выемки сырья с ненарушенной структурой с помощью двухчелюстного вильчатого грейфера.
5. Разработать замкнуто-циклическую блочную технологию поэтапной поверхностной выемки органогенного сырья с рекультивацией выработанных площадей методом самозарастания (элементы палудикультуры).

Научная новизна:

1. Разработан алгоритм ведения добычных механизированных работ на поверхности неосушенного месторождения по блочной технологии с обоснованием глубины выемки и размеров производственных и транспортных областей по замкнуто-циклической схеме в зависимости от периода цикла самовосстановления выработанных территорий.
2. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что комбинированный выемочно-транспортный модуль с двухчелюстным вильчатым грейфером осуществляет выемку, погрузку и транспортирование органогенного сырья без нарушения структуры с поверхности месторождения на легковозводимых дорожных покрытиях в условиях неосушенной залежи.

Соответствие паспорту научной специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пункту 14: «Критерии и технологические требования при создании новых и совершенствования применяемых горных машин

с учетом особенностей условий их эксплуатации при разработке месторождений твердых полезных ископаемых».

Теоретическая и практическая значимость:

1. Установлены параметры блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья с выделением границ рабочей площади, в которой выемочные работы выполняются на технологических участках по циклической схеме с периодом смены циклов – 4 года.

2. Разработана инженерная методика определения параметров рабочих площадок в рамках реализации блочной технологии поверхностной выемки с определением производительности технологических участков за один добычный сезон.

3. Обоснована структура и параметры комбинированного выемочно-транспортного модуля для ведения добычных работ на неосушенном месторождении.

4. На основе анализа размерно-массовых характеристик органогенного сырья обоснована структура и параметры гидравлического двухчелюстного вильчатого грейфера.

5. Разработано новое техническое решение устройства для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами, защищенное патентом на полезную модель № 218971 (Приложение Ж).

6. Результаты работы использованы в деятельности ООО «Агровит» при организации добычи торфяного сырья из поверхностного слоя месторождения с целью производства природоохранной продукции «Элементы фильтрующие торфяные» (акт внедрения от 27.03.2025 г., Приложение Е).

Методология и методы исследования. В ходе выполнения работы принят комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение научно-технической и патентной информации; положения теории машин и механизмов, механики грунтов; проведение экспериментальных исследований с помощью оригинального экспериментального оборудования в полевых и лабораторных условиях на образцах натурального материала, направленных на оценку влияния

параметров вильчатого грейфера на эффективность выемки торфяного сырья.

Положения, выносимые на защиту:

1. Поверхностную выемку органогенного сырья следует осуществлять с легковозводимых дорожных покрытий с помощью выемочно-транспортного модуля с глубины 0,3 м по замкнуто-циклической блочной технологии с периодом цикла 4 года для полного самовосстановления выработанных площадей.

2. Для поверхностной выемки органогенного сырья без нарушения структуры материала следует применять выемочно-транспортный модуль с вильчатым грейфером вместимостью 0,13 м³ с боковыми режущими парами, 5 зубьями на одной челюсти с шагом их расстановки 135 мм при уплотнении материала с коэффициентом 2 в процессе захвата.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность положений, выносимых на защиту, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задач исследований; непротиворечивостью их фундаментальным законам и зависимостям; применением лицензионного программного обеспечения на всех этапах исследования, качественным и количественным согласованием результатов теоретических и экспериментальных материалов, удовлетворительными результатами сопоставления авторских разработок с данными независимых исследователей, апробированных научных методов экспериментальных исследований, достаточным объемом экспериментальных данных и стандартными методами обработки полученных результатов.

Апробация результатов диссертации. За последние 3 года принято участие в 6 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных: VI Международная научно-практическая конференция «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте» (30 ноября – 01 декабря 2022 г., г. Кемерово); VI Международная научно-практическая конференция «Машиностроение: инновационные аспекты развития» (18 апреля 2023 г., г. Санкт-Петербург); XXI Международная научно-техническая конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» Технологическое оборудование для

горной и нефтегазовой промышленности (06-07 апреля 2023 г., г. Екатеринбург); VII Международная научно-практическая конференция «Машиностроение: инновационные аспекты развития» (29 марта 2024 г., г. Санкт-Петербург); Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (21-25 октября 2024 г., г. Санкт-Петербург); XX Всероссийская конференция конкурс студентов выпускного курса и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (01-07 декабря 2024 г., г. Санкт-Петербург).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, анализе зарубежной и отечественной литературы по теме исследования, разработке программы и методики полевых и лабораторных исследований, организации и проведении исследований, в анализе полученных результатов и разработке алгоритма проведения выемочных работ с поверхности неосушенного торфяного месторождения по блочной технологии, определении структуры выемочно-транспортного модуля, разработке технического решения по конструкции вильчатого грейфера, подготовке публикаций по теме исследования.

Публикации. Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 8 печатных работах (пункты списка литературы № 46, 55-61), в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на полезную модель (Приложение Ж).

Структура диссертации. Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 106 наименований, и 7 приложений. Диссертация изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков и 10 таблиц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Современное состояние торфяной промышленности в России и зарубежных странах

Торф – полезное ископаемое растительного происхождения, образованное в результате естественного отмирания и неполного распада болотных растений под воздействием биохимических процессов в условиях с низким содержанием кислорода, высокой влажности и бедного минерального питания [20, 24, 65].

Крупнейшие площади торфяных месторождений сосредоточены в России — более 240 млн га и в Канаде — 170 млн га. Значительные территории занимают торфяные месторождения в США — около 40 млн га, в Индонезии – 26 млн га, в Финляндии – 10 млн га и Швеции – 7 млн га [94].

По данным *Statistics MRC*, мировой рынок торфа в 2024 году составил 5,64 миллиарда долларов и, как ожидается, достигнет 19,27 миллиарда долларов к 2028 году, увеличившись в среднем на 16,6 % в течение прогнозируемого периода. Прогнозируемыми драйверами роста являются быстро растущее внедрение биотоплива в агропромышленности и растущий спрос на децентрализованное производство электроэнергии в связи с ростом населения [102].

Китай, Индия и Япония являются лидерами по потреблению торфяного сырья в сельскохозяйственном секторе, энергетическом, медицинском и др. Потребление сырья растет и в латиноамериканском регионе (Бразилия, Аргентина, Уругвай) в сельском хозяйстве и системах фильтрации воды [101].

Исходя из анализа китайского торфяного рынка в исследовании [94], Китай является одним из самых больших потенциальных рынков торфа в мире. Совокупный рост в агропромышленном секторе для рассады в Китае составляет около 50 млн м³ в год. На растительный торф возрастает спрос для озеленения территорий, использования в строительстве, медицине, агропромышленности [48].

В настоящее время торф широко используется в восстановлении плодородия почв и является инновационной составляющей аграрного производства. Торфяная продукция активно внедряется в тепличном производстве для реализации новых технологий выращивания малообъемных культур овощей с использованием

гидропоники, которая предусматривает замену грунта специальным субстратом. Малообъемная технология выращивания овощей является методом повышения производительности трудоемких процессов подготовки и замене тепличного грунта. Так, в странах Скандинавии по данной технологии выращиваются овощи на более чем 80% от всей площади теплиц, в Голландии переведено на малые субстраты переведены свыше 2000 га [45, 103].

Широкое распространение торф получил в металлургии в технологических процессах в качестве отошающего компонента шихты, агломерации железных руд, при производстве ферросплавов, получения топливно-плавильных материалов на торфяной основе, в качестве сырья для активных углей [12, 43].

Низкая теплопроводность, высокая пористость и антисептические свойства торфяного сырья активно применяются в строительстве. Например, слаборазложившееся торфяное сырье активно применяют как активный наполнитель для вяжущего вещества при получении дорожных асфальтобетонов. С помощью торфяного сырья малой степени разложения изготавливают строительные блоки, как конструкционно-теплоизоляционный материал при строительстве жилых зданий. Известны технологии применения торфа для гидрофобизации минеральных дисперсных материалов [84].

Россия обладает огромными запасами торфа на своей территории, однако не является лидером по его добыче и использованию из-за несовершенства законодательства в области недропользования, отсутствию инвестиционной поддержки инновационных проектов и нормативно-правовой базы в области геологоразведки и разработки торфяных месторождений. На протяжении последних лет рынок торфа в РФ имеет устойчивое потребление, в 2020 году суммарно произведено 924 тыс. т, что на 16% выше по сравнению с прошлым годом. Лидером стал Северо-Западный федеральный округ с долей 35% от общего объема [41].

Наиболее широкое распространение в Российской Федерации получили только 10 видов торфа. Они представлены торфами верхового типа (46,5 % от общих запасов), в том числе магелланикум торф (16,3 %), фускум (9,8 %),

пушицево-сфагновый (6,3 %) и комплексно-верховой (3,5 %). Второе место по запасам занимают виды торфа низинного типа (35,5 %), в том числе: осоковый (15,5 %), древесный (6,1 %) и древесно-осоковый (4,6 %). Среди наиболее распространенных видов переходного типа, запасы которых равны 18 %, следует назвать древесно-сфагновый (3 %), осоково-сфагновый (3,1%) и сфагновый (3,8 %) [24].

Перспективным направлением является использование торфа в природоохранных целях, а именно использование верховых слаборазложившихся торфов в ряде направлений по улучшению состояния окружающей среды.

Органические вещества торфяного сырья малой степени разложения (органогенного сырья) способствуют улучшению структуры почвы и восстановлению биологической активности микроорганизмов.

Природоохранное направление использования основано на характеристиках торфа как натурального адсорбента; сырьевой потенциал возобновляемого торфяного сырья в РФ для производства природоохранных материалов оценивается в 2,5 млрд. т.

Благодаря высокой сорбционной способности органогенное сырье применяется при изготовлении волокнистого фильтрующего материала для применения в очистных сооружениях поверхностного стока, а также сорбционных бонов, подушек и матов для сбора нефтепродуктов, и мелиорации при аварийных разливах на акваториях и почве.

Уникальные физико-механические свойства органогенного сырья делают его востребованным в различных отраслях промышленности, повышая ценность продукции, произведенной с его использованием. По данным рынка на 2025 год стоимость одного кубического метра фильтрующего материала из торфа составляет 200 тыс. руб., в то время как стоимость кубического метра средне- и сильно- разложившегося торфа оценивается в пределах 1,0 тыс. руб.

1.2 Разработка и внедрение фильтрующих материалов для пассивных систем очистки вод поверхностного стока

Экологическая эффективность производства и применения торфяных фильтрующих материалов подтверждается показателями экологичности объектов, ресурсоемкостью процесса и минимальной величиной вредных воздействий на окружающую среду при использовании и утилизации.

За последние 20 лет разработано и внедрено более 1500 систем очистки сточных вод поверхностного стока (ОСПС) разного масштаба с применением торфяных фильтрующих элементов на объектах Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Новгородской области, Республики Карелия, в том числе крупнейшие ОСПС с территории деловой зоны «Пулково-3» производительностью 700 м³/ч (рисунок 1, 2), 305 ОСПС на дороге Р-21 «Кола».



Рисунок 1 - Система очистных сооружений деловой зоны Пулково-3 [40]

Экономический эффект эксплуатации очистных сооружений с торфяной фильтрацией на дороге Р-21 «Кола» составил 47,63 млн руб. Экономический эффект от внедрения промежуточной ступени торфяной фильтрации ОСПС «Пулково-3» составил 5,82 млн руб. Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения водных ресурсов основными загрязняющими веществами поверхностного стока за период с 1994 по 2016 гг. составил 7153,99 млн. руб., в том

числе на автомобильной дороге Р-21 «Кола» длиной 1592 км – 114,03 млн руб. и на ОСПС «Пулково-3» – 75,73 млн руб.



Рисунок 2 – Очистные сооружения поверхностного стока КЖБИ № 211

Министерства обороны РФ, Сертолово. Блок фильтрации [40]

Эффективность реализации комплекса ресурсосберегающих технологий производства и применения фильтрующих материалов для систем очистки поверхностного стока рассматривается как социально-экономическая система, критериальным показателем эффективности каждого элемента которой является среднегодовая эффективность его функционирования в циклах производства и применения инновационной продукции.

Область применения пассивных систем очистки поверхностного стока:

- территории объектов АЭС и населенных пунктов городов-спутников;
- транспортные магистрали и аэродромы; морские и речные порты;
- военные городки; реабилитация бывших береговых технических баз ВМФ;
- промышленные, строительные, торговые и спортивные площадки;
- городские и муниципальные территории;
- территории объектов ТЭК, АЗС, склады ГСМ;
- шахтные и карьерные воды горной промышленности;
- рекультивация полигонов ТБО, хвостохранилищ, захоронений отходов.

При производстве около 45 000 м³ продукции за 16 лет (с 2006 года по 2021 год), или в среднем по 2812,5 м³ ежегодно, при цене реализации около 18 000 руб./м³ (с учетом НДС), выручка составила около 50 625 тыс. руб./год.

При среднем уровне рентабельности 20%, чистая прибыль указанного вида бизнеса составляет около 10 125 тыс. руб./год.

Представленные научно-технические разработки не имеют аналогов в мировой практике и конкурентны на мировом рынке природоохранных материалов; являются реализацией политики импортозамещения в ходе построения и развития АПК «Безопасный город».

При разработке комплексных системных технологий и оборудования для производства продукции природоохранного назначения, и создания доступных технологий ее использования в системах очистных сооружений поверхностного стока (ОСПС) разработан инновационный продукт – «Элемент, фильтрующий торфяной» (ЭФТ), представляющего собой пористые волокнистые плиты, изготавливаемые без применения иных компонентов (ТУ 0391-018-02997983-98) (рисунок 3). Сертификат соответствия РОСС.RU.АГ99.P01908 №1896567.



Рисунок 3 – Фильтрующий элемент для очистки поверхностного стока [40]

Высокая обменная способность, пористость, большая удельная поверхность определяют характер применения торфяного фильтрующего материала. Пористая структура и поверхностные свойства фильтра определяют производительность и задерживающую способность загрязнений (таблица 1) [40].

Таблица 1 - Технические характеристики ЭФТ (составлено автором)

Параметры	Величина
Длина, мм	520-540
Ширина, мм	340-360
Толщина, мм	40- 50
Пористость	0,95
Скорость фильтрации, м/ч	5 – 20
Грязеемкость общая, кг/кг	4,0
Влага, %	40
Масса плиты, кг	0,8
Срок хранения, мес.	36

В функционал торфяного фильтрующего материала входит: физическая фильтрация, химическая адсорбция, биологическое преобразование органических соединений.

Фильтрующая способность ЭФТ по взвешенным веществам > 90 %; по нефтепродуктам > 90%. ЭФТ заменяет искусственные материалы: активированный уголь, минеральную вату, пенополиуретан и др.

Технологическая линия производства фильтрующих элементов торфяных состоит из: добычи и транспортирования сырья, подготовительного отделения (сепарация, усреднение); отделения классификации и формования продукции; отделения сушки и упаковки готовой продукции (рисунок 4) [58].

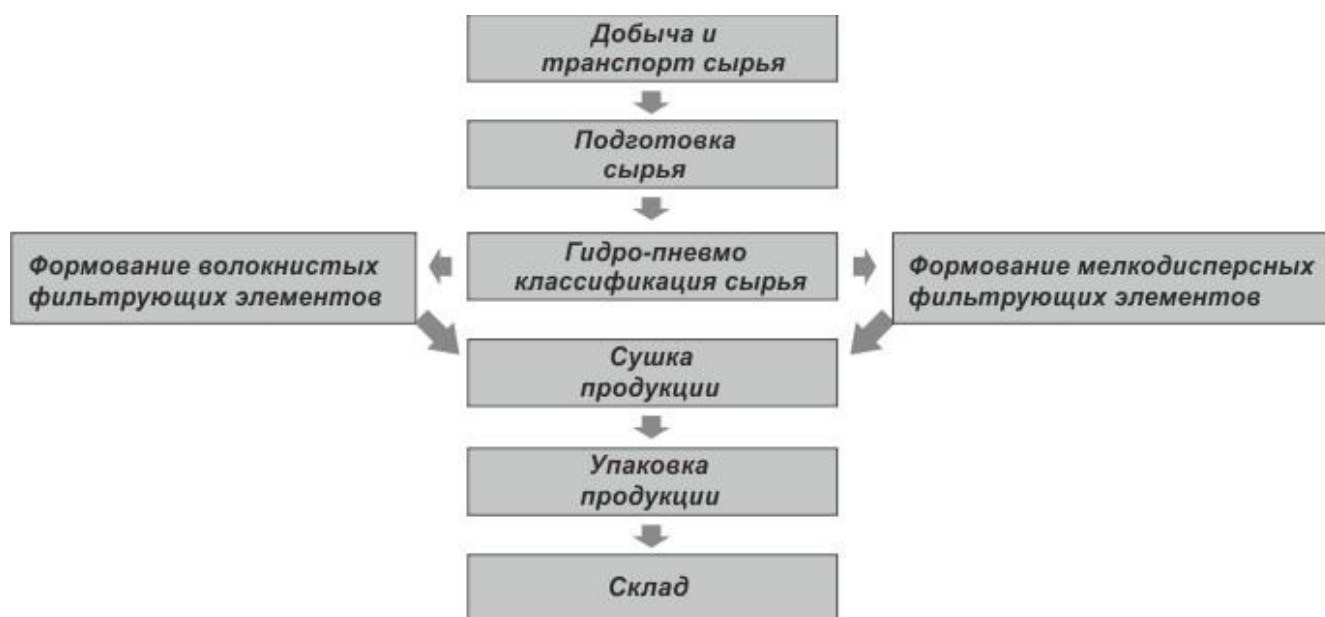


Рисунок 4 – Структурная схема технологической линии безотходной комплексной переработки торфяного сырья (составлено автором)

Важной особенностью этапа подготовки сырья является промывка добытого сырья от мелкодисперсных частиц, поэтому этап добычи является селективным: выемку предпочтительно осуществлять на глубину залегания сырья, которое характеризуется низкой зольностью.

Отработанный торфяной фильтрующий материал утилизируется в качестве вторичного топлива в твердотопливных котельных.

1.3 Современные тенденции рационального природопользования при ведении добычных работ на торфяных месторождениях

Торфяные месторождения в естественном состоянии сильно обводнены. На 1 кг сухого вещества приходится более 9 кг воды. Сильнообводненная торфяная залежь обладает малой несущей способностью, поэтому при ведении добычных работ традиционными методами осуществляются операции по подготовке месторождений.

В большинстве случаев разработка месторождений начинается с подготовки поверхности рабочей площадки: проведения работ по сведению леса и кустарников, организации системы осушения для водопонижения, что оказывает значительное воздействие на экосистему месторождений путем изменения ландшафта и естественного гидрологического режима территорий, сокращения биоразнообразия флоры и фауны [17, 54].

Осушение выполняется с целью создания условий для подготовки торфяного месторождения к последующей разработке. Для его осушения требуется создание осушительной сети каналов, которые направлены на перемещение воды в подготовленные водоприемники.

Торфяные месторождения играют важную роль в поддержании состава атмосферного воздуха: их растительность обогащает атмосферу кислородом и усваивает углекислый газ, обеспечивают сохранение генофонда редких животных, птиц и растений. Торфяные экосистемы имеют высокую значимость в сохранении экологического равновесия, как на локальном уровне, так и планетарном уровнях [26].

При применении традиционных методов ведения добычных работ на экосистему торфяных месторождений оказывается крайне негативное антропогенное влияние. При организации осушительных сетей нарушается естественный гидрологический режим экосистемы, при сушке сырья увеличивается запыленность территорий и повышается уровень пожароопасности. Более того, при ведении работ традиционными методами предполагается выделение значительных производственных площадей, требуются высокие затраты на проведение вспомогательных операций по подготовке и осушению, для проведения этих операций необходим увеличенный состав специализированной техники, эффективность технологических процессов крайне зависима от метеорологических условий; существуют значительные временные издержки – для осушения торфяного месторождения требуется 3 года с начала реализации проекта [34].

Международное торфяное сообщество сформировало принципы рационального природопользования при ведении горных работ на торфяных месторождениях. Современные технологии ведения добычных работ должны базироваться на минимизации негативного антропогенного воздействия на экосистему месторождения, повышении коэффициента извлечения полезного ископаемого при реализации выемочно-транспортных операций и минимизации отходов производства на всех этапах [60, 71].

На основании принципов рационального природопользования целесообразно проводить комплекс горных работ по добычи торфяного сырья без осушения производственных территорий, что несет в себе ряд положительных факторов:

- не требуются временные затраты на подготовку месторождения;
- не требуется комплекс горных машин для осушения, подготовки месторождения и ремонта производственных площадей;
- снижены риски возникновения пожаров и условия возникновения высокой запыленности;

- значительно снижены затраты на проведение рекультивации нарушенных земель: все процессы по восстановлению нарушенных территорий могут проходить естественным путем.

Стимулирование развития новых технологий разработки месторождений полезных ископаемых обеспечивается государственным регулированием, о чем говорится в Указе Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», в котором одним из приоритетных направлений является «снижение негативного воздействия на окружающую среду и климат, повышение возможности качественной адаптации экосистем, населения и отраслей экономики к климатическим изменениям».

Развитие геотехнологии применительно к торфодобыче требует создания новых технологий добычи торфа на основе развития теоретических основ и принятия практических решений реализации эффективных, климатически нейтральных технологий добычи в условиях высокой обводненности торфяной залежи [6, 44].

1.4 Анализ условий добычи на поверхности неосушенной торфяной залежи

Условия добычи сырья на неосушенной торфяной залежи отличаются повышенной сложностью. Торфяная залежь относится к слабым грунтам, обладающим (с позиций механики грунтов) низкими показателями механических свойств: избыточной увлажненностью, высокой сжимаемостью и низкой несущей способностью. Грунт является одновременно и опорной поверхностью, и объектом разработки [61].

Тело верхнего слоя залежи имеет волокнистую, пloidчатую или губчатую текстуру. В основном, прочностные характеристики залежи обеспечиваются связями между отдельными волокнами структурного скелета. Усредненные значения предела прочности на сдвиг – 20-30 кПа, величина удельного сопротивления грунта статическому зондированию – 65-75 кПа. Плотность залежи в естественном залегании варьируется в пределах 430-570 кг/м³ [1, 2].

Условия добычи торфяного сырья на неосушенной залежи отличаются сложностью, связанной с метеорологическими изменениями в процессе добычи,

наличием древесных включений в слое залежи. Это часто нарушает технологию и организацию работ, приводит к несоответствию характеристик производственной программы и машинного парка, сформированного для выполнения сосредоточенных объемов работ [37].

В целях производственной безопасности, одним из основных технологических требований при ведении выемочных работ в условиях неосушенной залежи является проходимость технологического оборудования: в отсутствии осушения функционирование оборудования допускается только по временным дорогам, обеспечивающим проходимость машин на поверхности залежи.

Возможными организационными решениями являются возведение мостовых сооружений или насыпного дорожного полотна, применение композитных дорожных покрытий.

Насыпные дорожные полотна, формируемые посредством укладки и уплотнения дискретных материалов без применения органических или минеральных вяжущих средств, характеризуются рядом эксплуатационных ограничений, обусловленных физико-механическими свойствами используемых компонентов.

Одним из ключевых недостатков является их низкая несущая способность и склонность к деформациям под воздействием динамических нагрузок. Отсутствие когезионных связей между частицами материала приводит к развитию остаточных деформаций, образованию колеи и просадок. Это требует проведения регулярных работ по планировке и уплотнению дорог, что увеличивает эксплуатационные расходы. Высокая водопроницаемость насыпных покрытий способствует проникновению атмосферных осадков в тело насыпи, что может привести к снижению прочности основания.

Возведение мостовых сооружений имеет ряд недостатков. Создание устойчивой мостовой дороги на слабых грунтах требует учета ряда особенностей: необходимо учитывать глубину залежи до подстилающего твердого минерального основания, уровень грунтовых вод, а также геологические особенности грунта.

Зачастую требуется предварительная подготовка основания, включающая отсыпку песком и гравием, укладку геотекстиля и создание дренажной системы. Все это значительно увеличивает стоимость строительства и удлиняет сроки реализации проекта. Существует необходимость постоянного обслуживания и ремонта мостового сооружения. Даже при соблюдении технологии строительства, мостовые дороги на слабых обводненных грунтах подвержены разрушительному воздействию природных факторов: воздействие агрессивных химических веществ, содержащихся в торфяной залежи, приводят к коррозии металлоконструкций.

Для возведения дорог на слабых грунтах существуют композитные дорожные покрытия, которые применяются для возведения полотна без применения специальной техники на болотах 1 и 2 типов. В основном, покрытия представляют собой соединенные плиты, которые состоят из стеклопластика и наполнителя; отдельные составные части полотна соединяются замковыми соединениями [46].

Композитные дорожные покрытия, обладают рядом преимуществ: адаптивность к основанию местности, высокая скорость монтажа и демонтажа, устойчивость композитных материалов к коррозии [15].

1.5 Анализ условий залегания органогенного сырья и его структурные свойства

Торфяная залежь представляет собой свиту нескольких горизонтально наслоенных пластов, разнородных по своему составу. Верхние торфяные слои имеют преимущественно макроструктуру с растениями торфообразователей со степенью разложения до 15%, составляющих сложно переплетенный пространственный каркас и придающих системе заметную связность с высокой степенью волокнистости [21].

Под степенью волокнистости следует понимать содержание в твердой фазе торфа волокнистых остатков размером более 0,25 мм, выраженное в процентах от объема твердой фазы [32].

Степень волокнистости можно определить через степень разложения торфа. Для упрощенных расчетов можно использовать график (рисунок 5), с помощью

которого содержание фракций $< 0,25$ мм R_b можно пересчитать на значение показателя степени волокнистости R_m [32].

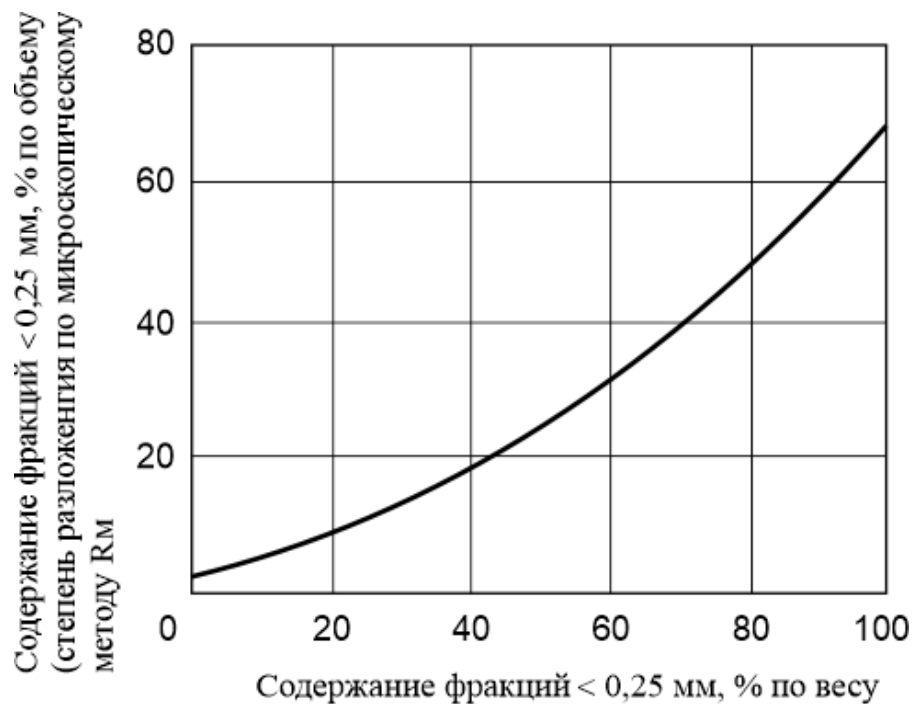


Рисунок 5 – Приблизженный пересчет степени разложения, определяется весовым методом на степень разложения по микроскопическому методу [23]

Залежь торфа с малой степенью разложения, благодаря наличию волокнистого каркаса, имеет прочностные характеристики выше, чем у средне- и сильно разложившихся слоев залежи при весьма высоких значениях коэффициента пористости [1, 3].

Благодаря естественной развитой пористой структуре и низкой зольности, торфяное сырье малой степени разложения является целесообразным выбором при производстве натуральных фильтрующих материалов на основе торфа.

В залежах верхового типа в верхних генетических горизонтах, залегает слаборазложившийся низкозольный торф вида *Sphagnum*, который представлен, в основном, *Sphagnum magellanicum* и *Sphagnum fuscum*, расположенным на поверхности торфяной залежи на глубину до 0,3 м (рисунок 6).

С точки зрения классификации полезного ископаемого по условиям залегания *Sphagnum* торфа: в основном, по углу наклона к горизонту тело залежи относится к пологим и имеет плоскую форму.



Рисунок 6 – Торфяная залежь малой степени разложения в естественном залегании (составлено автором)

Структура торфа из-за разнообразия форм и размеров элементов – от крупных волокон растений, корней, остатков древесины до тонкодисперсных разложившихся частиц, весьма индивидуальна для каждого вида [2].

Структура оказывает влияние на физические и фильтрационные свойства, а также на механические. Описание структур разных видов торфа выполнялось В.М. Пичугиным и С.Н. Тюремновым [51, 66].

Для *Sphagnum* торфа характерна степень разложена до 10%, низкая зольность – до 5%, плотность в естественном залегании до 600 кг/м³, эксплуатационная влажность до 90%.

Sphagnum magellanicum свойственна губчатая структура, представляет слабоуплотненный слой залежи, относится к изотропному структурному классу и обладает волокнистой текстурой с длиной волокон до 200 мм. *Sphagnum fuscum* характеризуется пloyчатой структурой, относится анизотропному структурному классу с волокнистой текстурой с длиной волокон до 50 мм.

Естественная пористая структура и поверхностные свойства сырья определяет эксплуатационные характеристики материала, поэтому технологическими требованиями процесса добычи органогенного сырья для

производства природоохранной продукции на основе торфа является минимальное нарушение его естественной структуры при выемке.

1.6 Осуществление выемки сырья с поверхности месторождения

Ведение горных работ на поверхности месторождения представляет собой комплекс технологических процессов, направленных на выемку сырья из залежи, его транспортировку за пределы карьерного поля для дальнейшей переработки. Этот метод широко применяется для разработки месторождений, залегающих на небольшой глубине.

Применение легковозводимых дорожных покрытий на поверхности месторождения и условия залегания целевого полезного ископаемого создают предпосылки для создания блочной технологии выемки с последовательной разработкой месторождения (рисунок 7) [46].

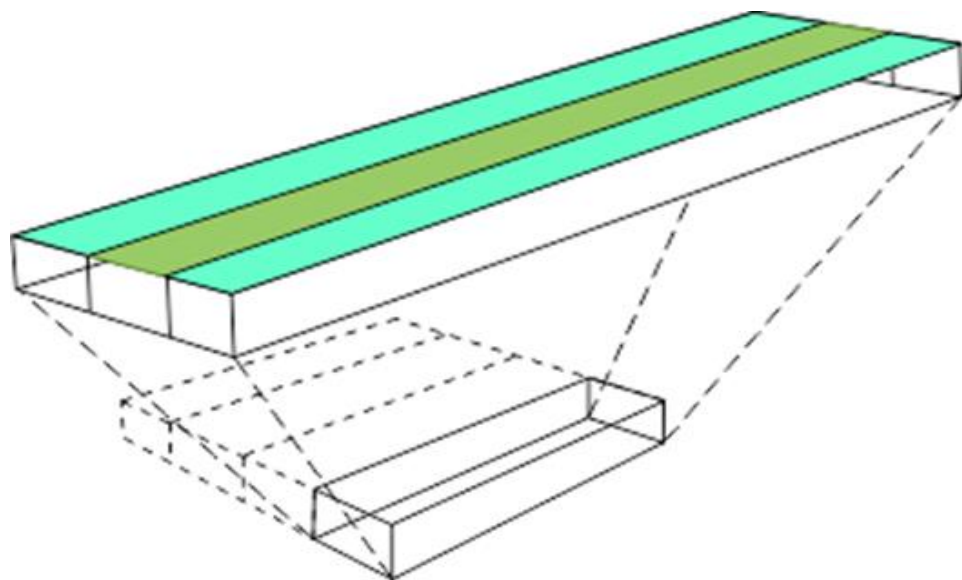


Рисунок 7 – Отношения приоритета первичных блоков (составлено автором)

Поверхностная разработка характеризуется высокой производительностью, относительно низкой себестоимостью добычи и возможностью извлечения больших объемов полезного ископаемого.

Исходя из условий залегания органогенного сырья, принимается, что поверхность торфяной залежи является одновременно и опорной поверхностью, и объектом разработки.

Блоки разрабатываются по заранее установленной схеме, что обеспечивает рациональное использование производственных территорий.

В настоящее время не существует алгоритма ведения горных работ по блочной технологии на поверхности неосушенного торфяного месторождения, поэтому перспективной задачей является разработка технологии ведения горных работ по блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья с постановкой технологических требований к реализации основных операций и выборе вариантов их обеспечения.

1.7 Формирование комплекта оборудования для осуществления поверхностной добычи

Условием эффективного выполнения работ по добыче торфяного сырья является комплексная механизация наиболее трудоемких операций – выемки сырья из массива и его транспортировки за пределы рабочей зоны. Состав структурных единиц комплекта оборудования для механизированной выемки и транспортировки можно разделить на четыре самостоятельные группы [36]:

- 1) универсальные энерго-транспортные средства – тракторы;
- 2) агрегируемые с тракторами торфяные машины (корчеватели, профилировщики, фрезеры, добывающие, уборочные и погрузочные машины, транспортные полуприцепы и др.);
- 3) торфяные машины, имеющие собственный привод и управление (самоходные пневматические уборочные машины и др.);
- 4) универсальные погрузочно-выемочные машины (экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и др.).

Практически во всех производствах преобладает периодический способ организации технологических процессов, для которого характерна строгая последовательность технологических операций и стадий во времени, обособленность операций в пространстве; инвариантность (независимость) элементарных процессов относительно обеспечения оборудованием [13, 27, 53]

В соответствии с современным состоянием и перспективами развития отрасли прогнозируется использование трех типов полевых технологий

производства торфяного сырья (продукции): первый тип, характерный для малых торфодобывающих предприятий (до 20 тыс. т в сезон); второй тип (30-60 тыс. т в сезон); третий тип, характерный для крупных торфодобывающих предприятий (более 60 тыс. т в сезон) [37].

При добыче органогенного сырья для производства фильтрующих материалов достаточной будет организация торфодобывающего предприятия, годовая производительность которого не более 20 тыс. т в добычной сезон – тип первый.

Технологическое оборудование для реализации технологий первого типа ориентируется на минимальное количество операций обработки торфяной залежи и совмещение технологических операций. Хотя многие элементы этих технологий требуют адаптации к местным условиям, техника для этих технологий создана и позволяет обеспечивать управление производственными процессами выемки, погрузки и транспортирования торфяного сырья [75].

В парке машин компании однооперационные агрегаты должны быть заменены многофункциональными, универсально-комбинированными, способными адаптироваться к изменяющимся условиям производства путем быстрой смены рабочих органов. Такой подход позволяет сократить количество оборудования, повысить его загрузку и эффективность функционирования. Исследования показывают, что применение комбинированных агрегатов позволяет снизить затраты труда на 30– 50%, расход топлива на 20–30%, металлоемкость на 20–25% [35].

Состав машинно-тракторного агрегата для выполнения каждой операции выбирается исходя из необходимости обеспечения высокого качества работы при минимальных затратах средств и труда на единицу работы [99].

Таким образом, для выполнения работ при реализации блочной технологии поверхностной выемки торфяного сырья целесообразно использовать универсальный многофункциональный выемочно-транспортный модуль, с помощью которого возможно выполнение выемки, погрузки и транспортирования сырья одним модулем в едином производственном цикле.

1.8 Практики самовосстановления отработанных территорий в условиях неосушенной залежи

Проблемы состояния земель и природной среды в горнодобывающей отрасли связаны с устойчивым развитием промышленности и общества. Рекультивация нарушенных земель и их восстановление – эффективный способ экономного использования земельных ресурсов [92]. Одним из способов ограничения негативного воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду является рекультивация нарушенных земель, благодаря которой площади, преобразованные горнодобывающей деятельностью, восстанавливаются [76].

Использование традиционных методов биологической рекультивации земель путем покрытия отвальной поверхности плодородным почвенным слоем или потенциально плодородными породами требует значительных затрат и не всегда осуществимо на практике. Особое значение приобретают исследования, направленные на разработку экономически целесообразных способов восстановления биологической продуктивности почв нарушенных площадей, исключающих выполнение этих трудоемких операций [46].

Весьма перспективным методом рекультивации отработанных территорий является активация механизмом самовосстановления (саморегуляции торфяного месторождения). Важнейшим механизмом гидрологической саморегуляции на верховых болотах является верхний растительный слой (акротелм). На месторождениях верхового типа определенные виды *Sphagnum* могут быть восстановлены в условиях естественного гидрологического режима (избыточной увлажненности) в соответствии с принципами палудикультуры.

С наличием подстилающего органического вещества слабое нарушение поверхностного слоя и высокий уровень грунтовых вод могут создать благоприятные условия для палудификации. Палудификация – это накопление органического вещества с течением времени, и, как принято считать, она вызвана высокой влажностью грунта и колонизацией площади сфагновыми мхами [79].

Исследования Грайфсвальдского болотного центра в кооперации с институтом ботаники и ландшафтной экологии Грайфсвальдского университета

доказывают экономическую эффективность падикультурных проектов по выращиванию сфагнома [81, 100].

Сфагновые мхи являются основными торфообразующими растениями в болотных фитоценозах. Однако, при неуправляемом восстановлении в условиях торфяных месторождений процессы роста сфагнома происходят менее интенсивно [81, 83].

В работах [77, 86] выполнялись исследования по восстановлению растительности в образованных лагунах на торфяном месторождении. Подход к восстановлению заключался в том, чтобы обеспечить естественный процесс колонизации растительности на нарушенной территории.

Основным технологическим требованием для обеспечения самовосстановления отработанных территорий после выемки является сохранение естественного гидрологического режима торфяной залежи (избыточной увлажненности).

С целью сохранения естественного гидрологического режима при разработке поверхности торфяного месторождения по блочной технологии возможно применить метод лагун, при котором площадь выемочной области разделяется на прямоугольные участки, в которых производится выемка с образованием лагун и сохранением целиков между ними (берм-перемычек). Основная функция берм-перемычек – барьер для движения влаги внутри лагуны [95].

1.9 Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования

В настоящее время слаботорфяное сырье (органогенное сырье) используется во многих отраслях промышленности. Благодаря высокой сорбционной способности органогенное сырье применяется в природоохранных целях при изготовлении волокнистого фильтрующего материала для применения в очистных сооружениях поверхностного стока.

В настоящее время сформулированы принципы рационального природопользования, на основе которых установлена целесообразность проведения горных работ по добычи торфяного сырья без осушения

производственных территорий для сохранения биосферных функции торфяных месторождений.

Установлено, что основным технологическим требованием при ведении выемочных работ в условиях неосушенной залежи является проходимость технологического оборудования. На основе анализа вариантов обеспечения технологического требования установлено, что рациональным вариантом является использование легковозводимых дорожных покрытий.

На основе анализа структурных характеристик торфяной залежи установлено, что естественная пористая структура и поверхностные свойства сырья определяют эксплуатационные характеристики материала, поэтому технологическими требованиями процесса добычи органогенного сырья для производства природоохранной продукции на основе торфа является минимальное нарушение его естественных структурных свойств при выемке.

Применение легковозводимых дорожных покрытий на поверхности месторождения и условия залегания целевого полезного ископаемого создают предпосылки для создания блочной технологии поверхностной выемки. Определено, что для выполнения работ целесообразно использовать универсальный многофункциональный выемочно-транспортный модуль, с помощью которого возможно выполнение выемки и погрузки органогенного сырья в одном производственном цикле.

При ведении выемочных работ на неосушенной торфяной залеже возможно производить процессы самовосстановления выработанных территорий. Основным технологическим требованием для обеспечения самовосстановления территорий после выемки является сохранение естественного гидрологического режима залежи (избыточной увлажненности). С целью сохранения естественного гидрологического режима при разработке поверхности торфяного месторождения по блочной технологии возможно применить метод лагун.

По результатам проведенного анализа сформулирована цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Целью работы является установление технологических требований и закономерностей процесса механизированной поверхностной выемки органогенного сырья в условиях неосушенной залежи с обоснованием структуры комплекта оборудования для добычи сырья без нарушения естественной структуры материала.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме работы с выявлением основных принципов поверхностной выемки сырья на неосушенном месторождении.
2. Провести анализ размерно-массовых и физико-механических свойств верхнего слоя торфяной залежи и требований к вынимаемому сырью.
3. Обосновать структуру выемочно-транспортного оборудования для реализации блочной технологии поверхностной выемки торфяного сырья.
4. Провести полевые и лабораторные исследования для установления основных закономерностей процесса выемки сырья с ненарушенной структурой с помощью двухчелюстного вильчатого грейфера.
5. Разработать замкнуто-циклическую блочную технологию поэтапной поверхностной выемки органогенного сырья с рекультивацией выработанных площадей методом самозаростания (элементы палудикультуры).

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА БЛОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЫЕМКИ ОРГАНОГЕННОГО СЫРЬЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКТА ДОБЫЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Принципы формирования комплекта оборудования для добычи органогенного сырья на неосушенной залежи

Общий процесс выбора оборудования включает оценку климатических, геологических, геотехнических условий, специфичных для конкретного месторождения [23]. В исследованиях [18, 42] обобщен и проанализирован ряд критериев рационального формирования структуры комплекта оборудования для добычи торфяного сырья:

1. Типы оборудования в составе комплекта полностью должны соответствовать условиям функционирования.
2. Комплект должен обеспечивать непрерывность технологического потока (принцип непрерывности).
3. Производительность комплекта определяется производительностью выемочной машины.
4. Сведение количества машин комплекта к минимуму по принципу многофункциональности. Предпочтительно выбирать машины, в функционал которых входит выполнение нескольких технологических операций.
5. Принцип выбора универсальных рабочих органов. Предпочтителен выбор рабочих органов, способных к адаптации к изменяющимся внешним условиям.
6. Принцип выбора параметров оборудования с учетом условий эксплуатации. Конструктивные, кинематические и энергетические параметры выбираются исходя из размерно-массовых, релаксационных и прочностных свойств залежи и торфяного сырья.
7. Принцип учета функционирования в допускаемых областях функционирования.

В работах [55, 59] проведено обоснование комплекта оборудования для ведения работ по добыче органомогенного сырья в условиях неосушенной торфяной залежи.

При организации малого торфодобывающего предприятия при комплектации парка технологического оборудования рационально использовать минимальный комплект универсальных погрузочно-выемочных машин 1, 2 и 4-й групп.

По принципу унификации и многофункциональности целесообразно синтезировать отдельные группы машин в технологические модули с целью реализации конкретной технологической задачи машинами разного функционального назначения.

С помощью комбинированного многофункционального технологического модуля операции по выемки и погрузки сырья должны осуществляться в едином производственном цикле (принцип непрерывности).

Предлагается структура комбинированного агрегата, который состоит из тягово-энергетического средства – трактора, транспортного средства – полуприцеп и универсального выемочно-погрузочного устройства – гидроманипулятор с рабочим органом для выполнения вспомогательных и производственных работ.

Требования к проходимости оборудования снижены в связи с применением дорожных покрытий, поэтому рационально выбирать трактор и полуприцеп с колесным ходом (принцип выбора параметров оборудования исходя из условий эксплуатации) [61].

Исходя из принципов комплектации парка горных машин, производительность комплекта определяется производительностью выемочного оборудования, которая во многом зависит от параметров рабочего органа.

2.2 Выбор и обоснование типа рабочего органа

Практически во всех торфяных производствах применяется оборудование циклического способа действия, для которых характерна строгая последовательность технологических операций и стадий во времени и обособленность операций в пространстве. Для средств экскавации циклического

действия применяются разные типы рабочих органов: ковш, фреза, шнек, ротор, грейфер и прочие [73].

С учетом основного технологического требования сохранения естественной структуры в процессе выемки и погрузки сырья и возможности реализации этих процессов в едином технологическом цикле, целесообразным вариантом является грейфер [56, 60].

Применение грейферных механизмов получило широкое применение на земляных работах для разработки выемок с вертикальными стенками, обратной засыпки в стесненных условиях, на производстве очистных работ и погрузочно-разгрузочных работах [5].

Анализ конструкции двухчелюстных грейферных механизмов, используемых для выполнений земляных ландшафтных работ при помощи экскаватора, показал, что траектория движения режущей кромки такого типа механизма представляет кривую, приближенную к дуге окружности [69].

При экскавации грунта выемка происходит с помощью внедрения зубьев грейферного ковша в грунт, смыканию челюстей в массиве материала и его подъеме [62, 63].

В работах [91, 105] сделаны выводы об эффективном применении грейфера на грунтах ниже второй категории прочности.

Вильчатые грейферные механизмы получили широкое применение при выемке и транспортировки волокнистых материалов. Активно применяются вильчатые грейферные рабочие органы для погрузки силоса, сенажа и зеленой массы и других связных материалов во многом схожих по структурным характеристикам с волокнистым органогенным сырьем [33].

2.3 Технологическое требование при ведении добычных работ с легковозводимых дорожных покрытий

При ведении добычных работ на легковозводимых дорожных покрытиях, которые расположены на слабом грунте, важным технологическим требованием является обеспечение устойчивости оборудования.

Параметры составных частей выемочно-транспортного модуля производится на базе расчета обеспечения его устойчивости. Расчет устойчивости производится исходя из условия, что выемочная машина должна реализовывать максимальные усилия на грейфере при работе поперек колес.

Опасность потери устойчивости выемочной машины возникает в случае, если суммарный опрокидывающий момент $M_{\text{опр}}$ от действия внешних сил будет превышать суммарный удерживающий момент $M_{\text{уд}}$. Во избежание опрокидывания должны быть созданы условия устойчивого равновесия, при которых удерживающие моменты относительно линии опрокидывания были бы больше, чем опрокидывающие [38].

Для упрощения анализа в работе введены следующие ограничения:

- опрокидывающими моментами от сил ветра и центробежных сил при повороте рукояти можно пренебречь;
- центры тяжести грейфера и материала совпадают;
- жесткость гидроманипулятора достаточна для отсутствия вертикальных колебаний в момент выемки;
- стрела – однородный элемент.

Схема действующих сил в процессе добычи с помощью выемочно-транспортного модуля представлена на рисунке 8.

Уравнения равновесия моментов всех сил, действующих, относительно точки торца колеса транспортного средства ближней к грейферу в момент отрыва (точка А).

Удерживающий момент (формула 1):

$$M_{\text{уд}} = G_{\text{T}}l_1 + G_{\text{M}}l_1, \quad (1)$$

где G_{T} – сила тяжести транспортно-тракторного агрегата (без манипулятора), Н;

G_{M} – сила тяжести колонны гидроманипулятора, Н;

l_1 – расстояния от центра тяжести модуля до точки А, м.

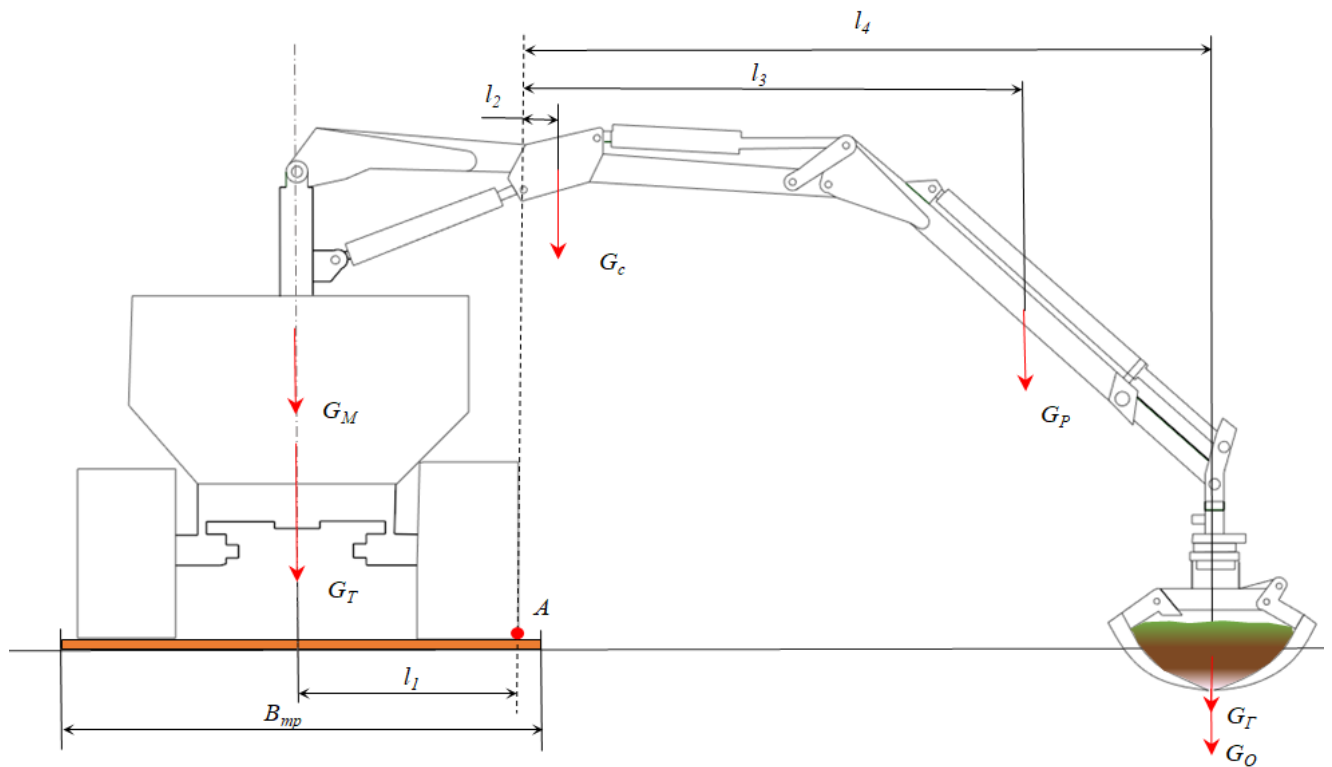


Рисунок 8 – Схема действия сил в процессе добычи (составлено автором)

Опрокидывающий момент (формула 2):

$$M_{оп} = G_C l_2 + G_P l_3 + G_T l_4 + G_0 l_4, \quad (2)$$

где G_P – сила тяжести рукоятки гидроманипулятора, Н;

G_C – сила тяжести стрелы манипулятора, Н;

G_T – сила тяжести рабочего органа, Н;

G_0 – допускаемое усилие для осуществления вертикальной выемки торфяного сырья из залежи, Н;

l_2 – расстояния от центра тяжести стрелы гидроманипулятора до точки А, м;

l_3 – расстояния от центра тяжести рукоятки гидроманипулятора до точки А, м;

l_4 – расстояния от центра тяжести рабочего органа до точки А, м.

В общем случае запас устойчивости K для манипуляторов принимают равным 1,2 – 1,5. Поскольку технологический модуль находится в момент выемки на прочном ровном основании, принимаем значение 1,4 (формула 3):

$$G_0 + G_T = (G_T l_1 + G_M l_1 - G_C l_2 - G_P l_3) / K l_4. \quad (3)$$

На основе расчета устойчивости технологического модуля выбирается вместимость вильчатого грейфера и предельная сила отрыва материала от залежи,

при котором устойчивое состояние модуля сохраняется. Для определения силы отрыва требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

2.4 Схемное решение блочной технологии выемки

Предложена схемное решение блочной технологии поверхностной выемки с учетом сформированных технологических требований, анализа условий залегания залежи и основных принципов самовосстановления выработанных территорий [46].

Рабочая зона месторождения разделяется на отдельные технологические участки для их последовательной разработки. Каждый участок располагается перпендикулярно берегу месторождения и состоит из центральной транспортной полосы (временной дороги) и двух боковых параллельных выемочных областей для выемки сырья (рисунок 9) [61].

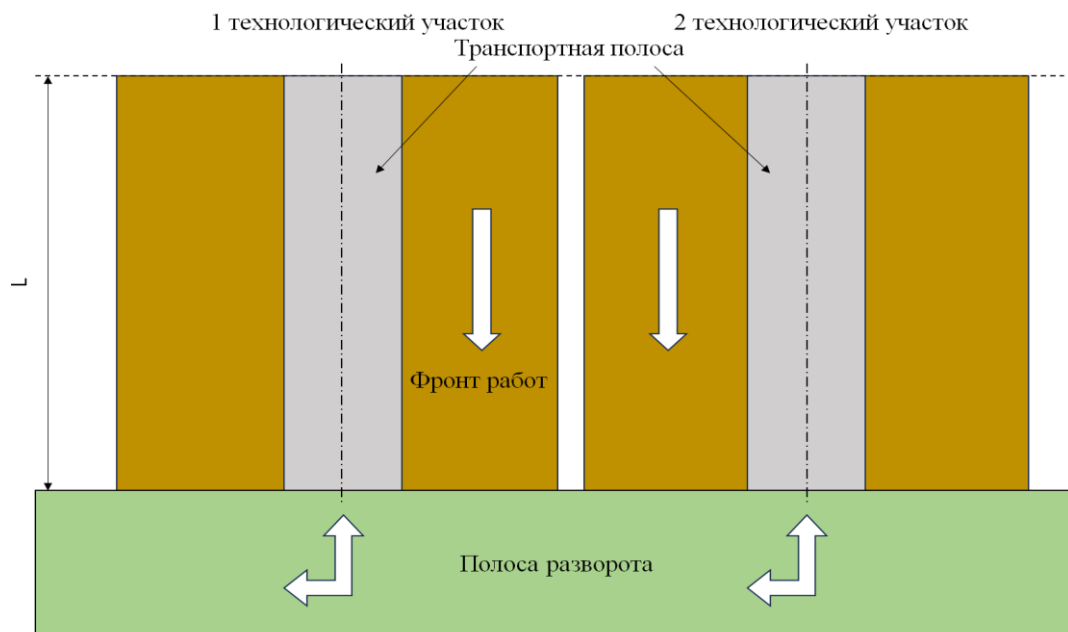


Рисунок 9 – Схема деления рабочей зоны на технологические участки
(составлено автором)

Длина рабочей площадки L определяется продолжительностью сезона добычи и производительностью технологического оборудования.

Ширина транспортной полосы $B_{тр}$ определяется размерами дорожных покрытий. Например, дорожная плита КДМ-ЭКО 2, размером 3х1,5 м и массой

45 кг это легкая плита ручной укладки, обеспечивающая нагрузку до 300 кН (рисунок 10) [15].

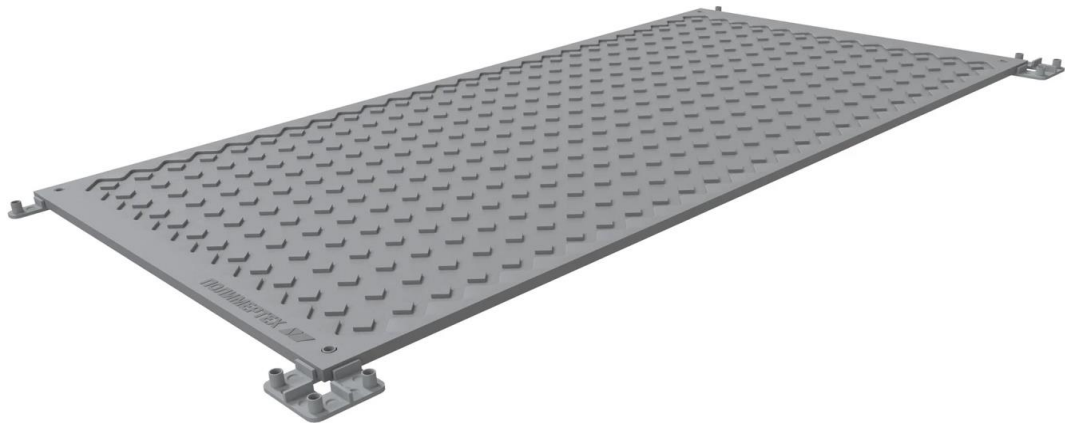


Рисунок 10 – Вид дорожной плиты [15]

Размеры блоков и лагун являются определяющими параметрами блочной технологии выемки торфяного сырья и зависят от параметров выемочного оборудования [29].

При производстве выемочных работ выемочное оборудование фиксируется в центре транспортной полосы (легковозводимого дорожного покрытия). Ширина выемочной области (ширина одного блока $B_{\text{бл}}$) определяется разностью между максимальным и минимальным радиусами копания выемочного оборудования (рисунок 11).

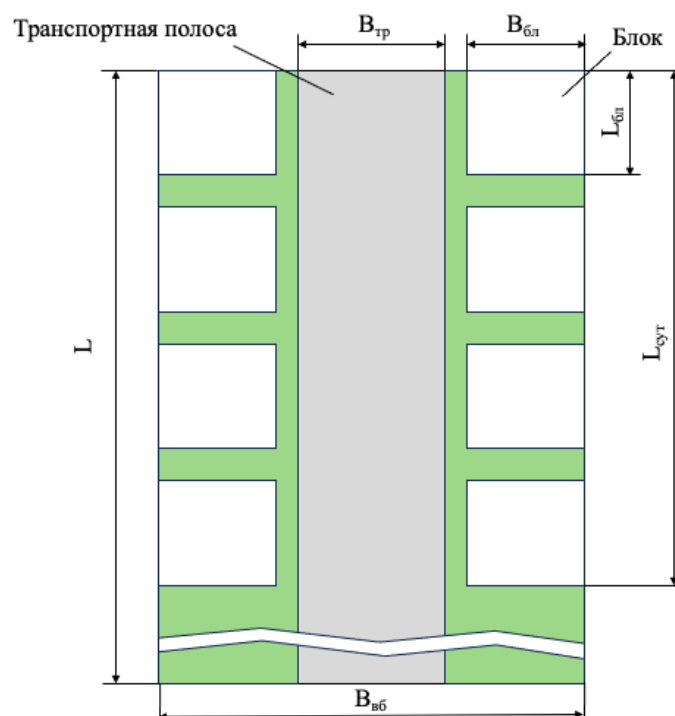


Рисунок 11 – Схема технологического участка (составлено автором)

Разработка выемочных областей производится блоками. В рамках каждого блока проводится серия циклов выемки сырья с образованием лагун и сохранением участков растительного слоя между соседними блоками и внутри каждого блока, глубина выемки составляет 0,3 м (рисунок 12).

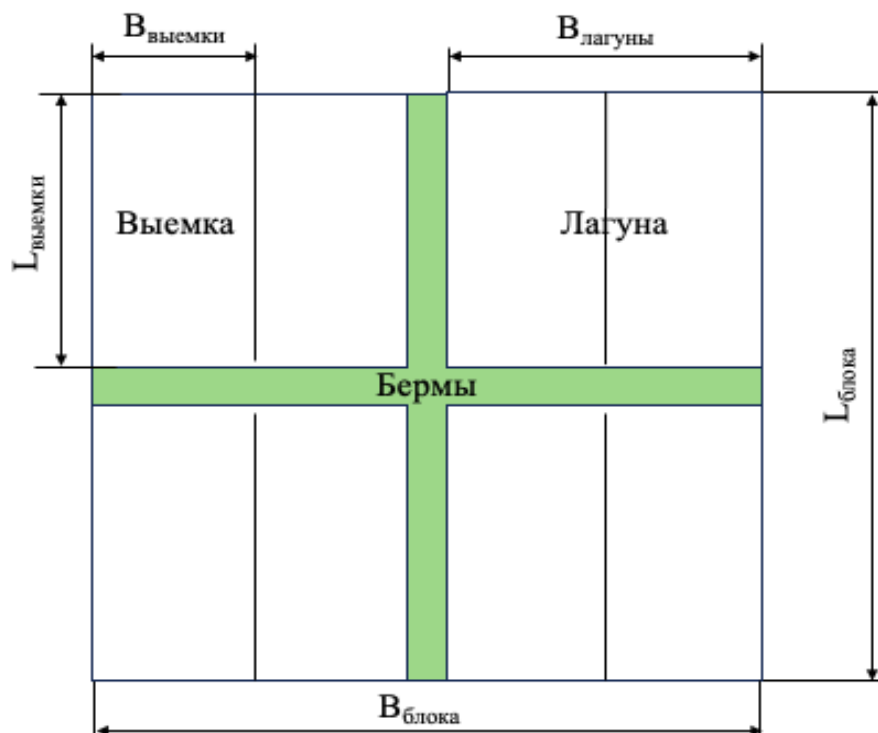


Рисунок 12 – Схема выемочного блока (составлено автором)

Длина блока $L_{бл}$ принимается равной его ширине $V_{бл}$. При разработке каждого блока образуются 4 лагуны, каждая из которых состоит из 2-х выемок [46].

Количество блоков на одном технологическом участке $n_{бл}$ определяется, исходя из длины транспортной полосы и длины блока (формула 4):

$$n_{бл} = 2L / (L_{бл} + L_{берм}), \quad (4)$$

где L – длина рабочей площадки, м;

$L_{бл}$ – длина блока, м.

На основе схемного решения определены основные параметры блочной технологии выемки торфяного сырья с поверхности месторождения.

Так как одна лагуна состоит из двух выемок, объем вынимаемого торфяного сырья рабочим органом выемочного оборудования в одном блоке $V_{бл}$ определяется (формула 5):

$$V_{бл} = 2E_{ро}n_{л}, \quad (5)$$

где E_{po} – вместимость рабочего органа, m^3 ,

n_l – количество лагун, шт.

Объем вынимаемого торфяного сырья в одном технологическом участке V_n определяется объемом вынимаемого сырья в одном блоке и количеством блоков на технологическом участке (формула 6):

$$V_n = V_{bl} n_{bl}, \quad (6)$$

где n_{bl} – количество блоков на одном технологическом участке, шт.

Общая площадь выемочной области S_{vo} определяется площадь блока и их количество на технологическом участке (формула 7):

$$S_{ty} = B_{bl} L_{bl} n_{bl}. \quad (7)$$

Разрабатываемая площадь технологического участка S_{rpl} включает в себя сумму площадей вынимаемых лагун (формула 8):

$$S_{rpl} = B_v L_l n_l n_{bl}, \quad (8)$$

где B_v – ширина выемки, м;

L_l – длина лагуны, м;

n_l – количество лагун в одном блоке, шт.

Коэффициент использования площади месторождения $k_{ип}$ (формула 9):

$$k_{ип} = S_{vo} / S_{rpl}. \quad (9)$$

Для расчета основных показателей производственного процесса при реализации блочной технологии поверхностной выемки требуется выбрать основные параметры структурных единиц выемочно-транспортного модуля.

2.5 Обоснование параметров структурных единиц выемочно-транспортного модуля

2.5.1 Обоснование параметров транспортного средства и гидроманипулятора

Манипуляционное устройство и устройство его базирования – транспортный прицеп – являются взаимосвязанными машинами, в том числе с точки зрения взаимного положения при выполнении технологических операций по установке свай, поэтому необходимо рассмотреть эти элементы вместе.

Минимальные массогабаритные и конструктивные характеристики транспортного прицепа в составе комбинированного агрегата предопределяются следующими основными факторами:

- размерами применяемых дорожных плит, их грузоподъемностью;
- количеством композитных плит, укладываемых за один цикл, их размерно-массовыми характеристиками;
- размерно-массовыми характеристиками органогенного сырья в процессе при погрузке после выемки в кузов транспортного средства;
- условиями эксплуатации.

За основу принят полуприцеп 1-ПТС2 тракторный самосвальный предназначенный для перевозки различных сельскохозяйственных и сыпучих строительных грузов по дорогам общей сети и в полевых условиях. Разгрузка полуприцепа трёхсторонняя. Полуприцеп агрегатируется с колёсными тракторами МТЗ Беларусь тягового класса 0,9-1,4 т оборудованными раздельно-агрегатной гидросистемой, имеющими тягово-сцепное устройство, а также выводы для подключения тормозной пневмосистемы и электрооборудования.

Технические характеристики и общий вид полуприцепа 1-ПТС2 представлены в Приложении А.

Расчет устойчивости агрегата от опрокидывания производится при порожнем полуприцепе.

Паспортная длина загружаемой поверхности кузова равна 2,5 м и ширина 2,03 м, что удовлетворяет критерию возможности транспортирования дорожных покрытий размерами 3,0х1,5 м (при условии наклонного расположения плит в кузове).

В соответствии с достоинствами и недостатками различных видов манипуляторов и их распространением, для выбранного полуприцепа рациональным манипулятором будет являться комбинированный гидравлический манипулятор с телескопической оконечной секцией стрелы.

Гидроманипулятор должен иметь длину вылета стрелы, которая позволяла бы перемещать дорожные плиты на поверхность торфяной залежи для монтажа временной дороги.

При выполнении технологических операций передвижение модуля осуществляется на дорожных покрытиях без маневров разворота, а лишь прямолинейно задним и передним ходом.

Положение гидроманипулятора на транспортном прицепе с точки зрения минимизации его вылета наиболее рационально выполнять задним, однако такое исполнение невозможно и нецелесообразно с точки зрения обеспечения устойчивости модуля, безопасности монтажных работ и безопасности персонала при управлении. Таким образом, базирование гидроманипулятора должно осуществляться в передней части полуприцепа, что увеличит потребный вылет стрелы.

Требуемый вылет гидроманипулятора необходимо выбирать исходя из кинематики его работы с изменением его положения, как в горизонтальной плоскости, так и по вертикали, с учетом крайних верхнего и нижнего положений в начале и по окончании перемещения покрытия из кузова.

В соответствии вышеописанным, требуемый вылет в первом приближении можно рассчитать на основании схемы по высоте, и по формуле для диагонали прямоугольного параллелепипеда, принимающая к расчету вылета гидроманипулятора.

Подходящей маркой гидроманипулятора является Атлант-90, технические характеристики и общий которого представлены в Приложении Б.

Схема грузоподъемности гидроманипулятора при разном вылете стрелы представлена в Приложении Б.

Выбор параметров тягово-энергетического средства будет проводиться при условии паспортной максимальной загрузки транспортного прицепа.

2.5.2 Обоснование параметров тягово-энергетического средства

Согласно идее перемещения оборудования по дорожным покрытиям, использование тягово-энергетического средства в труднопроходимых условиях не

предусмотрено. Использование трактора предполагается только на прочном настиле временной дороги и грунтовой площадке для стоянки оборудования, складирования материалов и штабелирования торфяного сырья, поэтому требования к его проходимости значительно снижены. В частности, гусеничный ход, или колесный ход с использованием специализированных шин, а также схемы 4К4, не являются требуемыми свойствами трактора [37].

Трактор должен обладать подходящими техническими характеристиками для выполнения заданных технологических операций: невысокую, но достаточную массу – как для достаточной силы сцепления для перемещения загруженного полуприцепа; необходимую мощность двигателя; небольшие габариты.

К трактору в составе модуля предъявляют различные эксплуатационные, экономические, технические и другие требования, которые вместе можно условно подразделить на две основные группы [67]:

Требования технологического процесса относятся к качественному выполнению проводимых технологических операций:

- способность агрегатироваться с комплексом машин, в частности, по необходимой тяге на крюке;
- хорошая маневренность движения МТА с минимальным радиусом поворота.

Технико-экономические требования в основном относятся к высокой производительности модуля и его экономичности.

Поскольку выбранный полуприцеп агрегируется с тракторами МТЗ Беларусь низкого тягового класса, выбор трактора осуществляется из типоразмерного ряда этих тракторов.

Для реализации блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья выбран малогабаритный колесный трактор Беларусь-622 тягового класса 0,9 даН (Приложение В).

Трактор нашел широкое применение в сельскохозяйственном производстве, оборудован выносной гидросистемой и агрегируется с прицепными машинами.

2.5.3 Обоснование параметров рабочего органа

Специфика работы технологических машин и условия их эксплуатации являются определяющими факторами при выборе принципиальных характеристик и конструктивных особенностей рабочих органов.

При работе с манипуляторными системами типа Атлант-90, выемочно-погрузочное устройство целесообразно оснащать грейферными рабочими органами, вместимость которых не более $0,15 \text{ м}^3$ (исходя из анализа распространенных промышленных решений, предварительного анализа устойчивости модуля).

Грейфер вместимостью $0,15 \text{ м}^3$ обеспечивает оптимальное соотношение между объемом захватываемого материала и нагрузкой на манипулятор; позволяют точнее позиционировать захват при выполнении сосредоточенных работ на поверхности залежи.

Вильчатые грейферы типа FLO имеют челюсти с прочными наконечниками из литой стали, не перекрываются как у лесных грейферов, а закрываются «наконечник к наконечнику». Общий вид и технические характеристики грейфера FLO-10 с вместимостью $0,13 \text{ м}^3$ представлены в Приложении Г [89].

Горизонтальный гидроцилиндр обеспечивает компактные габаритные размеры грейфера. Обратный предохранительный клапан входит в стандартную комплектацию. Вильчатые грейферы устанавливаются на небольшие автокраны и мини-экскаваторы и применяются для обращения с волокнистыми органическими отходами.

Выемка органогенного сырья с помощью вильчатого грейфера представляет собой совокупность достаточно сложных технологических процессов, чтобы задачи получения материала без нарушения естественной структуры материала были решены для системы в целом, без декомпозиции на отдельные операции, что является одной из предпосылок для системного анализа и проведения дополнительных экспериментальных исследований.

2.6 Этапы функционирования вилчатого грейфера при выемке органогенного сырья из залежи

При системном анализе процесс выемки сырья разделяется на последовательные этапы. Выемка органогенного сырья с помощью двухчелюстного вилчатого грейфера основана на процессе его захвата и отрыва от монолита залежи.

Процесс захвата материала начинается с внедрения зубьев грейфера в торфяную залежь и компактирования сырья в межчелюстном пространстве при его закрытии.

На рисунке 13, а приведена схема захвата материала вилчатым грейфером при глубине внедрения зубьев грейфера H , равной половине глубины выемки, при ширине захвата B . При внедрении зубьев грейфера преодолевается сила сопротивления залежи внедрению.

При закрытии грейфера материал на поверхности торфяной залежи сжимается в горизонтальной плоскости на величину b_3 по направлению к середине грейфера. В материале под действием горизонтальных сжимающих сил возникают напряжения, и происходит горизонтальная деформация (консолидация) (рисунок 13, б).

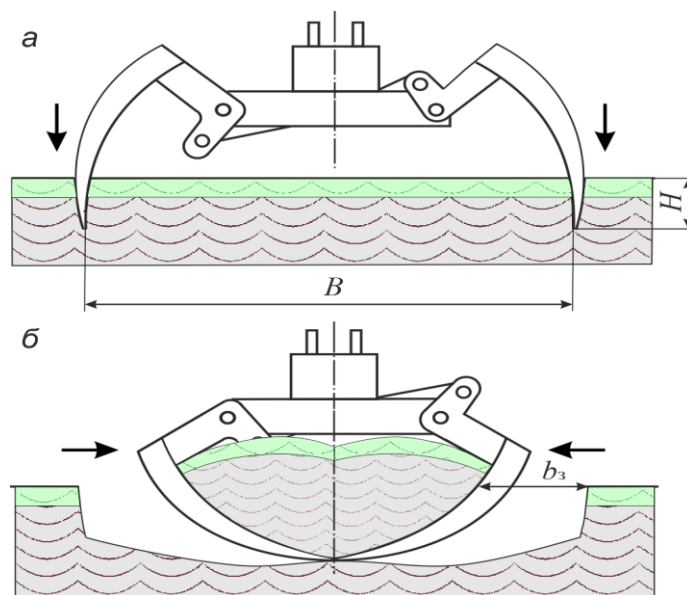


Рисунок 13 – Схема выемки материала из торфяной залежи: а – внедрение клыков грейфера в торфяную залежь; б – грейфер закрыт со сжатым материалом
(составлено автором)

После этапа захвата выполняется отрыв захваченного сырья от монолита залежи и его погрузка в транспортный полуприцеп. Орыв захваченного сжатого материала выполняется вертикально с помощью гидроманипулятора технологического модуля.

2.7 Анализ деформационных свойств верхнего слоя торфяной залежи

В природном состоянии верхний слой торфяной залежи представляет собой сложный пористый двухфазный материал, в котором деформационные явления и прочностные характеристики во многом зависят от степени развития структур переплетения, придающих торфу упругость и высокоэластичность [10].

При нагрузках, не превышающих условный статический предел текучести, в торфе обнаруживаются лишь условно-мгновенные и медленные деформации, протекающие без разрушений структуры.

У большинства видов верхового торфа преобладает условно-мгновенная деформация ε_0 . Торф в залежи с ненарушенной структурой относится к нулевому структурно-механическому типу, где $\varepsilon_0 > \varepsilon_2 > \varepsilon_\tau$. С увеличением сдвиговых напряжений τ растет интенсивность развития деформаций (ε_0 , ε_2 и ε_τ). В большей мере это проявляется в торфе с низкой степенью разложения, высокой влажностью и пористостью [4, 10].

Наибольшей сжимаемостью отличается торф малой степени разложения, имеющий высокую пористость до уплотнения ($e \geq 25$). Под давлением 100 кПа коэффициент пористости e такого торфа уменьшается почти вдвое. Графики изменения относительной деформации λ от нагрузки σ (в пределах от 0 до 100-120 кПа) близки к прямолинейным. Скорость сжатия торфа зависит от его влажности и толщины слоя [10, 98].

Основными деформационными характеристиками торфа являются E_0 – начальный модуль сжатия, λ_{max} – максимальная относительная деформация и их произведение σ_k . По сжимаемости торф малой степени разложения относится к сильно сжимаемым – $e_0 > 20$, $E_0 < 30$ кПа, $\lambda_{max} > 0,9$ [4].

Закономерности, связывающие поведение грунта под действием нагрузки с его упругостью, пластичностью, вязкостью описываются реологическими моделями с целью получения уравнения деформации твердообразных структурированных дисперсных систем под нагрузкой при возрастающей скорости деформации [14].

Анализ процесса консолидации торфяного сырья в ковше грейфера является важным аспектом для выбора оборудования (рисунок 13, б).

Процесс уплотнения торфяного сырья челюстями грейфера можно разделить на три части:

1. упругая реакция грунта;
2. первичное уплотнение, связанное с частичным обезвоживанием при сжатии;
3. вторичное уплотнение, связанное с ползучестью скелета грунта.

Первичная консолидация вызывает наибольшее уплотнение материала. Однако для органических грунтов вторичное сжатие начинается гораздо раньше и может быть значительным и должно учитываться [85].

Применяя реологические схемы для моделирования поведения скелета грунта и связывая их с уравнением оттока поровой воды, можно описать переходный (зависящий от времени) отклик грунта с учетом вторичной консолидации органогенных вязкоупругих грунтов [78, 87, 90].

Существующие реологические модели можно разделить на две категории: феноменологические модели ползучести (такие как классический логарифмический закон) и более общие модели, которые могут быть применены к произвольным изменениям нагрузки, деформации и скорости деформации [96, 106].

Ко второму классу относятся модели, которые заменяют первоначальный упругий закон эффективного напряжения-деформации теории классической консолидации вязкоупругим законом [87].

На рисунке 14 показан образец, первоначально находящийся в равновесии под действием эффективного напряжения σ'_0 (точка A) в условиях нормального уплотнения.

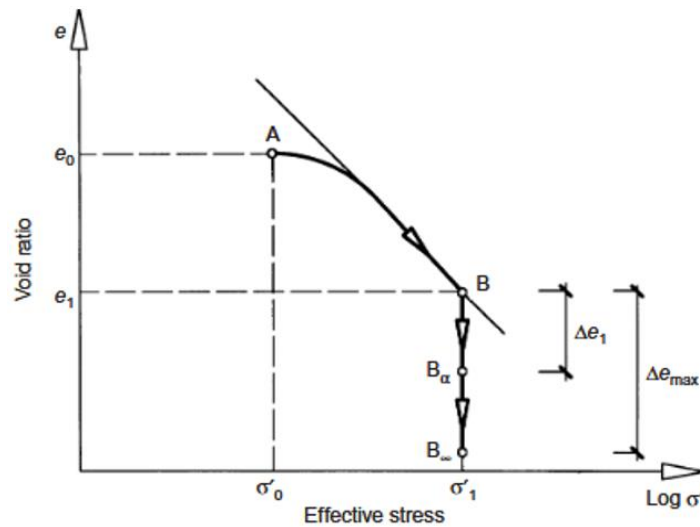


Рисунок 14 – Изменение общего коэффициента пористости с эффективным напряжением [96]

В точке A потенциал макроструктурной воды будет равен контрольному значению, которое для удобства можно обозначать как нулевое.

В течение этапа сжатия при закрытии челюстей грейфера переходный гидродинамический период будет быстрым по сравнению со скоростью вторичных реакций, макроструктура материала достигнет равновесия при новом соотношении пор e_1 , расположенном в точке B. При быстром изменении микроструктурная пористость не изменится, но начнутся вторичные эффекты – локальный процесс переноса воды (обезвоживание) (формула 10):

$$\Delta\sigma = \sigma'_1 - \sigma'_0 \quad (10)$$

В более общем случае первичные и вторичные деформации накладываются друг на друга, обеспечивая компактный феноменологический подход к описанию вторичного сжатия материала [96].

Гибсон и Ло [87] представили теорию консолидации для грунтов, демонстрирующих вторичное сжатие, которую можно рассматривать как реологическую модель, состоящую из линейной пружины, последовательно соединенной с линейным телом Кельвина-Фойгта [88].

В этой модели пружина, соединенная с телом Кельвина-Фойгта, представляет собой переходную деформацию и течение процесса консолидации материала, в то время как тело Кельвина-Фойгта представляет вторичное сжатие с его структурным вязким сопротивлением сжатию грунта.

Поскольку пружина отражает переходный характер притока воды и деформации почвенного слоя и в то же время является нагрузкой, действующей на тело Кельвина-Фойгта, очевидно, что вторичное сжатие активируется первичным уплотнением. Поскольку эта нагрузка постепенно возрастает от нуля до $\Delta\sigma$ с течением времени и по глубине слоя грунта, можно утверждать, что в начале процесса деформация, обусловленная переходным процессом оттока воды $\sigma_{упр}$, преобладает над деформацией, обусловленной структурным вязким сопротивлением сжатию $\sigma_{вязк}$. Таким образом, в начале процесса сжатия преобладает первичная консолидация материала (формула 11):

$$\sigma_{общ} = \sigma_{упр} + \sigma_{вязк}, \quad (11)$$

Деформирование экскавированного торфяного сырья зависит от степени развития и прочности пространственных структур, которые образуют обломки структур переплетения растений-торфообразователей и агрегаты продуктов распада [25]. В ковше грейфера при влажности около 90% торфяное сырье представляет собой двухфазную систему и деформируется как упруго-вязко-пластичное тело [18].

При закрытии челюстей грейфера происходит сжатие материала, с удалением воды из пор макроструктуры и последующем уплотнением скелета твердой фазы. Деформация, обусловленная сопротивлением волокнистой структуры сжатию, доминирует на поздней стадии процесса. Для адекватного описания реологического поведения таких материалов наиболее известной и распространенной является стандартная линейная твердотельная трехэлементная модель с переменным модулем упругости [18, 88].

Отличительные характеристики волокнистого торфа: уплотнение торфяного сырья малой степени разложения вызывает значительный отток жидкости из образца. Этот отток жидкости вызывает большее уменьшение или деформацию

объема слоя, что необходимо учитывать. Таким образом, для моделирования вязкоупругого поведения материалов модели пружин и демпферов были объединены с механическими элементами, учитывающими отток жидкости в материале [10].

Стандартная линейная твердотельная трехэлементная модель является типичной моделью, используемой для анализа экспериментально измеренных характеристик напряжений для получения соответствующих вязкоупругих свойств материалов [97].

Как показано на рисунке 15, стандартная твердотельная модель состоит из последовательно соединенных упругого элемента Гука (пружины) и тела Кельвина-Фойгта (структурная формула H-s-KV). Стандартная твердотельная модель представляет собой модель с тремя параметрами (E_1, E_2, η) [9, 80] и используется для описания вязкоупругого поведения ряда биологических материалов [72].

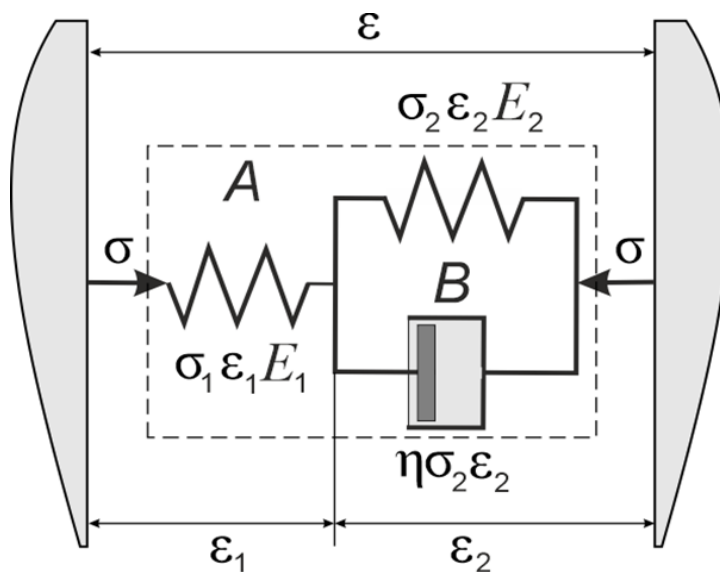


Рисунок 15 – Стандартная линейная твердотельная трехэлементная модель сжатия материала грейфером [72]

На схеме реологической модели напряжения воспринимаются упругим элементом Гука в соответствии с модулем упругости E_1 твердой фазы материала (мгновенная упругая реакция). Происходит взаимное перемещение частиц твердой фазы с уплотнением и выделением воды из порового пространства ($\sigma_1, \varepsilon_1, E_1$).

С ростом деформаций продолжается движение воды в поровом пространстве с выжиманием жидкой фазы и проявляется вязкое сопротивление, отображаемое вязким элементом Ньютона ($\sigma_2, \varepsilon_2, \eta$). Отмечается медленная упругая деформация от вторичного сжатия за счет узла Кельвина-Фойгта ($\sigma_2, \varepsilon_2, E_2$). С дальнейшим ростом деформаций уменьшается поровое пространство материала [10, 18].

После закрытия челюстей грейфера происходит релаксация напряжений в материале, давление падает.

Уравнения модели, в соответствие со схемой на рисунке 15 (формулы 12-16):

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2; \quad (12)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2; \quad (13)$$

$$\sigma = E_1 \varepsilon_1; \quad (14)$$

$$\sigma_1 = E_2 \varepsilon_2; \quad (15)$$

$$\sigma_2 = \eta \dot{\varepsilon}_2 \quad (16)$$

где σ – горизонтальная нагрузка, Па;

E_1 – мгновенный модуль упругости, Па;

E_2 – длительный модуль упругости, Па;

ε – величина деформации;

η – вязкость при сдвиге, Па·с;

$\eta \dot{\varepsilon}_2$ – сопротивление упруговязкой деформации, Па.

Функция, связывающая напряжение, деформацию и их скорость (формула 17):

$$(E_1 + E_2)\sigma + \eta \dot{\sigma} = E_1 E_2 \varepsilon + E_1 \eta \dot{\varepsilon}. \quad (17)$$

В формуле (17) $\dot{\sigma} = d\sigma/dt$ – скорость напряжения; $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt$ – скорость деформации.

Модель на рисунке 15 представлена двумя блоками, А и В, соединенными последовательно. Блок А является упругим телом, а блок В – телом Кельвина-Фойгта. В блоке А σ_A и ε_A представляют напряжение и деформацию, а σ_B и ε_B представляют напряжение и деформацию в блоке В (формулы 18-19):

$$\sigma_A = E_1 \varepsilon_A, \quad (18)$$

$$\sigma_B = E_2 \varepsilon_B + \eta \frac{d\varepsilon_B}{dt}. \quad (19)$$

С учетом последовательного соединения А и В полная деформация, испытываемая элементом грунта, в соответствии с настоящей моделью (как и в модели Gibson и Lo [87]), является суммой деформаций от первичной консолидации и деформаций от вторичной консолидации прессования [88] (формулы 20-21):

$$\varepsilon_A + \varepsilon_B = \varepsilon, \quad (20)$$

$$\sigma_A = \sigma_B = \sigma. \quad (21)$$

Подставив выражение (21) в уравнения (18) и (19), и выразим их через деформации ε_A и ε_B :

$$\varepsilon_A = \sigma/E_1, \quad (22)$$

$$\varepsilon_B = \frac{\sigma}{E_2 + \eta(d/dt)}. \quad (23)$$

После подстановки выражений (22) и (23) в уравнение (20):

$$\frac{\sigma}{E_1} + \frac{\sigma}{E_2 + \eta(d/dt)} = \varepsilon. \quad (24)$$

Используя перекрестное умножение и изменение порядка членов, получим окончательное линейное соотношение между напряжениями, деформациями и их первыми производными, соответствующее модели стандартного вязкоупругого тела [49, 93] (формула 25):

$$(E_1 + E_2)\sigma + \eta\dot{\sigma} = E_1 E_2 \varepsilon + E_1 \eta \dot{\varepsilon}. \quad (25)$$

При быстром приложении нагрузки преобладающими в (15) становятся динамические члены, содержащие производные, $\sigma \approx E_1 \varepsilon$, где $E_1 = E_d$ – динамический модуль упругости.

Поскольку торф демонстрируют зависящее от времени поведение материала, различия между реакциями упругих и вязкоупругих компонентов наиболее очевидны в условиях нагружения, зависящих от времени. (рисунок 16).

Для вязкоупругого материала полное восстановление никогда не будет достигнуто, и в материале будет остаточная деформация.

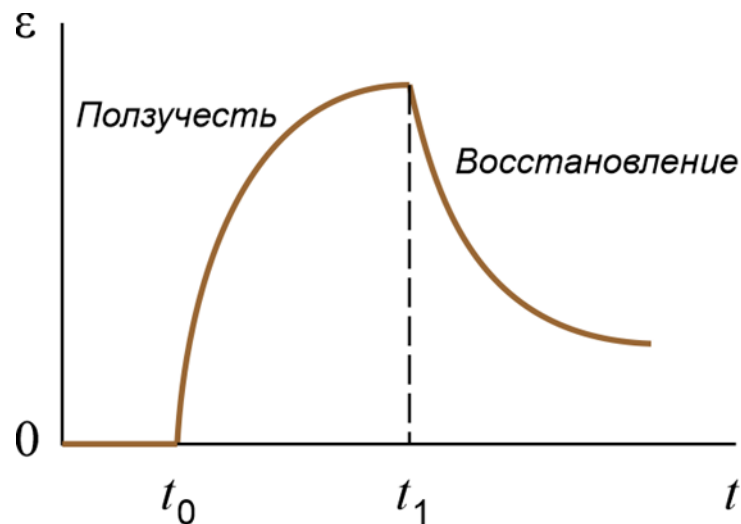


Рисунок 16 – Ползучесть и восстановление [93]

2.8 Анализ изменения объема материала при сжатии грейфером

Рассмотрим элементарный параллелепипед, размеры которого до деформации dx , dy , dz (рисунок 17) при плоское (двухосное) напряженном состоянии. На основании принципа независимости действия сил раскладываем объемное напряженное состояние на два линейных напряженных состояния [70].

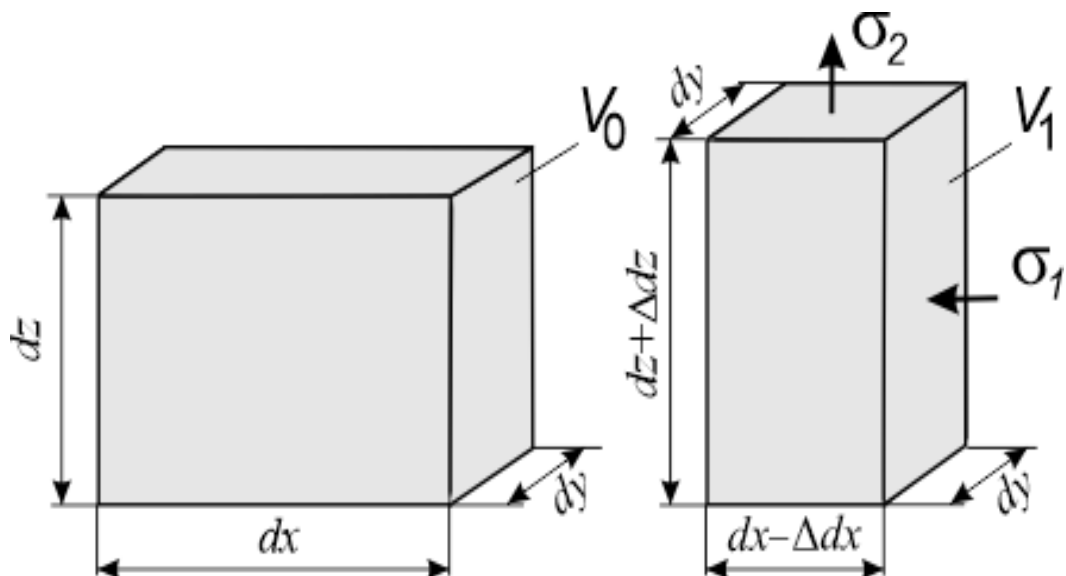


Рисунок 17 – Элементарный параллелепипед (составлено автором)

После деформации размеры двух ребер параллелепипеда изменятся и будут равны $dx - \Delta dx$, dy , $dz + \Delta dz$.

Начальный объем параллелепипеда $V_0 = dx dy dz$, а конечный после деформации составит (формула 26):

$$V_1 = (dx - \Delta dx) dy dz + \Delta dz, \quad (26)$$

Абсолютное изменение объема параллелепипеда (формула 27):

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_1 - V_0 = (dx - \Delta dx)dydz + \Delta dz - dx dydz = \\ &= dx dydz(1 - \Delta dx/dx)(1 + \Delta dz/dz) - dx dydz.\end{aligned}\quad (27)$$

Выражения в скобках равны относительным изменениям в направлении главных осей x, z (формула 28):

$$\varepsilon_1 = \Delta dx/dx, \varepsilon_2 = \Delta dz/dz. \quad (28)$$

Используя обозначения для V_0 и (17), получим (формула 29):

$$\Delta V = V_0(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2). \quad (29)$$

Так как относительные деформации являются малыми величинами, то их произведения являются уже малыми величинами второго порядка малости и ими можно пренебречь. В результате получим изменение объема (формула 30):

$$\Delta V = V_0(\varepsilon_1 - \varepsilon_2). \quad (30)$$

Относительное или удельное изменение объема (относительная объемная деформация) равна (формула 31):

$$\theta = \Delta V/V_0 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \varepsilon_x - \varepsilon_z. \quad (31)$$

Эта формула справедлива как для упругих, так и для упругопластических деформаций.

2.9 Зависимость между деформациями и напряжениями при плоском деформированном состоянии

Деформация в направлении оси x для элемента, находящегося в двухосном напряженном состоянии (рисунок 17), зависит не только от напряжения σ_x , направленного вдоль оси x , но и от напряжения, действующего по оси z (что обусловлено эффектом Пуассона).

Предполагая, что для материала соблюдается закон Гука, получим, что деформация в направлении оси x , обусловленная напряжением σ_x , равна σ_x/E , а напряжение σ_z дает деформацию $-\nu\sigma_z/E$ (E – модуль упругости первого рода; ν – коэффициент Пуассона).

Таким образом, если оба напряжения σ_x и σ_z возникают одновременно, то деформация в направлении оси x будет (формула 32):

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \sigma_x. \quad (32)$$

Деформация в направлении оси y $\varepsilon_y=0$.

Деформация в направлении оси z (формула 33):

$$\varepsilon_z = -\frac{\nu}{E} \sigma_x. \quad (33)$$

Выражения (32) и (33) выражают обобщенный закон Гука для плоского (двухосного) напряженного состояния [9].

По известным деформациям ε_x и ε_z , можно решая уравнения (32) и (33) относительно напряжений σ_x и σ_z , получить (формула 34):

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x - \nu \varepsilon_z). \quad (34)$$

Вычислить изменение объема при плоском (двухосном) напряженном состоянии тела. Размеры деформируемого тела в направлении осей x и z изменяются соответственно в отношения (формула 35):

$$(1 + \varepsilon_x):1 \text{ и } (1 + \varepsilon_z):1, \text{ при } \varepsilon_y = 0. \quad (35)$$

Таким образом, объем тела увеличится в отношении (формула 36):

$$(1 + \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_z):1 \quad (36)$$

или (если пренебречь малыми величинами высшего порядка) в отношении (формула 37):

$$(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_z):1 \quad (37)$$

Следовательно, относительное изменение объема равно (формула 38):

$$\Delta V/V = \varepsilon_x + \varepsilon_z. \quad (38)$$

Подставляя в выражение (38) соотношения (32) и (33), получим выражение для относительного изменения объема при двухосном напряженном состоянии (формула 39):

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{E} (1 - \nu) \sigma_x. \quad (39)$$

Торфяные грунты с большим коэффициентом пористости (высоким содержанием воды) испытывают большие консолидационные осадки при нагрузке, превышающей их давление предварительного уплотнения.

Это объясняется двумя основными причинами: грунт более проницаем в горизонтальном направлении; сопротивление структуры грунта деформации маскирует гидродинамический эффект.

2.10 Анализ формы зубьев грейфера

В работе [104] проведен анализ эффективности формы рабочих элементов вильчатого грейфера.

Экспериментальные данные подтвердили, что эффективность захвата горизонтальными эллипсоидными зубьями выше, чем при захвате круглыми или вертикальными эллипсоидными. Наименьшее сопротивление захвату было достигнуто при использовании зубьев грейфера с формой горизонтального эллипса (рисунок 18).

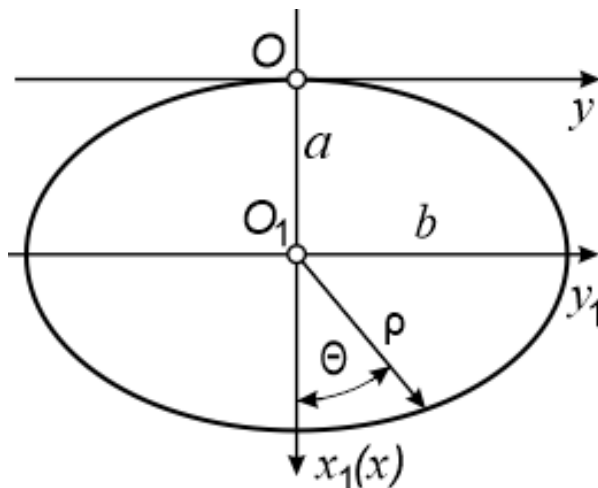


Рисунок 18 – Форма горизонтального эллипса челюсти грейфера [22]

Каноническим уравнением эллипса считается следующее уравнение [22] (формула 40):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (40)$$

Для горизонтального эллипса при $a < b$ (формула 41):

$$\frac{x_1^2}{a^2} + \frac{y_1^2}{b^2} = 1 \quad (41)$$

Шарнир грейферного захвата располагается в верхней части грейфера в точке О, как показано на рисунке 17. Если ось y_1 перевести на ось y , то образуется новая

координата xOy . Уравнение эллипса со смещенным центром, может быть выражено через координату xOy (формула 42):

$$\frac{(x - a)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (42)$$

Продифференцировав уравнение (42) с обеих сторон, получим (формула 43):

$$\frac{d_y}{d_x} = -\frac{b^2}{a^2} \frac{x - a}{y}. \quad (43)$$

После подстановки $x - a = \rho \cos \theta, y = \rho \sin \theta$, полярное уравнение (43) имеет вид (формула 44):

$$\frac{d_y}{d_x} = -\frac{b^2}{a^2} \operatorname{ctg} \theta, \quad (44)$$

где ρ – полярный радиус;

θ – полярный угол.

Эллипсоидная форма челюстей грейфера кроме снижения сопротивления захвату материала, обеспечивает и равнопрочность челюстей.

2.11 Процесс внедрения в залежь рабочих элементов вильчатого грейфера

Внедрение рабочих элементов грейфера в торфяной массив осуществляется посредством гидроманипулятора технологического модуля. Усилие от гидроцилиндров гидроманипулятора передается рабочему органу для осуществления внедрению зубьев грейфера в торфяную залежь.

Удельная работа, затраченная на деформацию грунта в зонах взаимодействия, определяется усилием, необходимым для преодоления сил сопротивления вертикальному внедрению зубьев в торфяной массив. Сопротивление внедрению элементов рабочего органа является основным фактором при выборе их формы и размеров (формула 45):

$$R_{\text{вн}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4, \quad (45)$$

где $R_{\text{вн}}$ – полное сопротивление внедрению, Н;

R_1 – сопротивление, возникающее в результате трения торфяной залежи о материал рабочего органа, Н;

R_2 – сопротивление, возникающее в результате сжатия массы заостренной частью рабочего органа, Н;

R_3 – сопротивление, возникающее в результате разрезания (прокалывания, разрыва) структурного скелета залежи, Н;

R_4 – сопротивление, возникающее в результате сообщения живой силы частицам массы при расталкивании их рабочим органом в стороны от направления погружения, а также в результате некоторого запаздывания при распространении деформации массы по сравнению со скоростью погружения, Н.

В процессе внедрения рабочего элемента в торфяную залежь происходит образование ядра уплотнения перед рабочей кромкой.

В результате анализа составляющих выражения (45) имеется [38] (формула 46):

$$R_{\text{вн}} = f q_k (\cos(x/2) + \sin(x/2)) F_k + f q_{\text{ц}} F_{\text{ц}} + F v^2 k_v, \quad (46)$$

где q_k и $q_{\text{ц}}$ – удельное давление на коническую и цилиндрическую части наконечника рабочего органа соответственно, Па;

F_k и $F_{\text{ц}}$ – площади конической и цилиндрической частей наконечника элемента рабочего органа, м²;

F – лобовая проекция наконечника рабочего органа, м²;

f – коэффициент трения торфяной залежи о материал рабочих элементов;

v – скорость погружения, м/с;

k_v – коэффициент, зависящий от формы наконечника зуба.

На этапе внедрения рабочего органа в торфяную залежь основными конструктивными параметрами, влияющими на проникающую способность рабочего органа, является угол заострения концевой участка элемента рабочего органа и его форма.

Уплотненное ядро образуется перед кромкой рабочего органа и представляет собой часть грунта, сформированной на поверхности рабочего органа, взаимодействует с ним как одно целое. При этом дальнейшее взаимодействие рабочего органа с грунтовой средой происходит посредством уплотненного грунтового нароста. Очевидно, что в процессе взаимодействия рабочего органа с

грунтом отсутствие или наличие ядра уплотнения оказывает значительное влияние на энергоемкость данного процесса. Образование ядра уплотнения перед движущимся профилем, безусловно, оказывает дополнительное сопротивление, так как при этом происходит трение грунта о грунт, имеющее более высокое значение, чем трение грунта о сталь [8, 30, 68].

При внедрении штампа с наконечником тороидальной формы не наблюдалось формирования ядра уплотнения, размеры зоны уплотнения имели меньшие размеры, при этом наименьшее усилие у штампов, образованных дугой окружности, лежит в пределах образующего радиуса от 200 – 500 мм [31].

Угол заострения выбирается исходя из практики работы сельскохозяйственных машин, в которых угол заострения наконечников рабочих органов варьируется от 20° до 45° .

На основе теоретических исследований выбраны параметры наконечников рабочих элементов вильчатого грейфера: наконечник с формой, образованной дугой окружности 200 мм, с углом заострения 20° .

Для определения усилия, необходимого на реализацию процесса внедрения требуется проведения экспериментальных исследований. После установления величина сравнивается с техническими характеристиками выемочно-транспортного модуля.

2.12 Процесс смыкания челюстей грейфера при захвате органогенного материала

Закон уплотнения Терцаги является одним из основных законов механики грунтов, основанным на допущении о том, что деформации грунта происходят, в основном, за счет изменения его пористости [64].

Анализ стабилизированных в указанном выше смысле графиков испытания основания штампом позволяет выделить следующие фазы напряженно-деформированного состояния грунта: 0 – фаза упругих деформаций; I – фаза уплотнения; II – фаза сдвигов; III – фаза выпора.

Фаза упругих деформаций характеризуется уровнем напряжений в скелете грунта, не превышающим прочность структурных связей между минеральными частицами грунта. Деформации грунта в этой фазе обратимы и пренебрежимо малы, т.к. обусловлены сжимаемостью минеральных частиц.

Фаза уплотнения соответствует уровням напряжений в грунте, в диапазоне которых процесс его деформирования подчиняется закону уплотнения Терцаги.

При разгрузке штампа из диапазона давлений, соответствующего фазе уплотнения, грунт деформируется по линейной зависимости. При полной разгрузке штампа возникает пластическая деформация.

Фаза сдвигов характеризует начало образования в грунте зон предельного равновесия. Зоной предельного равновесия в грунте называют геометрическое место точек, в которых не удовлетворяются условия прочности Кулона – Мора. Первоначально эти зоны образуются по краям штампа, где имеет место концентрация напряжений. Разрушение грунта сопровождается большими сдвиговыми деформациями, что нашло отражение в названии рассматриваемой фазы напряженно-деформированного состояния грунта. Уплотнение грунта в этой фазе практически не происходит. Грунт считается несжимаемым, а коэффициент Пуассона в этой фазе близок к 0,5. Давление на грунт, соответствующее началу фазы сдвигов начальным критическим давлением.

Фаза выпора является следствием развития фазы сдвигов в области грунтового массива, являющегося основанием штампа, с образованием поверхностей скольжения. В результате движения штампа деформации происходят без увеличения нагрузки за счет перемещения грунта основания из-под штампа по плоскостям скольжения с выходом на поверхность грунтового массива. При этом вокруг штампа происходит поднятие (выпор) грунта. Непосредственно под штампом в фазе выпора образуется коническая переуплотненная зона, называемая ядром жесткости. Прочность этой зоны обусловлена боковыми давлениями со стороны окружающего грунта, находящегося в состоянии пластического течения.

Основными технологическими требованиями при захвате сырья являются компактирование материала при смыкании челюстей без разрушения структурных

связей внутри межчелюстного пространства и преодоление силы сопротивления сдвигу захватываемой порции сырья с образованием плотного компакта до наступления стадии выпора материала.

На рисунке 18 приведена расчетная схема силовых показателей процесса захвата и отделения торфяного сырья от залежи вильчатым грейфером после внедрения зубьев в торфяную залежь на глубину h .

При повороте челюсти грейфера вокруг т. О на угол φ конец зуба грейфера перемещается по криволинейной траектории из т. А в т. С на величину L (рисунок 19).

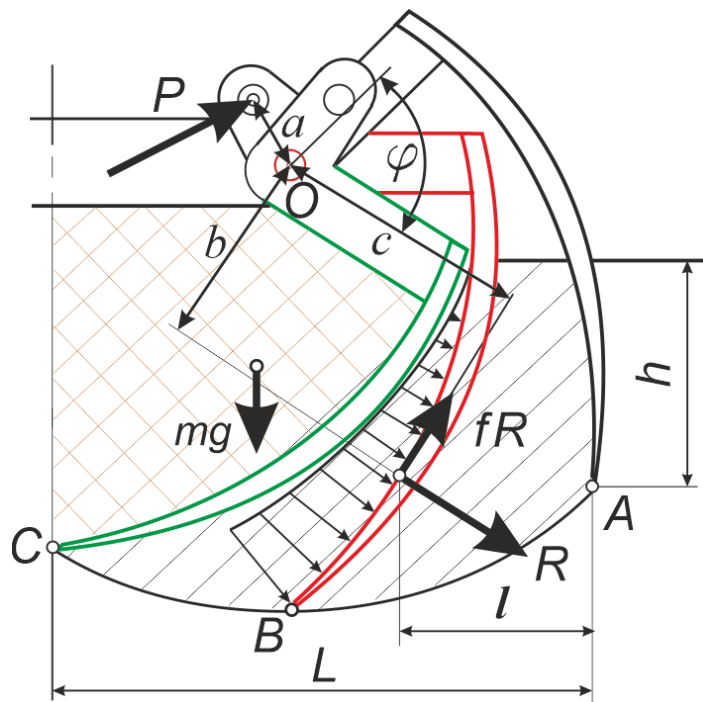


Рисунок 19 – Расчетная схема силовых показателей процесса захвата и отделения торфяного сырья от залежи вильчатым грейфером (составлено автором)

Уравнение моментов сил, действующих на зуб грейфера при компактировании материала в межчелюстном пространстве [39] (формула 47):

$$\Sigma M_O(\varphi) = 0; Pa(\varphi) = Rb(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi). \quad (47)$$

где P – сила, необходимая для смыкания челюстей грейфера и отделения торфяного материала от залежи, Н;

R – сосредоточенная сила от распределенной нагрузки на зуб (компонент сопротивления залежи), Н;

a, b, c, l – плечи действия сил относительно оси вращения зуба, м;

f – коэффициент трения между торфом и зубом грейфера, $f = 0,5$.

Сила P , необходимая для смыкания челюстей грейфера (формула 48):

$$P = \frac{1}{a(\varphi)} [Rb(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi)], \quad (48)$$

Важным этапом является определение необходимого шага расположения зубьев вильчатого грейфера для осуществления захвата сырья с образованием единого тела волочения.

2.13 Определение влияния расстояния между двумя вертикальными профилями на сопротивление резанию

Правильное и точное определение границ взаимного влияния двух вертикальных профилей, которые в свою очередь влияют на сопротивление компактированию волокнистого материала и, в конечном итоге, определяют выбор мощности трактора. Неправильный выбор расстояния между зубьями грейфера приведет к увеличению сопротивлений компактированию, потере производительности и повышению энергоемкости процесса [63].

Процесс компактирования органогенного сырья двумя раздвигаемыми профилями можно разделить на два варианта в зависимости от расстояния между профилями (рисунок 20).

При раздвигании зубьев на расстояние a образуется раковина общая для двух зубьев; грунт внутри листов не проходит, и межпрофильное пространство по всей глубине компактирования заполнено грунтом только в передней части; грунт деформируется по обеим сторонам щели, образуя выпуклости грунта.

Все эти явления характерны для сплошного сжатия (формула 49):

$$P_{\text{комп}} = P[1 + 0,1(2b + a)], \quad (49)$$

где $P_{\text{комп}}$ – сопротивление компактированию с помощью одной челюсти, Н;

P – сопротивление компактированию с помощью одного зуба, Н;

b – толщина зуба, м;

a – расстояние между зубьями, м.

При раздвигании профилей на расстояние больше a сопротивление компактированию резко возрастает. В начале грунт между зубьями не разрушается,

далее взаимосвязь между отдельными зубьями теряется, процесс продолжается с образованием самостоятельных щелей.

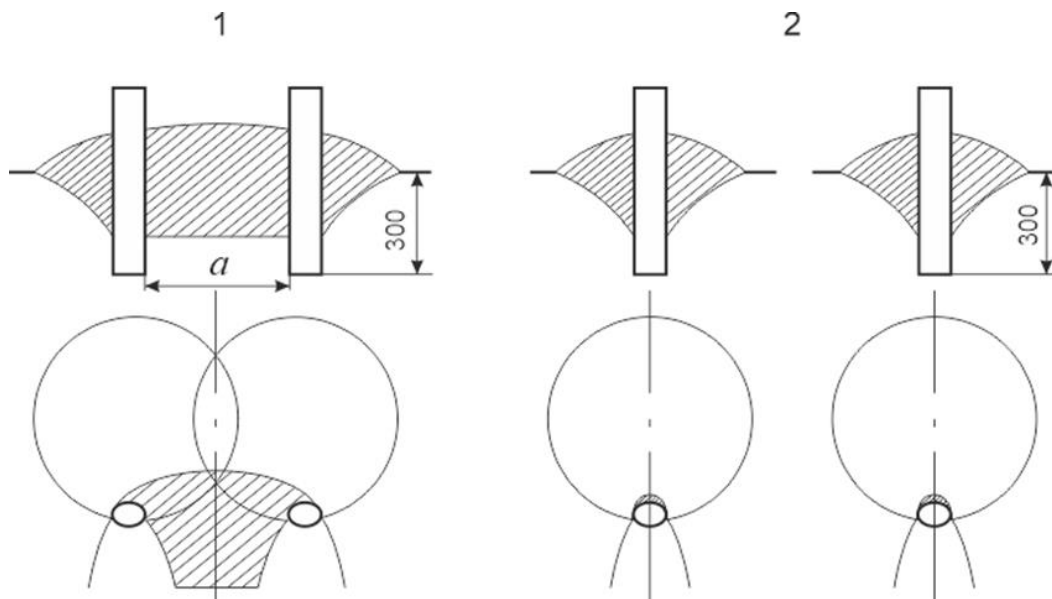


Рисунок 20 – Процесс захвата материала [63]

При обеспечении сохранения структурных свойств материала при выемке, целесообразно процесс компактирования сырья при захвате с помощью вильчатого грейфера осуществлять по первому варианту. Расстояние между зубьям грейфера соответствующее первому варианту будет установлено экспериментально.

2.14 Процесс отрыва захваченного органогенного материала из залежи

Основными технологическими требованиями при отрыве сырья из залежи являются преодоление сил сопротивления отрыву и обеспечение устойчивости выемочно-транспортного модуля.

Исходя из выбранных параметров структурных единиц выемочно-транспортного модуля установлено, что устойчивое состояние модуля при вылете стрелы 4,3 м (образование двух рядов лагун в одном блоке) обеспечивается при грузоподъемности 550 кг, что соответствует грузоподъемности грейфера FLO-10 (рисунок 8).

Усилие отрыва захваченного сжатого объема материала (формула 50):

$$G_o = q_{\text{осн}} F_{\text{осн}} + q_{\text{бок}} F_{\text{бок}} = kg(m_{\text{г}} + m_{\text{сыр}}), \quad (50)$$

где $q_{\text{осн}}$, $q_{\text{бок}}$ – удельное сопротивление отрыву сырья из залежи по основанию и боковым поверхностям порции сырья соответственно, Н;

$F_{\text{осн}}, F_{\text{бок}}$ – площадь основания и боковой поверхности соответственно, м^2 ,

k – коэффициент отрыва;

$m_{\text{г}}$ – масса грейфера, кг;

$m_{\text{сыр}}$ – масса сырья в грейфере, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Для снижения энергоемкости процесса отрыва с помощью уменьшения усилия вертикальной выемки массы уплотненного торфяного сырья возможна путем уменьшения удельного сопротивления по боковой поверхности с помощью обработки резанием.

Применение в современной практике процессов резания позволяет установить сходство и даже единство основных физико-механических свойств материалов, по отношению к которым рационально применим тот или иной вид обработки.

Резником Н.Е. [52] установлено, что для упруго вязких тел растительного происхождения, в которых основные структурные единицы ткани с пространственной волокнистой системой, в полостях которой содержатся жидкость и газы, рациональным видом обработки резанием является резание лезвием.

Резание лезвием возможно только при наличии противорежущей реакции усилию резания со стороны разрезаемого материала – режущего подпора.

Лезвие и режущий подпор образуют режущую пару, анализа функционирования режущей пары проведен на основе анализа режущих аппаратов. Исходя из анализа физико-механических свойств органогенного сырья выбраны плосковращательная режущая пара.

Аналитическое исследование различных форм ножей для плосковращательных аппаратов проведен акад. В.П. Горячкиным [11].

Из всего многообразия режущих аппаратов выбрана режущая пара, в которой лезвие и подпор выполнены в форме логарифмической спирали. В любой точке логарифмической спирали угол между касательной к ней и радиусом-вектором

сохраняет постоянное значение. Угол резания τ остается постоянным при повороте челюсти грейфера [52].

Крайние зубья челюстей снабжены дополнительными боковыми стенками и центральным ножом, служащий подпором с криволинейной режущей кромкой для перерезания волокон торфяного сырья.

2.15 Выводы по Главе 2

1. В комплект оборудования для реализации блочной технологии поверхностной выемки включены: тягового-энергетическое средство – трактор Беларус-662; транспортное средство – самосвальный полуприцеп 1-ПТС2; комбинированный телескопический гидроманипулятор – Атлант-90; вилчатый грейфер FLO-10.

2. В рамках схемного решения блочной технологии поверхностной выемки торфяного сырья рабочая зона месторождения разделена на технологические участки, в которых выделены функциональные элементы системы разработки – транспортная полоса и две параллельные выемочные области. Выемочные области разделены на блоки, которые разрабатываются методом лагун.

3. Проведен системный анализ функционирования двухчелюстного вилчатого грейфера при выемке органогенного сырья из торфяной залежи с определением технологических требований для реализации этапа захватывания сырья, состоящего из стадии внедрения зубьев грейфера в залежь и компактирования сырья в межчелюстном пространстве, и этапа отрыва захваченного сырья из торфяного массива.

4. Основными техническими параметрами, влияющими на энергоемкость процесса внедрения, являются угол заострения зуба и форма наконечника. Основным технологическим требованием в процессе внедрения элементов грейфера является преодоление силы сопротивления внедрению. Выбраны параметры наконечников рабочих элементов вилчатого грейфера: наконечник с формой, образованной дугой окружности 200 мм, с углом заострения 20° , что соответствует техническим параметрам грейфера FLO-10.

5. В процессе смыкания челюстей грейфера происходит захват сырья в межчелюстном пространстве, его компактирование при закрытии грейфера. Основными технологическими требованиями являются компактирование материала без нарушения структурных связей при смыкании челюстей и преодоление силы сопротивления сдвигу захватываемой порции сырья с образованием плотного компакта.

6. Основными технологическими требованиями при отрыве сырья из залежи являются преодоление сил сопротивления отрыву и обеспечение устойчивости выемочно-транспортного модуля. Исходя из выбранных параметров структурных единиц выемочно-транспортного модуля установлено, что устойчивое состояние модуля при вылете стрелы 4,3 м обеспечивается при грузоподъемности 550 кг.

7. Проведен анализ варианта уменьшения энергоемкости процесса отрыва захваченного материала из залежи с помощью обработки боковой поверхности резанием. Предлагается установить на грейфер режущие пары по боковым поверхностям, которые имеют центральный противорежущий подпор и ножи с лезвиями, выполненными по логарифмической спирали, которые установлены на челюстях.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Разработка программы проведения экспериментальных исследований

На основе анализа научно-технической литературы, в соответствии с поставленной целью и задачами диссертации разработана программа экспериментальных исследований:

1. Проведение эксперимента по определению интенсивности восстановления растительного слоя торфяной залежи в условиях натурального месторождения с применением принципов палудикультуры.

2. Определение прочностных характеристик верхнего слоя торфяной залежи в условиях натурального месторождения, проведение штамповых испытаний на поверхности торфяной залежи.

3. Определение усилия, необходимого для преодоления сопротивления залежи внедрению полномасштабной модели рабочего элемента – зуба вильчатого грейфера;

4. Проведение экспериментальных исследований по компактированию сырья ненарушенной структуры с имитацией взаимодействия с челюстями вильчатого грейфера.

5. Определение усилия, необходимого для компактирования материала с коэффициентом 2 (величина компактирования выбиралась из геометрических параметров грейфера типа FLO), в условиях натурального месторождения с помощью полноразмерной модели челюсти грейфера;

6. Определение рационального шага расположения зубьев грейфера в челюсти для осуществления захвата порции сырья с образованием единого тела волочения.

7. Определение усилия отрыва захваченной порции торфяного сырья из массива с помощью натуральной модели двухчелюстного вильчатого грейфера с обработкой резанием боковых поверхностей и без.

На первом этапе выбрано торфяное месторождение, где будут осуществляться полевые исследования и проводится отбор проб для лабораторных

исследований. Разработаны программа и методика проведения экспериментальных исследований в полевых и лабораторных условиях.

На втором этапе проведена экспедиция на торфяное месторождение «Камешки» (Ленинградская область); был проведен эксперимент по определению интенсивности восстановления верхнего слоя торфяной залежи в условиях неосушенного месторождения и определены физико-механические свойства верхнего слоя торфяной залежи, проведен отбор проб для проведения эксперимента в лабораторных условиях.

На третьем этапе проводилось проектирование и изготовление лабораторного стенда, проводился эксперимент в лабораторных условиях по определению зависимости деформации сырья с ненарушенной структурой от прилагаемой нагрузки; проводился анализ деформационных характеристик сырья при его компактировании.

На четвертом этапе были изготовлены полномасштабные модели вильчатого грейфера для проведения полевых испытаний.

На пятом этапе проведена повторная экспедиция на торфяное месторождение «Камешки», определены основные закономерности при реализации процессов внедрения зуба грейфера в торфяную залежь, компактирования сырья с коэффициентом 2 при захвате сырья, отрыва захваченного материала из торфяного массива с обработкой боковых поверхностей резанием и без обработки.

3.2 Характеристика торфяного месторождения «Камешки»

Исследования проводились на торфяном месторождении Государственного лесного фонда «Камешки», координаты 60°12'47"N 30°07'40"E; Северо-Западная часть Ленинградской области.

Торфяная залежь верхового типа, в верхних генетических горизонтах залегает *Sphagnum magellanicum* и *fuscum* торф малой степени разложения до 10%. Участок месторождения располагается на высоте 71 м над уровнем моря.

По данным геологоразведки общая толщина торфяной залежи составляет 3-5 м, которая располагается на подстилающем минеральном грунте – суглинке.

Из анализа климатических условий Северо-Западного региона России, установлено, что солнечная радиация максимальна в период с мая по сентябрь, при средней температуре воздуха от 10 °С. Осадки (дождь) максимальны летом и осенью, количество осадков в обозначенный период достигает 450 мм, в зимние месяцы осадки выпадают преимущественно в виде снега (до 250 мм). Энергия ветра (скорость) обычно умеренная (среднемесячная скорость ветра 4-5 м/с), а максимальная скорость приходится на месяцы с низкой солнечной активностью (сентябрь - май) [46, 50].

3.3 Разработка методики проведения экспериментальных исследований

Для исследования интенсивности восстановления верхнего слоя торфяной залежи в условиях неосушенного натурального месторождения требуется выполнить несколько выемок сырья равного объема с ежегодным мониторингом их состояния.

Для определения физико-механических свойств залежи необходимо провести испытания верхнего слоя торфяной залежи на сдвиг и смятие в полевых условиях, в ходе которых получены данные необходимые для оценки прочностных характеристик органогенного материала [7].

Для проведения лабораторных исследований по компактированию сырья ненарушенной структуры необходимо выполнить отбор проб органогенного материала и подготовить лабораторный стенд.

Для определения сил сопротивления торфяной залежи внедрению, компактированию и отрыву захваченной порции торфяного сырья требуется разработка экспериментальных моделей в натуральном масштабе и подготовка стендов для проведения экспериментов в условиях натурального месторождения.

3.3.1 Методика проведения экспериментальных исследований в полевых условиях на первом этапе

Экспериментальные исследования в полевых условиях на первом этапе необходимо осуществлять по установленным пунктам и алгоритму.

1. Для успешного выполнения исследований экспериментальных исследований в полевых условиях выбрать необходимый инструментарий:

- таз объемом 15 л для емкости при отборе проб;
- штыковая лопата;
- линейка 1 м

2. Выбрать ровную площадку на поверхности залежи и разделить ее на три участка.

3. Разделить первый выбранный участок на четыре части с размерами 0,6х0,6 м с бермой-перемычкой между ними. В во всех частях при помощи лопаты произвести отделение верхнего растительного слоя от торфообразующего органогенного слоя на глубину 0,3 м. Зафиксировать результат фотографиями.

4. Во второй части выбранного участка торфяной залежи без нарушения несущего слоя залежи произвести испытания на сдвиг на глубину 0,4 м с шагом 0,1 м. Измерения произвести в трех точках участка и записать в протокол испытаний.

5. В неповрежденном месте второго участка произвести испытания пенетрометром *Eijkelkamp 0601SA* в трех разных местах участка. Результаты записать в протокол.

6. В третьем участке при помощи лопаты и измерительного инструмента очертить контур монолита. Произвести выемку монолита верхнего слоя торфяной залежи и поместить в таз объемом 15 л с размерами монолита 0,2х0,2х0,3 м.

3.3.1.1 Эксперимент по определению интенсивности самовосстановления растительного покрова торфяной залежи в условиях натурального месторождения

На первом участке выполнены 4 лагуны размерами 0,6х0,6 м на глубину 0,3 м с образованием берм-перемычек между лагунами (рисунок 21).

В первую и четвертую лагуны сразу после выемки, для увеличения интенсивности восстановления растительного слоя, проводилась инокуляция измельченного сфагнома.



Рисунок 21 – Эксперимент по определению интенсивности восстановления растительного слоя (составлено автором)

3.3.1.2 Методика определения физико-механических свойств поверхностного слоя торфяной залежи

Для испытаний при зондировании торфяных залежей применен сдвигомер-крыльчатка конструкции Калининского политехнического института СК-10 для испытания слабых грунтов [4].

Сдвигомер-крыльчатка СК-10 (рисунок 22) состоит из четырехлопастной крыльчатки, которая крепится через переходник с зубчатым зацеплением к наращиваемым штангам. Для измерения крутящего момента динамическая рукоятка свободно насажена на бронзовую втулку, которая прикреплена к упору. Втулка с упором крепится к штангам вилкой. Упругая пластина вставлена в пазы упора на цилиндрический штифт [18].

Деформация пластины при повороте рукоятки с призмой фиксируется индикатором часового типа, который неподвижен по отношению к упору.

Испытание заключается в измерении максимального крутящего момента, возникающего при срезе грунта во время вращения в нем крестообразной лопасти.

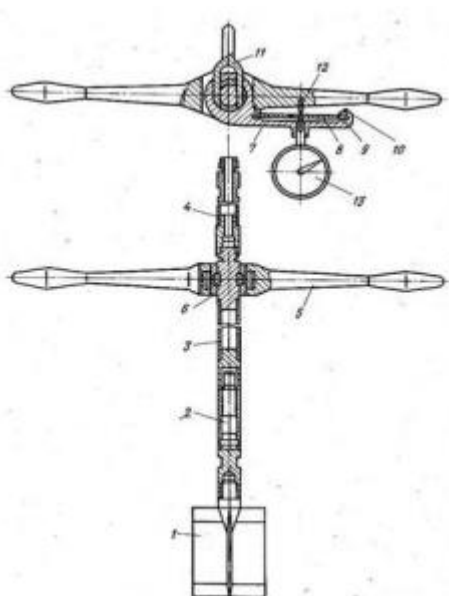


Рисунок 22 – Сдвигомер-крыльчатка СК-10: 1 – крыльчатка; 2 – корпус; 3 – штанга; 4 – втулка крепления; 5 – рукоятка; 6 – втулка; 7 – корпус динамометра; 8 – плоская пружина; 9 – призма; 10 – крепление пружины; 11 – вилка для фиксации корпуса динамометра на штанге; 12 – нажимное устройство; 13 – индикатор часового типа [18]

Предварительно в лабораторных условиях была проведена тарировка упругой пластины сдвигомера-крыльчатки СК-10. Тарировочный график представлен на рисунке 23.

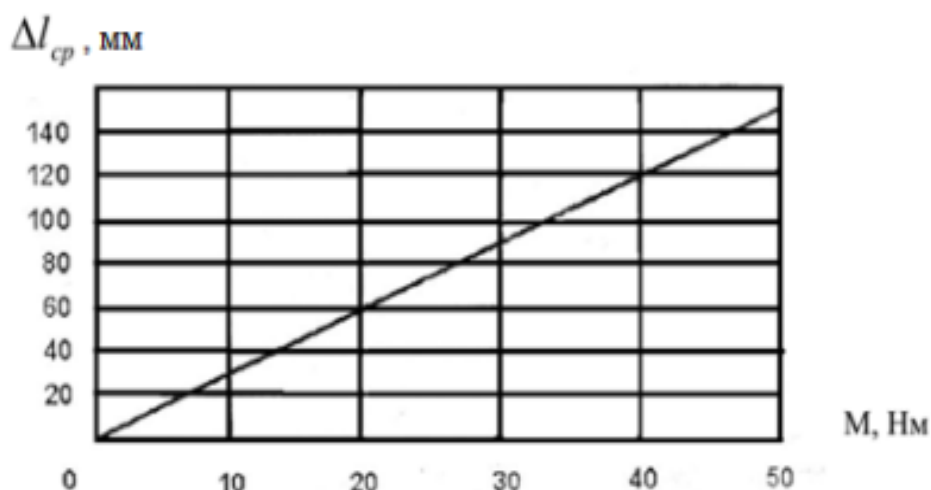


Рисунок 23 – Тарировочный график упругой пластины сдвигомера-крыльчатки СК-10 (составлено автором)

Постоянная упругой пластины сдвигомера-крыльчатки СК-10 составила 3,0 дел/Н (формула 51):

$$n = \frac{\Delta l}{M}, \quad (51)$$

где M – крутящий момент, Н/м;

Δl – показания индикатора сдвигомера-крыльчатки СК-10;

n – постоянная упругой пластины.

В опытах использовалась крыльчатка диаметром d , равным 0,054 и высотой 0,1 м.

Постоянная крыльчатки определяется как выражение K составляет (формула 52):

$$K = \frac{\pi d^2}{2} \left(\frac{d}{a} + h \right), \quad (52)$$

где a – постоянный параметр, принимаемый равным 3 при сдвиге на поверхности грунта и в его толщине;

h – высота крыльчатки, равная 0,10 м;

$d = 0,054$ м – диаметр крыльчатки.

$$K = \frac{\pi \cdot 0,054^2}{2} \left(\frac{0,054}{3} + 0,1 \right) = 0,00054 \text{ м}^3.$$

Формула для расчета сопротивления грунта сдвигу (формула 53):

$$\tau = \frac{\Delta l}{Kn}, \quad (53)$$

Измерения сопротивления грунта q проникновению [16] (показатель конусности) были выполнены с помощью пенетromетра *Eijkelkamp 0601SA* (рисунок 23) с коническим наконечником с площадью основания 40 см², с углом конуса 60°. Измерения проводились до глубины 1,0 м с шагом 0,1 м [18].

Значение удельного сопротивления грунта (формула 54):

$$q = F/S, \quad (54)$$

где F – сила, измеренная динамометром пенетromетра *Eijkelkamp 0601SA*, кгс;

S – площадь боковой поверхности конуса, м².



Рисунок 24 – Пенетрометр *Eijkelkamp 0601SA* (составлено автором)

3.3.1.3 Нарботка опытных образцов торфяного сырья

Проведена заготовка натуральных монолитов ненарушенного верхнего слоя торфяной залежи размером 0,2х0,2х0,3 м (рисунок 25).

Выемка монолита образца верхнего слоя торфяной залежи производилась следующим образом. Очерчивался периметр монолита размерами 0,2х0,2 м, поводится выемка грунта по периметру на ширину лопаты на глубину 0,3 м. Основание подрезается ножом.



Рисунок 25 – Образцы ненарушенного материала из верхнего слоя торфяной залежи (составлено автором)

Образцы были доставлены в Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II для проведения лабораторных исследований в лабораторию торфяной механики.

3.4 Методика проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях

В лабораторных условиях проводился эксперимент по имитации компактирования сырья при захвате с помощью вильчатого грейфера в естественных условиях. Экспериментальные исследования процесса деформации образца торфяной залежи проводились в условиях двухосного напряженного состояния. Для испытаний использовались предварительно подготовленные образцы грунта ненарушенной структуры и натуральной влажности 90%.

Нагружение испытываемого образца грунта производилось равномерно, увеличивая нагрузку непрерывно с заданной скоростью деформирования образца грунта [74]. Данный метод позволяет получить не единичные точки, принадлежащие компрессионной кривой, а гладкую зависимость.

Испытание проводилось до уплотнения материала с коэффициентом $k=2$ (исходя из параметров вильчатых грейферов FLO).

Скорость деформирования – 1,7 мм/с. Диапазон горизонтальной деформации образцов 0 – 90 мм. Размеры образца: длина 180 мм; ширина 180 мм; высота 225 мм.

Для экспериментальной проверки было сконструировано и изготовлено устройство (рисунок 26), позволяющее испытывать образцы в режиме двухосного сжатия. Образец ненарушенного материала из верхнего слоя торфяной залежи помещался вертикально в стальную камеру с водопроницаемым дном и открытым верхом. Передняя часть камеры ограничена сеткой.

Для обеспечения возможности оттока жидкости из порового пространства, предусмотрена перфорация штампов или стенок прибора. Основное условие – высокая жесткость боковых стенок и штампа. Во избежание перекоса штампа и возможного подклинивания в конструкции применяется направляющий шток, обеспечивающий плоскопараллельное перемещение штампа – именно это перемещение является величиной, измеряемой в ходе опыта.

Силы трения в горизонтальном направлении, возникающие между образцом и стенками, так же искажают распределение горизонтальных напряжений, однако это не оказывает существенного влияния на результат опыта.

Горизонтальное деформирование образца проводилось пуансоном с тягой, пропущенной сквозь образец. Перемещение пуансона производилось при помощи талрепа, соединенного с механическим динамометром растяжения ДПУ-0,5-2 с ценой деления 5 кг, соответствующего 2-му классу точности, и предназначенного для работы в помещениях лабораторного типа при температуре окружающей среды от + 10 до + 35 и относительной влажности воздуха не более 80%.

Вид испытательного устройства приведен на рисунке 26.



Рисунок 26 – Вид испытательного устройства (фото автора)

Площадь деформирования 0,0405 м². Шаг деформирования 10 мм

3.5 Методика проведения экспериментальных исследований в полевых условиях на пятом этапе

1. Исследование процесса внедрения элемента грейфера в грунт и определение значения необходимого усилия для преодоления сопротивления их погружению на глубину до 0,3 м.

Вертикальное усилие внедрения модели зуба грейфера измерялось при помощи механического динамометра сжатия ДОСМ-3-0,2 (рисунок 27) [57].

Наименьший предел измерения динамометра 0,2 кН, а наибольший – 2,0 кН. Цена деления – 0,01; погрешность $\pm 0,5\%$.



Рисунок 27 – Внедрение модели зуба в массив (фото автора)

Экспериментальная модель зуба является полноразмерной моделью зуба грейфера (рисунок 28).



Рисунок 28 – Полномасштабная модель зуба (фото автора)

Модель выполнена из двух стальных прутков (сталь 09Г2С) $\varnothing 20$ мм и длиной 660 мм, сваренных параллельно, с изгибом по радиусу 460 мм и с заточкой плоской режущей кромки.

2. Исследование процесса преодоления сопротивления сдвигу торфяной залежи.

Целью эксперимента являлась установление факта сдвига материала при горизонтальном перемещении рабочего элемента грейфера в массиве с установлением усилия, необходимого для преодоления сопротивления сдвигу.

Необходимое усилие для сдвига захваченного объема создавалось с помощью внедренного в массив зуба вильчатого грейфера. Сдвиг осуществлялся путем перемещения колесной тележки с закрепленной моделью зуба при помощи лебедки. Колесная тележка представляет собой рамную сварную конструкцию с колесными опорами (рисунок 29) [57].



Рисунок 29 – Экспериментальный стенд по исследованию сдвига торфяной залежи в естественном залегании (фото автора)

Направляющая установка соединена с тросом лебедки *Matrix* 52260 другой конец лебедки соединен с динамометром сжатия ДПУ-5-2. Наименьший предел измерения динамометра 0,5 кН, а наибольший – 5,0 кН. Цена деления – 0,01; погрешность $\pm 2\%$. Установка соединена с неподвижной вертикальной деревянной стойкой.

В ходе эксперимента выполнен ряд опытов, в которых в разных областях исследуемой площадки проводилось протаскивание предварительно заглубленного зуба. С помощью вращения храпового механизма лебедки установка передвигалась на расстояние до 0,5 м вместе с заглубленным зубом. В ходе опытов проводилась фиксация показаний динамометра через каждые 0,1 м.

3. Определение рационального расстояния между рабочими элементами модели челюсти вильчатого грейфера, при котором захваченная область поверхностного слоя торфяной залежи сдвигается в виде единого тела. В ходе эксперимента направляющая установка оснащена моделью челюсти вильчатого грейфера с тремя элементами. Модель жестко закреплена в раме с помощью болтового соединения.

Физическая полномасштабная модель челюсти вильчатого грейфера состоит из уголка 50х50 и трех фиксированных рабочих элементов. Зубья выполнены из стального прутка $\varnothing 30$ мм и длиной 660 мм с изгибом по радиусу 250 мм с расстоянием от торца 300 мм.

Эксперимент состоял из серии опытов, в которых изменялось расстояния между соседними рабочими элементами челюсти при перемещении заглубленной челюсти.

4. Исследование процесса преодоления сопротивления отрыву захваченной порции из торфяной залежи.

Целью эксперимента являлась установление необходимого усилия при вертикальном отрыве захваченного материала объемом 0,13 м³. Необходимое усилие для сдвига захваченного объема создавалось с помощью модели вильчатого грейфера. Отрыв осуществлялся с помощью трехноги длиной 3 м с подвешенной моделью вильчатого двухчелюстного грейфера. (рисунок 30) [57].

Опорные поверхности трехноги были помещены в резиновые крышки с большей площадью для препятствия внедрению ноги трехноги в залежь. Вершина трехноги была соединена с тросом лебедки *Matrix 52260* другой конец лебедки соединен с динамометром ДПУ-5-2.



Рисунок 30 – Экспериментальный стенд по исследованию отрыва захваченной порции материала из торфяного массива (фото автора)

Динамометр соединен с моделью вильчатого грейфера. Наименьший предел измерения динамометра 0,5 кН, а наибольший – 5,0 кН. Цена деления – 0,01; погрешность $\pm 2\%$.

Осуществлялось несколько подъемов захваченного сырья с подрезанием боковых поверхностей с помощью штыковой лопаты и без подрезания.

3.6 Выводы по Главе 3

Программа и методика экспериментальных исследований исходят из направления теоретических исследований. В соответствии с поставленными задачами определены методики проведения экспериментальных исследований. Задачи экспериментальных исследований решаются на основе разработанных методик, основывающихся на существующих исследованиях по выемки торфяного сырья на неосушенной торфяной залежи и рекомендаций для проведения лабораторно-полевых и полевых экспериментов.

Для определения интенсивности восстановления растительного слоя торфяной залежи после выемки сырья с глубины 0,3 м выполнены 4 лагуны с

размерами 0,6х0,6 (в две лагуны введены дополнительные центры восстановления растительности) с ежегодным мониторингом их состояния.

Для проверки поведения верхнего несущего слоя торфяной залежи при ведении работ с легковозводимых дорожных покрытий проводится анализ физико-механических характеристик залежи на глубине 0,4 м.

Проведена заготовка монолита сырья ненарушенной структуры в соответствии с разработанной программой экспериментальных исследований в лабораторных условиях для определения поведения сырья при компактировании при двухосном сжатии.

Для проведения экспериментов разработаны и сконструированы, по разработанным программам и методам, лабораторные стенды по определению необходимых усилий для реализации внедрения элементов вильчатого грейфера, компактирования сырья при захвате с коэффициентом уплотнения 2 и отрыва захваченного органомогенного сырья из торфяного массива объемом 0,13 м³.

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты определения интенсивности самовосстановления растительного покрова торфяной залежи

В результате эксперимента установлено, что растительный покров в рецепторных участках первой и четвертой лагуны восстановился быстрее, чем в пустых (рисунок 31, б и 31, в). За 4 года восстановление растительности произошло на 100%, с доминированием сфагновых мхов (*Sphagnum magellanicum*), которые составляли почти три четверти всего растительного покрова [46].

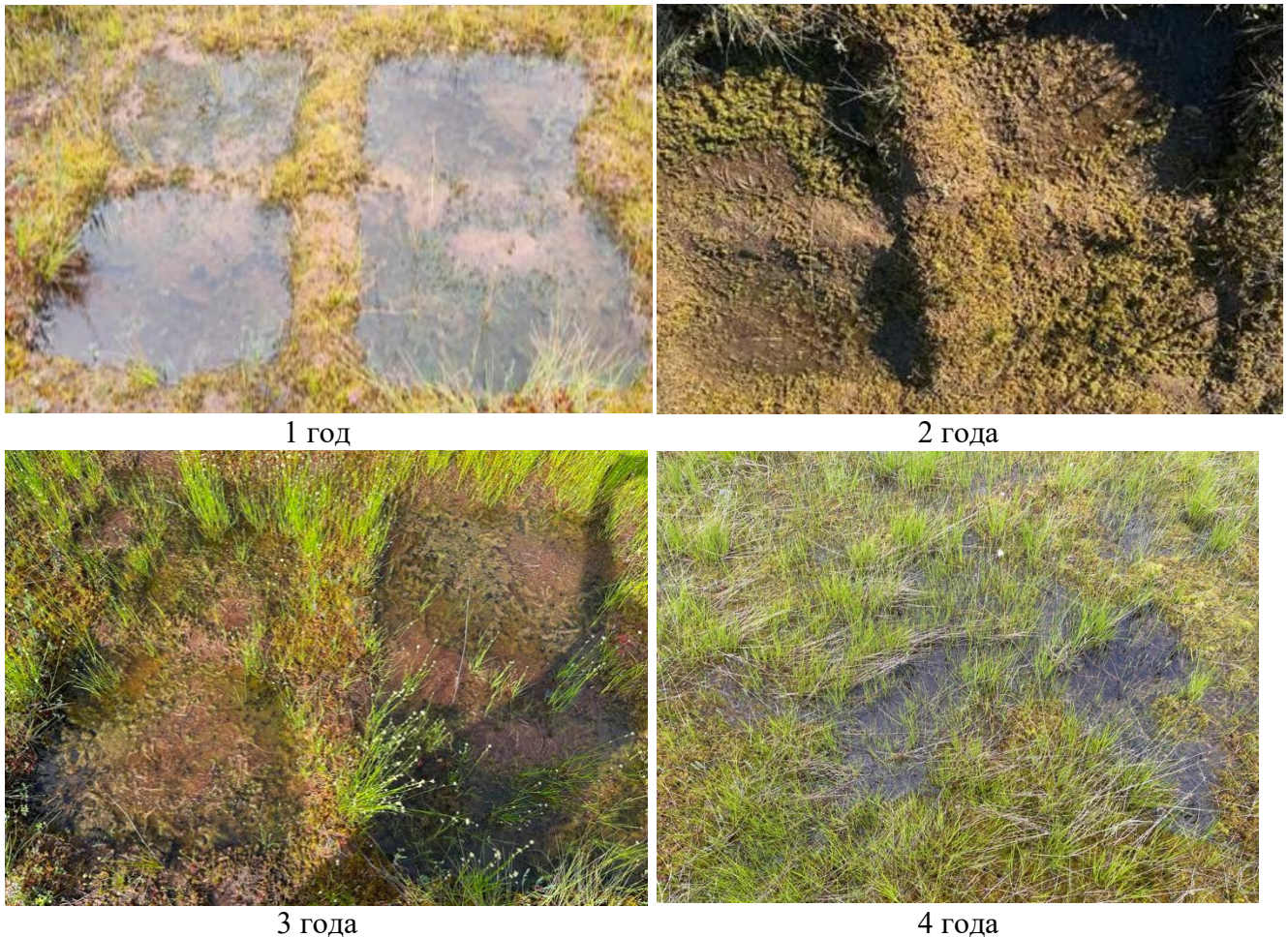


Рисунок 31 – Интенсивность восстановления растительности со временем
(составлено автором)

Наиболее интенсивно процесс восстановления растительности происходил по периферии лагун, где концентрация семян растений выше относительно центральной части выемки, размер бермы при этом не влияет на интенсивность

восстановления покрова (определено визуально). Минимальная ширина перемычки между выемками, исходя из критерия устойчивости бермы, составляет 0,4 м.

4.2 Эксперимент по определению физико-механических свойств поверхностного слоя торфяной залежи

Результаты полевого эксперимента по оценке величины удельного сопротивления грунта q статическим зондированием и значений предела прочности залежи на сдвиг τ методом вращательного среза приведены на рисунке 32. Зондирование проводилось до глубины 0,4 м с шагом 0,1 м.

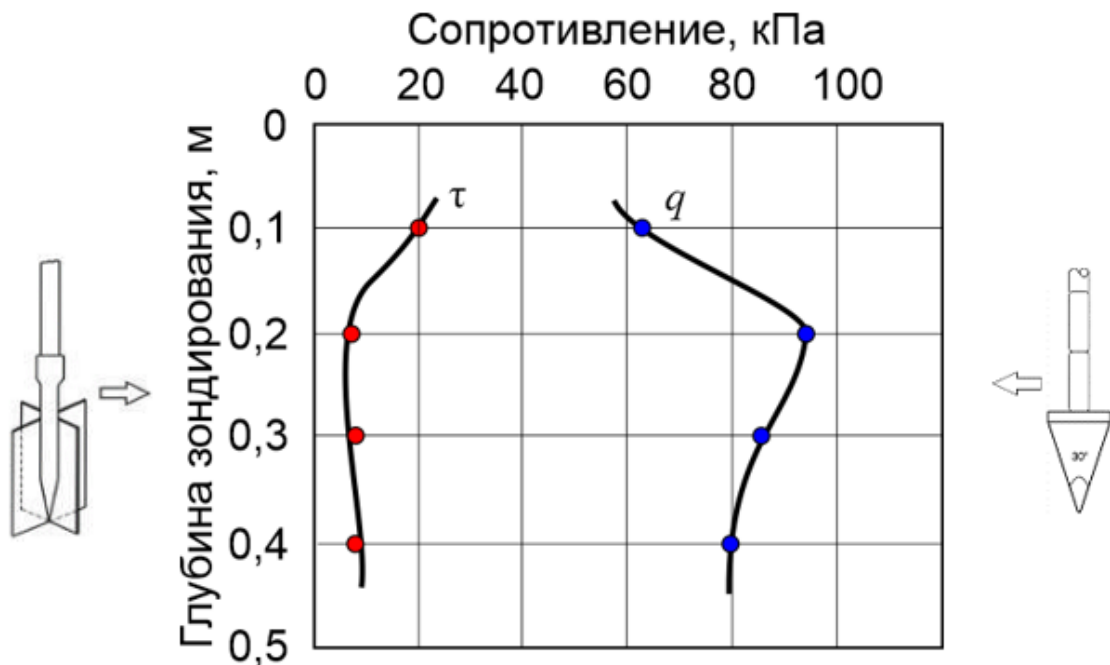


Рисунок 32 – Основные прочностные характеристики поверхностного слоя торфяной залежи (составлено автором)

Значения этих параметров характеризуют условия прочности грунта, преобладавшие в верхнем слое неосушенной торфяной залежи в период проведения исследований. Торфяная залежь на исследованном участке представлена верховым *Sphagnum magellanicum* степенью разложения $R=10\%$, $w=91\%$.

В приложении Д в таблицах Д.1 и Д.2 приведены данные полевых исследований сопротивления сдвигу с помощью сдвигомера-крыльчатки СК-10 и результаты измерений пенетрометром *Eijkelkamp 0601SA*.

Полученные значения индекса конусности и прочности на сдвиг торфяной залежи, измеренные в этом исследовании, совпадают с многочисленными материалами ПГО «Торфгеология» по исследованию физико-механических свойств торфяных залежей. Максимальное значение предела прочности на сдвиг $\tau = 20$ кПа отмечено на глубине 0,1 м.

Максимальное значение величины удельного сопротивления грунта статическим зондированием $q = 94$ кПа отмечено на глубине 0,2 м.

Результаты по исследованию предела прочности на сдвиг и удельного сопротивления грунта статическим зондированием позволяют сделать вывод о возможности применения дорожных покрытий на поверхности залежи (расчет проводился по методике, изложенной в [32]).

4.3 Эксперимент по сжатию органогенного сырья ненарушенной структуры

При закрытии грейфера происходит отрыв торфяной массы от монолита, деформация и уплотнение торфа. Из результатов экспериментальных исследований процесса деформации образца торфяной залежи ненарушенной структуры при влажности 90% в условиях двухосного напряженного состояния для имитации смыкания челюстей в торфяной залежи установлено, что деформация, обусловленная сопротивлением волокнистой структуры сжатию, доминирует на поздней стадии процесса.

Определяющим фактором деформации образца в этих условиях также является наибольшая линейная деформация, что подтверждает появление выпирания материала на верхней плоскости образцов. На рисунке 33 показано выпирание материала в высоту при горизонтальном сжатии образца в 2 раза (стадия выпора). Выпирание материала в высоту при горизонтальном сжатии образца в 2 раза составило 60 мм.

На рисунке 34 приведен график уплотнения материала при нагрузке и восстановления при разгрузке.

После снятия напряжения образец за счет упругой деформации восстановился до 120 мм, величина остаточной деформации составила 60 мм (33%).



Рисунок 33 – Выпираание материала при сжатии образца (фото автора)

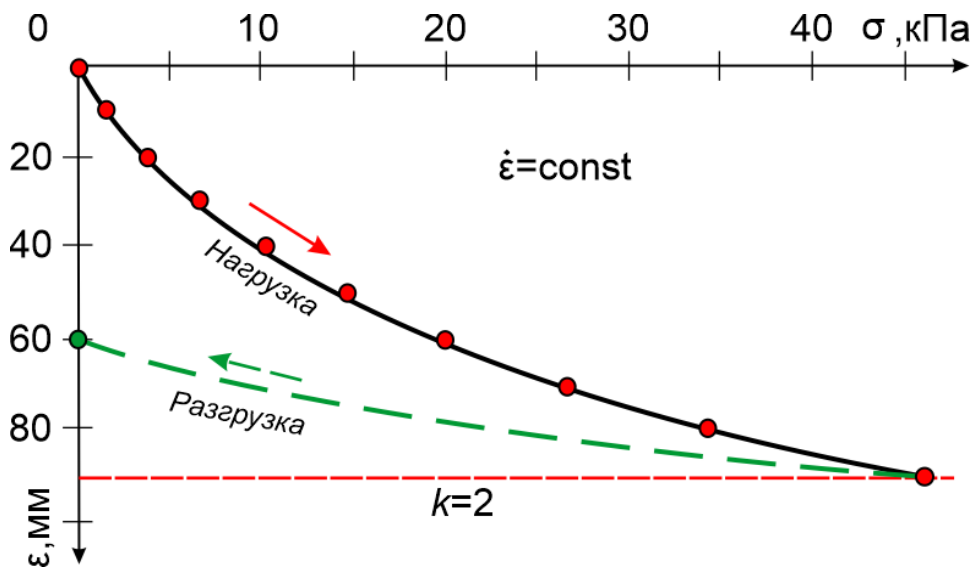


Рисунок 34 – График уплотнения материала и разгрузки
(составлено автором)

Одной из причин релаксации напряжения в образце является падение давления внутри материала по мере отжатия жидкости [10].

С учетом малых значений внутренних сил зависимость между пористостью и давлением [19] (формула 55):

$$\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon} - C \ln p, \quad (55)$$

где $\bar{\epsilon}$ – коэффициент пористости образца при давлении $p_1 = 98,07$ кПа.

Для торфа со степенью разложения менее 10% коэффициенты компрессионной кривой при давлении $p = 46$ кПа равны $\varepsilon = 9$, $C = 3,5$ [19].

Тогда $\varepsilon = 9 - 3,5 \ln 0,46 = 11,65$.

Считаем, что в сжатом состоянии все поры заполнены водой, можно определить влажность торфа после отжатия (формула 56):

$$\varepsilon = w\rho/(100 - w), \quad (56)$$

где ρ – плотность сухого вещества торфа $\rho = 1,5$ т/м³ [28].

Таким образом, влажность торфа после отжатия:

$$11,65 = w1,5/(100 - w) = 87,59\%.$$

Для вязкоупругого материала полное восстановление не достигается, и в материале останется остаточная деформация. При появлении горизонтального напряжения на зубе волокнистый материал деформируется и возникают микротечения жидкой фазы в поровом пространстве.

При мгновенном приложении напряжения возникает упругая обратимая деформация. Далее деформация идет по криволинейному участку (рисунок 33). После снятия напряжения образец за счет упругой деформации восстанавливается, величина остаточной деформации составила 33%, что учитывается при выборе емкости кузова транспортного средства. Одной из причин релаксации напряжения в образце является падение давления внутри материала по мере отжатия избыточной жидкости.

Можно сделать первое приближение, принимая во внимание взаимодействие между линейной пружиной и нелинейным телом Кельвина-Фойгта. Поскольку пружина отражает переходный характер оттока воды и деформации материала и в то же время является нагрузкой, действующей на тело Кельвина-Фойгта, очевидно, что вторичное сжатие активируется первичным уплотнением. А поскольку эта нагрузка постепенно возрастает от нуля до $\Delta\sigma$ с течением времени и по глубине слоя грунта, можно утверждать, что в лаборатории в начале процесса деформация, обусловленная переходным процессом оттока воды, преобладает над деформацией, обусловленной структурным вязким сопротивлением сжатию. То есть в начале процесса преобладает первичная консолидация [87].

Деформация, обусловленная сопротивлением волокнистой структуры сжатию, доминирует на поздней стадии процесса. Параметры вязкости можно оценить, предполагая, что весь образец грунта ведет себя информативно в соответствии с телом Кельвина-Фойгта [87].

Установлено, что влажность торфа после отжатия влаги при компактировании образца сырья в 2 раза снижается до 87%, а влагосодержание порции сырья перед началом отрыва уменьшается на 27%. Около трети влаги в захватываемой порции возвращается в залежь до отрыва сырья, что снижает энергоемкость выемки и транспортирования.

При смыкании челюстей грейфера с 10 зубьями общее усилие, развиваемое гидроцилиндром и необходимое для смыкания челюстей грейфера может достигать 18 кН.

4.3 Результаты определения усилия внедрения рабочих элементов в торфяную залежь

При вертикальном внедрении зуб грейфера раздвигает слой волокнистого материала и погружается на глубину до 0,3 м. При этом происходит преодоление сил сцепления между частицами макроструктуры материала [57].

Результаты внедрения модели зуба вильчатого грейфера в зависимости от глубины внедрения приведены в приложении Д в таблице Д.3.

В результате серии полевых экспериментов на физических моделях элемента вильчатого грейфера установлено, что среднее значение необходимого усилия внедрения зубьев грейфера на площадке с *Sphagnum magellanicum* – 438 Н.

4.4 Результаты определения усилия сдвига для осуществления захвата сырья

Сопротивление материала при горизонтальном сдвиге и упругой деформации при сжатии определяется структурным сцеплением и трением между частицами макроструктуры [57].

Было совершено 3 опыта по перемещению заглубленного элемента вильчатого грейфера в торфяную залежь на разных площадках месторождения, были найдены средние величины сопротивления залежи сдвигу на каждом из

этапов. На рисунке 35 представлен график зависимости сопротивления торфяной залежи горизонтальному сдвигу от величины перемещения внедренного элемента.

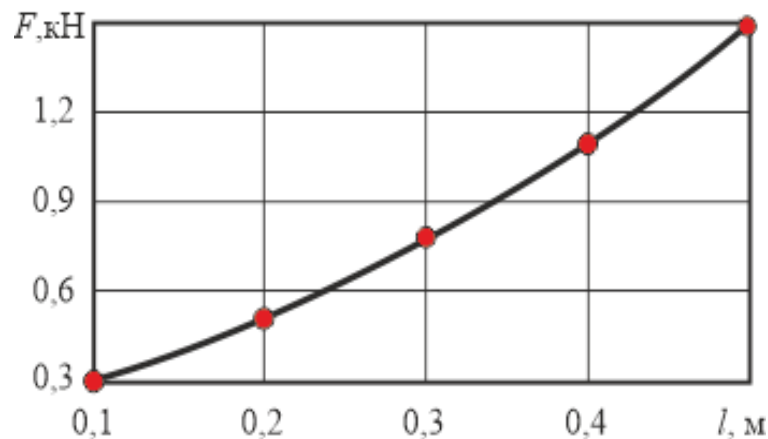


Рисунок 35 – Зависимость усилия перемещения внедренного элемента от длины перемещения (составлено автором)

Исходя из результатов эксперимента, закономерность между величиной перемещения заглубленного элемента и значением сил сопротивления сдвигу торфяной залежи имеет нелинейную зависимость из-за вязкоупругих свойств волокнистого материала. При горизонтальном перемещении заглубленного зуба за ним образуется свободная эллипсовидная в плане зона (рисунок 36). Перед перемещаемым зубом образуется ядро уплотненного материала.



Рисунок 36 – Зона горизонтального сдвига материала за зубом грейфера (фото автора)

В таблице 2 представлены величины зон деформирования грунта после перемещения на длину 0,5.

Таблица 2 – Результаты эксперимента горизонтального сжатия торфяной массы (составлено автором)

Номер опыта	Геометрические параметры зон деформирования, мм		
	Свободная зона за зубом		Зона ядра уплотнения перед зубом
	1-ая диагональ, мм	2-ая диагональ, мм	Диаметр, мм
1	90	200	600
2	120	250	550
3	105	220	650

Среднее значение модуля общей деформации E_0 в естественном залегании, характеризующего сжимаемость торфяной залежи под действием внешних нагрузок, составляет для *Sphagnum magellanicum* 22 кПа, что соответствует ранее проводившимся исследованиям по определению физико-механических свойств верхнего слоя торфяной залежи [18].

4.5 Результаты определения рационального расстояния между зубьями грейфера

В процессе добычи важно сохранять структуру материала и минимизировать изменения свойств сырья на каждом из этапов процесса выемки [57].

Конструктивные особенности вильчатого грейфера позволяют минимально нарушать структуру вынимаемого сырья. После проникновения в волокнистую торфяную среду, элементы грейферного механизма смыкаются для сжатия и захвата материала с целью последующим отрыва сжатого тела от массива.

Процесс сжатия материала является одним из этапов процесса выемки двухчелюстным грейфером. Сжатие волокнистых сред сопровождается образованием уплотненного тела, которое образуется при взаимодействии с элементами грейфера.

В ходе эксперимента выполнено 3 опыта с установкой зубьев с разным расстоянием между ними: 0,25; 0,30 и 0,40 м. Заглубленная на 0,3 м модель челюсти вильчатого грейфера перемещалась на длину до 0,5 м.

Установка зубьев с интервалом $l=0,40$ м обуславливает резкое снижение нагрузок на элементы грейфера при отделении сырья от торфяной залежи. Единое для соседних зубьев тело волочения разрушается, сдвигаемый материал просачивается между зубьями, не попадая в грейфер. Зубья образуют самостоятельные щели в торфяной залежи (рисунок 37, а), а эффективность процесса экскавации сырья существенно снижается.

При установке зубьев с интервалом $l=0,25$ м (рисунок 37, б) отделяемый материал деформируется по обе стороны зуба, вспучивается над поверхностью залежи, формирует общее для соседних зубьев тело.



а) расстояние между зубьями 0,40 м

б) расстояние между зубьями 0,25 м

Рисунок 37 – Эксперимент по определению шага установки рабочих элементов грейфера (составлено автором)

При расстоянии между рабочими элементами модели челюсти грейфера $l=0,25$ м образуется единое тело волочения при сдвиге захваченной области материала. Такое расстояние расстановки зубьев грейфера является наиболее предпочтительным, характеризуется наименьшими удельными энергозатратами процесса экскавации торфяного сырья.

4.6 Результаты определения усилия отрыва захваченной порции торфяного сырья из массива

При вместимости грейфера $0,13 \text{ м}^3$ в межчелюстном пространстве находится 130 кг сырья; масса грейфера составляет 155 кг (Рисунок 38).



Рисунок 38 – Эксперимент по определению усилия отрыва захваченного материала из торфяного массива (составлено автором)

Экспериментально установлено усилие, необходимое для отрыва порции сырья массой 130 кг составляет 4 кН – условие обеспечения устойчивости модуля выполняется. При подрезании боковых поверхностей захваченной порции усилие отрыва уменьшается и составляет 2,5 кН.

4.7 Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами

На основе проведенных исследований на базе вилчатого грейфера FLO-10 разработано техническое решение «Устройство для выемки материала с боковыми режущими парами» [47].

Устройство состоит из двух челюстей, установленных друг к другу, которые состоят из захватных зубьев, выполненных в форме части логарифмической спирали [22]. Захватные зубья жестко закреплены на нижней оси. На боковых вилках каждой из двух челюстей установлены левый нож и правый нож.

На левом ноже и правом ноже выполнена внутри режущая кромка в форме части архимедовой спирали. С торцевых сторон нижней оси устанавливаются на пластины челюсти относительно места соединения. Нижние оси жестко закреплены в нижние отверстия вертикально ориентированные проушины.

Верхняя ось жестко установлена в верхних отверстиях проушин. На верхней оси установлены конец штоковой части гидроцилиндра и один из концов синхронизатора. Конец поршневой части гидроцилиндра установлен на пальце, который жестко закреплен в верхних отверстиях проушин, установленных на

нижней оси на противоположной челюсти. Второй конец синхронизатора шарнирно закреплен на пальце, который установлен в верхних отверстиях проушин, ориентированных горизонтально и установленных на второй челюсти.

На нижней поверхности пластины жестко закреплен штык с наружной режущей кромкой, ось симметрии которого совпадает с осью симметрии пластины. К лицевой поверхности пластины устанавливается рама, в верхней части которой жестко закреплен ротатор (рисунок 39).

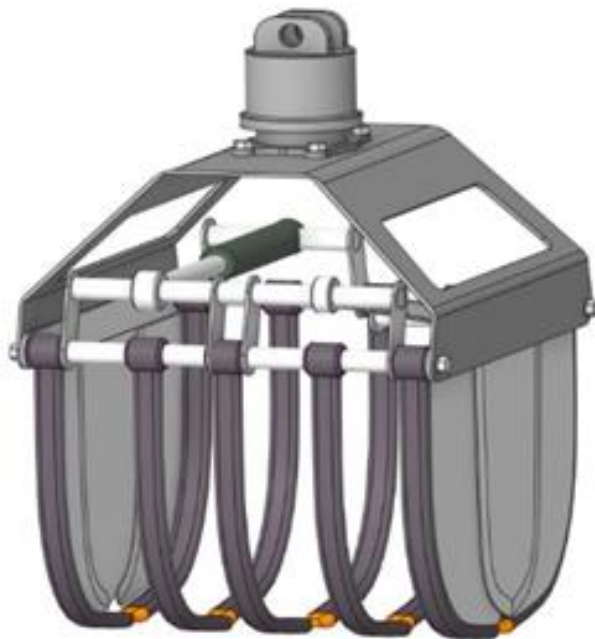


Рисунок 39 – Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами (составлено автором)

Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами работает следующим образом. Ротатор жестко закреплен с частью исполнительного оборудования выемочно-погрузочной машины.

При подаче рабочей жидкости в штоковую часть гидроцилиндра верхняя ось и палец, в которых закреплены концы гидроцилиндра, перемещаются друг к другу, передавая движение проушинам, которые закреплены на нижней оси. Совместно с нижней осью вращаются захватные зубья с наконечниками. Челюсти переходят в раскрытое положение.

Синхронизатор, один конец которого закреплен на верхней оси, а другой конец закреплен на пальце, установлен таким образом, чтобы обеспечивался симметричный поворота вращающихся частей устройства. Вращение происходит

до поворота вилок на 90° . Левый нож и правый нож осуществляют поворот на 90° совместно с захватными зубьями.

После раскрытия челюстей, с помощью исполнительного оборудования выемочно-погрузочной машины, устройство отпускается на поверхность массива волокнистого материала, осуществляя внедрение захватных зубьев с наконечниками, левого ножа, правого ножа и штыка в массив. Отпускание происходит до заглубления штыка на всю его высоту.

Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами снабжено штыком, который позволяет производить обработку порции волокнистого материала по всей боковой поверхности, и совместно с ножами реализует наклонное резание волокон при смыкании челюстей. Благодаря этому исключается возможность наличия необработанных боковых зон в порции материала и обеспечивается равный срез по всему контуру боковой поверхности.

4.8 Выводы по Главе 4

В результате серии полевых экспериментов на полноразмерных физических моделях вильчатого грейфера установлено, что среднее значение необходимого усилия для преодоления сопротивления внедрению зубьев грейфера на площадке со *Sphagnum magellanicum* – 0,44 кН.

При компактировании образца в 2 раза процесс переходит в стадию выпора. При компактировании сырья с коэффициентом 2 в условиях двухосного сжатия, полное восстановление не достигается, и в материале останется остаточная деформация. После снятия напряжения образец за счет упругой деформации восстанавливается, величина остаточной деформации составила 33%, что учитывается при выборе емкости кузова транспортного средства. Одной из причин релаксации напряжения в образце является падение давления внутри материала по мере отжатия избыточной жидкости

Влажность торфа после отжатия влаги при компактировании образца сырья в 2 раза снижается до 87%, а влагосодержание порции сырья перед началом отрыва уменьшается на 27%. Около трети влаги в захватываемой порции возвращается в залежь до отрыва сырья, что снижает энергоемкость выемки и транспортирования.

Среднее значение модуля общей деформации в естественном залегании, характеризующего сжимаемость материала под действием внешних нагрузок, составляет для *Sphagnum magellanicum* – 22 кПа.

В рамках эксперимента заглубленная на 0,3 м модель челюсти вильчатого грейфера перемещалась на длину до 0,5 м. При установке зубьев с интервалом 0,135 м отделяемый материал деформируется по обе стороны зуба, вспучивается над поверхностью залежи, формирует общее тело без провисания сырья между зубьями.

Разработано техническое решение, защищенное патентом РФ «Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами», которое состоит из вильчатого грейфера и боковых режущих пар с центральным ножом и лезвиями, выполненными по логарифмической спирали. С боковым подрезанием материала усилие отрыва материала снижается на 38%.

ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Алгоритм ведения добычных работ на поверхности месторождения

Реализация схемного решения блочной технологии выемки проходит в несколько этапов. В начале выполняются подготовительные работы: расчистка и разравнивание площадки на суходоле для укладки сырья в штабель с целью предварительного гравитационного обезвоживания, подготовка подъездной дороги к началу технологического участка, и подготовка подъездной дороги для вывоза сырья из штабеля в цех переработки. Расстояние между штабелем и началом технологического участка должно быть достаточным для выполнения маневров технологического оборудования [46, 60].

После совершения подготовительных работ проводятся: разметка трасс, подготовка основания технологического участка для укладки дорожного покрытия на трассах путем выравнивания рельефа местности на размеченных трассах. Затем производится монтаж дорожного покрытия на первой технологической площадке и на второй (рисунок 40).

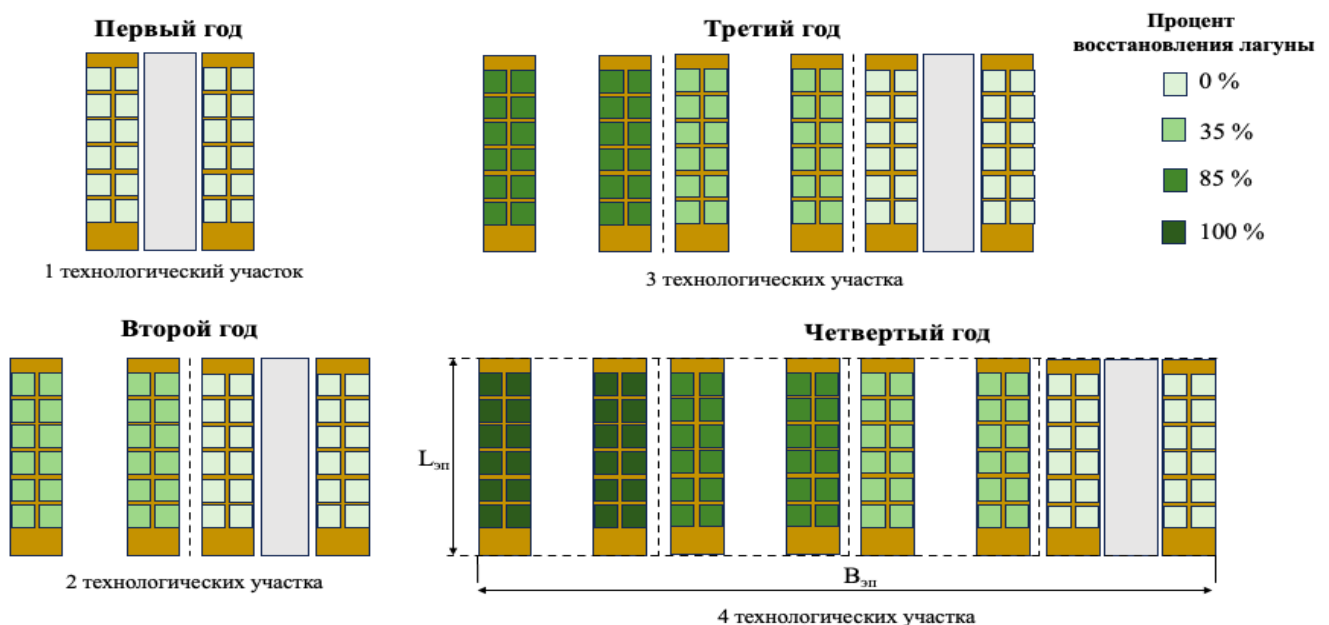


Рисунок 40 – Этапы проведения выемочных работ (составлено автором)

Поскольку выемочные области полностью восстанавливаются за 4 года, то количество технологических участков соответствует количеству годов в цикле

восстановления, в одном участке могут находиться несколько рабочих зон; ширина эксплуатационного пространства:

$$B_{\text{эп}} = 4n_{\text{рп}}[2B_{\text{бл}} + B_{\text{тр}} + (3 + n_{\text{рп}})B_{\text{берм}}], \quad (57)$$

где $n_{\text{рп}}$ – количество рабочих площадок на одном технологическом участке, шт.

В состав производственных работ входит отработка блоков в выемочных областях. Отработка блоков происходит с образованием лагун внутри блока и введением вегетативной части растений на поверхность каждой лагуны. Для введения вегетативной части в лагуны используется сырье из верхнего слоя последующих блоков.

При завершении производственного цикла на первой площадке осуществляется перебазирование оборудования на вторую. Происходит демонтаж покрытия на первой площадке и его перемещение на третью параллельную площадку [59].

Алгоритм функционирования технологического модуля в производственном цикле состоит из последовательных операций: заезд обратным ходом на транспортную полосу до фронта работ, проведение выемки торфяного сырья, его погрузки в кузов полуприцепа и вывоз сырья за пределы рабочей площадки в штабель (рисунок 41) [55].

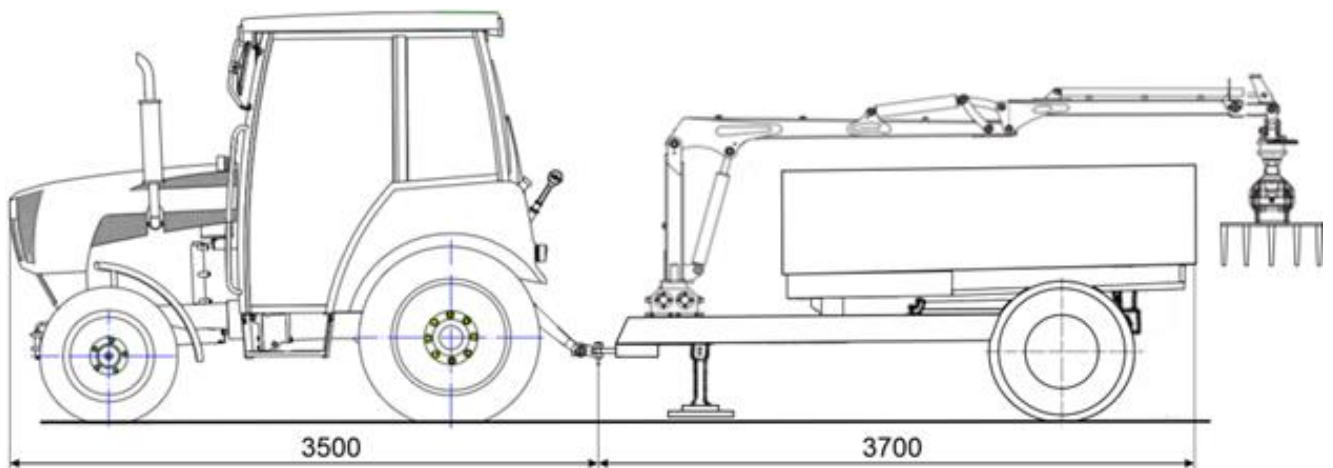


Рисунок 41 – Схема технологического модуля (составлено автором)

Цикл повторяется по всей длине рабочей площадки.

5.2 Основные показатели производственного процесса

Исходя из выбранных параметров выемочного оборудования с учетом продолжительности сезона добычи и принципов палудикультуры, принимается, что в течение сезона отрабатываются 2 технологических участка [46].

Из разности значений максимального радиуса копания модуля и его минимального радиуса копания, который зависит от ширины дорожного покрытия и технологического зазора между блоками и дорожным покрытием, ширина блока равна 2,8 м (рисунок 42).

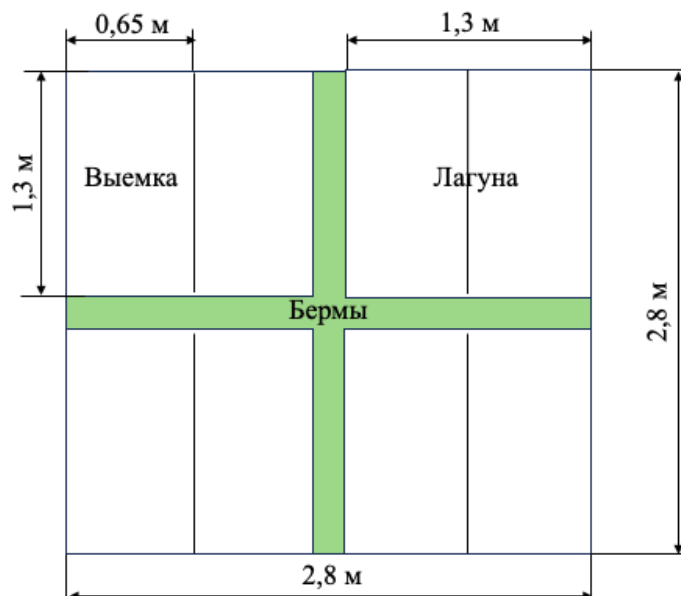


Рисунок 42 – Параметры блока (составлено автором)

Ввиду того, что один блок состоит из 4 лагун, а одна лагуна состоит из 2 выемок, объем сырья, вынимаемого из одного блока равен:

$$V_{\text{бл}} = 2E_{\text{ро}}n_{\text{л}} = 2 \cdot 0,25 \cdot 4 = 2 \text{ м}^3.$$

Исходя из объема кузова полуприцепа, продолжительности цикла выемки и погрузки сырья и вывоза погруженного сырья в штабель принимается, что за 8-часовую смену может быть отработано 8 блоков, а объем вынимаемого сырья за смену 16 м^3 (рисунок 43).

При отработке 8 блоков, фронт работ за одну смену перемещается на величину $L_{\text{сут}}$:

$$L_{\text{сут}} = 4(L_{\text{бл}} + L_{\text{берм}}) = 4 \cdot (2,8 + 0,4) = 12,8 \text{ м}.$$

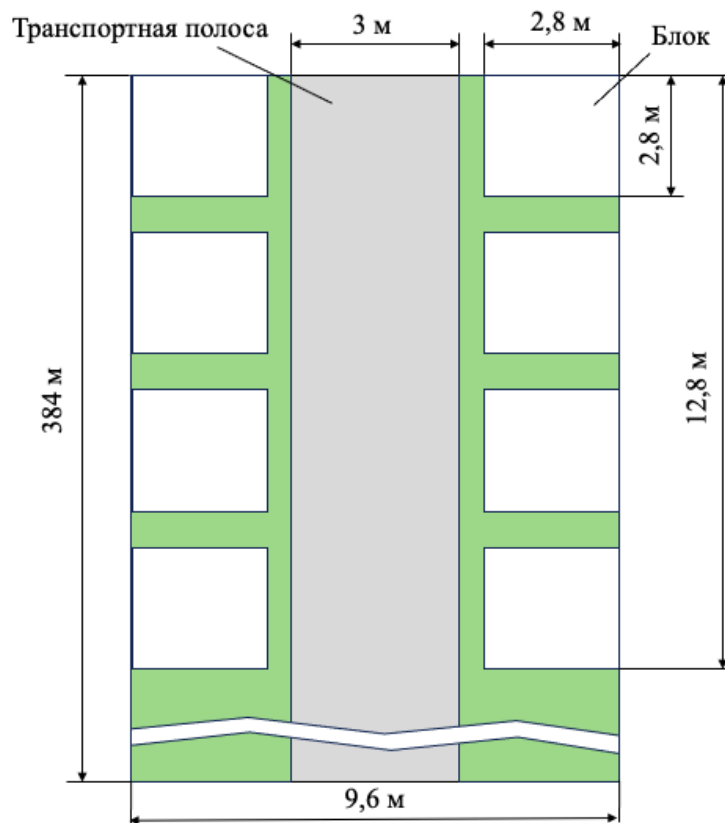


Рисунок 43 – Параметры рабочей площадки (составлено автором)

Календарные сроки сезона добычи для III района расположения торфяных месторождений с 5 мая по 31 июля. Число рабочих дней – 60 [37, 38]. Организация добычных работ разделена на 2 равных периода по 30 дней (смен), отсюда длина одного технологического участка L :

$$L = 30L_{\text{сут}} = 30 \cdot 12,8 = 384 \text{ м.}$$

Количество блоков на одном технологическом участке:

$$n_{\text{бл}} = 2 \cdot 384 / (2,8 + 0,4) = 240 \text{ блоков.}$$

За весь добычный сезон на двух технологических участках количество блоков равно 480. Следовательно, объем вынимаемого сырья составляет 960 м^3 .

Основные технико-технологические показатели производственного процесса при ведении выемочных работ с принятыми условиями разработки месторождения приведены в таблице 3.

Организация отработки месторождения включает добавление в производственный процесс этапа реинтродукции сфагнома в места выемки сырья с целью увеличения интенсивности процессов восстановления нарушенных территорий.

Таблица 3 – Основные показатели производственного процесса (составлено автором)

Параметр	Значение
Длина рабочей площадки, м	384
Количество рабочей площадки, шт.	2
Ширина выемочного блока, м	2,8
Длина выемочного блока, м	2,8
Количество блоков на одной технологической площадке, шт.	240
Количество блоков за сезон, шт.	480
Объем вынимаемого сырья из одного блока, м ³	2
Объем вынимаемого полезного ископаемого за сезон, м ³	960
Коэффициент использования площади	0,82

5.3 Выводы по Главе 5

Установлено, что реализацию технологии целесообразно осуществлять с помощью многофункционального технологического модуля, который с помощью которого возможно выполнять вспомогательные работы по укладке дорожного покрытия и осуществлять выемку торфяного сырья.

На примере торфяного месторождения «Камешки» (северо-запад Ленинградской области) проведен анализ основных показателей производственного процесса с учетом параметров выбранных составных единиц технологического модуля и продолжительности сезона добычных работ, характерных для региона.

Установлено, что с помощью технологического модуля с рабочим органом емкостью 0,13 м³ и продолжительностью добычного сезона 60 дней, рационально проводить выемочные работы на двух организованных технологических участках с объемом вынимаемого сырья 960 м³ за один добычной сезон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-исследовательской работой, в которой на основе установленных требований к процессу механизированной поверхностной выемки органогенного сырья изложены научно обоснованные решения по технологии и оборудованию для выемки органогенного сырья с поверхности неосушенной торфяной залежи без нарушения естественной структуры материала.

По результатам выполненной диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. К основным принципам поверхностной выемки следует отнести: залежь является опорной поверхностью и объектом разработки; осушения производственных площадей не требуется; поверхностная выемка сырья выполняется с применением принципов палудикультуры.

2. Удлиненная волокнистая текстура *Sphagnum magellanicum* и его изотропность являются определяющими эксплуатационными характеристиками сырья, выемка которого осуществляется с глубины 0,3 м от поверхности залежи при постоянной степени разложения в слое.

3. Элементы блочной технологии включают 4 технологических участка, состоящие из 2 рабочих площадок длиной 384 м, в которых выделены: транспортная полоса шириной 3 м и две параллельные выемочные области по 2,8 м. Выемочные области разделяются на блоки, разработка которых ведется с образованием лагун с сохранением берм-перемычек между лагунами шириной 0,4 м. Количество технологических участков равно количеству лет, необходимых для восстановления растительного слоя после выемки. Рабочая ширина эксплуатационного пространства равна 85 м.

4. Для выполнения производственных и вспомогательных операций применяется выемочно-транспортный модуль: колесный трактор Беларусь МТЗ-622 с тяговым классом 0,9, колесный полуприцеп-самосвал 1-ПТС2 с кузовом вместимостью 2 м³; шарнирно-сочлененный гидроманипулятор Атлант-90 с вылетом стрелы 7,8 м; двухчелюстной вильчатый грейфер FLO-10 вместимостью 0,13 м³ с боковыми режущими парами.

5. Процесс внедрения зубьев грейфера реализуется с преодолением сил сопротивления проникновению зубьев грейфера. Среднее значение усилия внедрения зубьев грейфера на площадке с *Sphagnum magellanicum* – 0,44 кН.

6. При компактировании сырья вилчатым грейфером материал сжимается в 2 раза со снижением влагосодержания на 27%. Среднее значение модуля общей деформации E_o в естественном залегании, характеризующего сжимаемость торфяной залежи под действием внешних нагрузок, для *Sphagnum magellanicum* составляет 22 кПа.

7. Усилие отрыва захваченного материала после подрезки боковых поверхностей снижается на 38% с обеспечением отрыва без провисания материала между зубьями с расстоянием 135 мм; размах челюстей грейфера 1,3 м, ширина 0,65 м.

8. Разработано «Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами» (Патент РФ на полезную модель № 218971), с установленными на нем боковыми режущими парами по обеим сторонам, образованными из центрального ножа и боковых ножей с лезвием, выполненным по логарифмической спирали.

9. Результаты работы использованы в деятельности компании ООО «Агровит» при организации добычи торфяного сырья с целью производства «Элементов фильтрующих торфяных» (Акт (справка) о внедрении от 27.03.2025).

10. Перспективным направлением дальнейшей разработки темы исследования является анализ процесса транспортировки экскавированного органогенного сырья за пределы рабочей зоны карьера для формирования научно обоснованных решений по выбору рационального автоматизированного способа перемещения материала с сохранением его ненарушенной структуры в зону последующей подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амарян, Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения / Л.С. Амарян. – М. : Недра, 1990. – 219, [1] с. : ISBN 5-247-01608-4.
2. Амарян, Л.С. Изучение процессов переноса влаги в деформируемых пористых телах / Л.С. Амарян, Е.Т. Базин, Н.В. Чураев Изучение процессов переноса влаги в деформируемых пористых телах // Инженерно-физический журнал. – 1965. – Т. 8, № 5. – С. 639-644.
3. Амарян, Л.С. Физико-механические свойства торфяных залежей и их определение при инженерных изысканиях. / Л.С. Амарян, Е.Т. Базин, Ю.И. Женихов, Н.Т. Король – М.: Торфгеология, 1983. – 139 с.
4. Базин, Е.Т. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов; под общей редакцией Е.Т. Базиана. – М. : Недра, 1992. – 431 с.
5. Белицкий, Д. Г. Теоретические исследования и экспериментальные испытания грейфера с винтовым якорем для разработки прочных грунтов. – Текст: электронный / Д.Г. Белицкий // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2020. – Том 16, № 1. – С. 23-31.
6. Валиев, Н.Г. Научно-практические предпосылки создания цифровых природовоспроизводящих геотехнологий для комплексного освоения торфяных ресурсов / Н.Г. Валиев, Н.В. Гревцев; О.С. Егошина, М.С. Лебзин // Горный журнал. – 2022. № 5. – С. 63–68. DOI:10.17580/gzh.2022.05.09;
7. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных // Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
8. Ветров, Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. – М. : Машиностроение, 1971. – 357 с.
9. Вышинский, Н.В. Техническая механика. Часть 2. Механика материалов. / Н.В. Вышинский – Минск : БГУИР, 2019. – 104 с.
10. Гармаев, О. Ж. Обоснование и выбор параметров шнекового пресса для обезвоживания экскавированного торфяного сырья в условиях карьера : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой

степени кандидата технических наук / Гармаев Оюн Жаргалович, 2022. – 153 с. – EDN APEDJI.

11. Горячкин, В.П. Земледельческая механика / В.П. Горячкин – М.: Колос, 1965. – 720 с.

12. Гревцев, Н.В. Занимательно о торфе / А.Н. Семин, Н.И. Гравцева – М.: Фонд «Кадровый резерв», 2020. – 192 с.

13. Грудинин, Н.Н. Применение машинотракторных агрегатов с активными прицепными модулями при внутримассивном транспорте торфяного сырья / Н.Н. Грудинин, Э.А. Кремчеев // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 2. – С. 83-95.

14. Дьяков, В.П. Механика почвы и реология грунтов. Точки соприкосновения и различия / В.П. Дьяков // Достижения науки и техники АПК, №7-2007. – С. 48-51.

15. Дорожная плита «КДМ-ЭКО»: [сайт]. URL: <https://gcksp.ru/dorozhnoe-stroitelstvo/dorozhnye-plity/kdm-eko/> (дата обращения: 20.10.2024).

16. Захаров, М.С. Статическое зондирование в инженерных изысканиях / М.С. Захаров – СПб., СПбГАСУ. 2007. – 72 с.

17. Женихов, Ю.Н. Разработка торфяных месторождений и охрана окружающей среды / Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, К.Ю. Женихов // Труды Инсторфа. 2023;(28). – С. 3–9.

18. Казаков, Ю. А. Обоснование и выбор параметров полуприцепа в составе горнотранспортного агрегата многократной проходимости по слабым грунтам: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казаков Юрий Алексеевич, 2022. – 166 с. – EDN IQPPZJ.

19. Костюк, Н.С. Физика торфа / Н.С. Костюк – Минск: Вышэйшая школа, 1967. – 214 с.

20. Косов, В. И. Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология / В.И. Косов, А.С. Беляков, О.В. Белозеров, Д.Ю. Гонин — Санкт-Петербург, 2007. — 452 с

21. Корчунов, С.С. Зависимость механической прочности торфа и других грубодисперсных систем от влажности / С.С. Корчунов // Торфяная промышленность, 1948. № 3. – С. 16.
22. Красновский, Е. Е. Кривые и поверхности второго порядка / Е.Е. Красновский, О.А. Марчевская, О.В. Новожилова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 86 с.
23. Кремчеев, Э.А. Принципы построения транспортного модуля торфяного предприятия с карьерной технологией добычи / Э.А. Кремчеев, А.В. Михайлов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011. № 7. – С. 75-81.
24. Лиштван, И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.
25. Лиштван, И.И. Физико-химические свойства торфа и их трансформация при использовании торфяных месторождений / И.И. Лиштван // Химия твердого топлива. 2010, № 6. – С. 3-10.
26. Лопатин, В.Д. О новом определении болота / В.Д. Лопатин // Вопросы экологии растений болот, болотных месторождений и торфяных залежей. — Петрозаводск, 1985. — С. 41–48
27. Лукьянчиков, А.Н. Машинные агрегаты торфяного производства. / А.Н. Лукьянчиков. – Тверь: ТвГТУ, 1999. – 81 с.
28. Лазарева, А.В.Справочник по торфу / А.В. Лазарева, С.С. Корчунова М.: Недра, 1982. – 760 с.
29. Маринин, М. А. Исследование влияния параметров взорванной горной массы на производительность экскаваторно- автомобильного комплекса / М.А. Маринин, Р.А. Рахманов, В.В. Должиков, В.И. Сушкова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 9-1. – С. 35–48.
30. Мартюченко, И. Г. Влияние геометрии наконечника рабочего органа на процесс погружения в грунт / И.Г. Мартюченко, С.В. Иванов // Вестник СГТУ. –

2013. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometrii-nakonechnika-rabochego-organa-na-protsess-pogruzheniya-v-grunt> (дата обращения: 26.01.2025).

31. Мартюченко, И.Г. Экспериментальное исследование влияния формы наконечника штампа на процесс погружения в грунт / И.Г. Мартюченко, С.В. Иванов // Создание эффективных средств механизации в строительных и дорожных отраслях: сборник научных трудов СГТУ. – Саратов, 2011. – С. 33-37.

32. Методические указания по инженерно-геологическому обследованию болот при изысканиях автомобильных и железных дорог. – М.: СОЮЗДОРНИИ, 1973. – 115 с.

33. Ведищев, С.М. Механизация и технологии в животноводстве [Электронное издание] : учебное пособие / С. М. Ведищев, В.В. Коновалов, А.И. Завражнов, и др. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 366 с.

34. Михайлов, А.В. Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 9. – С. 189-194.

35. Михайлов, А.В. Масштаб торфяного производства и комплектование оборудованием / А.В. Михайлов // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых: сборник трудов международной научно-технической конференции – Минск. – 2012. – С. 63–67.

36. Михайлов, А.В. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, Ю.Ю. Бондарев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 3 (202). – С. 229–235.

37. Михайлов, А.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 82-91. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.9.

38. Михайлов, А.В. Моделирование внедрения зуба вильчатого грейфера в торфяную залежь / А. В. Михайлов, А. Г. Таранов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 07–08 апреля 2016 года / Лагунова Юлия Андреевна (отв. ред.). – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. – С. 97-100.

39. Михайлов, А.В. Параметры грейфера гидроманипулятора при выемке торфяного сырья / А.В. Михайлов, А.Г. Таранов // МНИЖ. – 2016. – №4-2 (46). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-greyfera-gidromanipulyatora-pri-vyemke-torfyanogo-syrnya> (дата обращения: 31.05.2025).

40. Михайлов, А.В. Очистка поверхностного стока с урбанизированных территорий на локальных пассивных системах / А.В. Михайлов, А.Н. Ким // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. – №4. – С. 40-52. DOI: 10.23968/2305–3488.2017.22.4.40–52.

41. Михайлов, А. В. Развитие глобального рынка торфа / А.В. Михайлов // Труды Инсторфа. 2018. – № 18 (71). – С. 3–8.

42. Михайлов, А.В. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков, Д.Р. Гарифуллин, О.Ю. Короткова, А. Агагена // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–1. – С. 317–330. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.

43. Михайлов, А.В. Анализ перспектив термической конверсии торфяного сырья и его использования в черной металлургии / А.В. Михайлов, В.Ю. Бажин, В.Ю. Пиирайнен // Черные металлы. – 2024. – № 9. – С. 9–14.

44. Михайлов, А.В. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений / А.В. Михайлов, А.И. Жигульская, Ю.А. Казаков // Горная промышленность. – 2024. – № 1 – С.66–69. DOI:10.30686/1609-9192-2024-1-66-69.

45. Михайлов, А.В. Анализ перспектив использования торфяных почвоулучшителей для рекультивации нарушенных земель / А.В. Михайлов, В.Ю. Пиирайнен, Е.М. Боброва, А.И. Смирнов // Горная промышленность. 2025 – № 2. – С. 124–130.

46. Михайлов, А.В. Анализ элементов блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков, **И.В. Соловьев** // Горная промышленность. - 2025. – № 1. – С. 129–136. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-1-129-136.

47. Патент на полезную модель № 218971 Российская Федерация, МПК В66С 3/04. Устройство для выемки волокнистого материала с боковыми режущими парами. Заявка № 2023114145: заявл. 30.05.2023: опубл. 21.06.2023 / А.В. Михайлов, **И.В. Соловьев**, Ю.А. Казаков; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". – 11 с.

48. Панов, В. В. Современные тенденции развития торфяной отрасли России / В. В. Панов, О. С. Мисников // Труды Инсторфа. – 2015 – № 11(64). – С. 3-12.

49. Полилов, А.Н. Биомеханика прочности волокнистых композитов / А.Н. Полилов, Н.А. Татусь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 328 с.

50. Пигольцина, Г. Б. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области / Г.Б. Пигольцина // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2009. – №2. – С. 181-191.

51. Пичугин, А.В. Торфяные месторождения и их разведка / А.В. Пичугин, В.М. Платон – М.: Гос. энерг. изд-во, 1951. – 496 с.

52. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Е.Н. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

53. Ржевский, В. В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация / В.В. Ржевский. – М.: Либроком, 2010. – 551 с.

54. Столбикова, Г.Е. Исследование эффективности осушения производственных площадей добычи торфа / Г.Е. Столбикова, А.В. Купорова // Труды Инсторфа. 2023;(27). – С. 28–32.

55. **Соловьев, И.В.** Особенности компоновки технологического модуля для добычи торфяного сырья малой степени разложения / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022 – №16. – С. 103-109. DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-103-109.

56. **Соловьев, И.В.** Анализ выбора оборудования для поверхностной выемки органогенного грунта / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022 – №17-1. – С. 203-209.

57. **Соловьев, И.В.** Анализ грейферной выемки волокнистого торфяного сырья / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Устойчивое развитие горных территорий. 2023 Т. 15, № 4 С. 1098–1107. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-1098-1107.

58. **Соловьев, И.В.** Особенности добычи органогенного сырья для производства природоохранной продукции / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 677-681. – EDN HSGSGS.

59. **Соловьев, И.В.** Анализ выбора оборудования для реализации метода селективной выемки торфяного сырья / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Машиностроение: инновационные аспекты развития: материалы VI международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение», 2023. – С. 49-51. – EDN HNUUXS.

60. **Соловьев, И.В.** Анализ выбора оборудования для селективной выемки торфяного сырья / **И.В. Соловьев, А.В. Михайлов** // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : Сборник трудов XXI Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 06–07 апреля 2023 года /

Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. – С. 100-103. – EDN XIZWCY.

61. **Соловьев, И.В.** Анализ грейферной выемки волокнистого торфяного сырья / **И.В. Соловьев**, А.В. Михайлов // Машиностроение: инновационные аспекты развития: Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: Индивидуальный предприниматель Жукова Елена Валерьевна, 2024. – С. 54-57. – EDN GWMWLP.

62. Таубер, Б.А. Подъемно-транспортные машины: учебник для вузов / Б.А. Таубер. – М.: Экология, 1991. – 528 с.

63. Таубер, Б. А. Грейферные механизмы / Б.А. Таубер. – М.: Машиностроение, 1967. – 430 с.

64. Терцаги К. Механика грунтов в инженерной практике / К. Терцаги, Р. Пек. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. – 607 с.

65. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования. — Минск: Беларуская навука, 2009. — 328 с.

66. Тюремнов, С.Н. Торфяные месторождения / С.Н. Тюремнов. – М.: Недра, 1976. – 487 с.

67. Ксенович, И.П. Тракторы. Конструкция: Учебник для студентов вузов / И.П. Ксенович, В.М. Шарипов и др. – М.: МГТУ «МАМИ», 2001. – 821 с.

68. Федоров, Д. И. Рабочие органы землеройных машин. 2-е. издание, переработанное и дополненное / Д.И. Федоров – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

69. Ципурский, И.Л. Экскаватор с рабочим оборудованием драглайна грейфера / И.Л. Ципурский. – М.: МГСУ, 2011 – 56 с.

70. Чупин, В.В. Напряженное и деформированное состояние в точке упругого тела / В.В. Чупин, Д.Е. Черногубов. – Екатеринбург: ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2008. – 31 с.

71. Шевелева, Н.А. Разработка и обоснование подхода к эколого-экономической оценке проектов декарбонизации нефтегазовой компании / Н.А. Шевелева // Записки Горного института. 2024. Т. 258. – С. 1-17.

72. Шашкин, А.Г. Вязко-упругопластическая модель поведения глинистого грунта / А.Г. Шашкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – № 2. – С. 1-32.

73. Якупов, Д.Р. К вопросу классификации способов добычи торфяного сырья и средств их реализации / Д.Р. Якупов, С.Л. Иванов, П.В. Иванова, Е.К. Пермякова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020 – №10 (спец. выпуск 34). – С. 3-11. – DOI:10.25018/0236-1493-2020-10-34-3-11.

74. ASTM D 2435-03. Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading [Электронный ресурс]. — West Conshohocken, PA: ASTM International, 2003. — Режим доступа: <https://www.astm.org> (дата обращения: 25.06.2025).

75. J. Korpi A new peat production concept – results of the development work during 2004–2007 / J. Korpi [et al.] // Proceedings of the 13th International Peat Congress Tullamore. – Ireland. – 8–13 June 2008. – Vol. 1. – pp. 120–122.

76. Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorz R. Environmental management and landscape transformation on self-heating coal- waste dumps in the upper Silesian coal basin. Land. – 2021. – № 10(1):23. DOI: 10.3390/land10010023.

77. Anderson, R. Ten-year results of a comparison of methods for restoring afforested blanket bog / R. Anderson, A. Peace // Mires and Peat. – 2017. – № 19(6). – pp. 1-23.

78. Barden, L. Primary and secondary consolidation of clay and peat. Géotechnique. / L. Barden – 1968. – № 18. – pp. 1–24.

79. Borg, Dahl M. Temporal dynamics in the taxonomic and functional profile of the Sphagnum-associated fungi (mycobiomes) in a Sphagnum farming field site in Northwestern Germany / M. Borg Dahl, M. Krebs, M. Unterseher, T. Urich, G. Gaudig // FEMS Microbiology Ecology. — 2020. — Vol. 96. — № 11. — DOI: 10.1093/femsec/fiaa204.

80. Brauns mann, C. Creep compliance mapping by atomic force microscopy / C. Brauns mann, R. Proksch, I. Revenko, T.E. Schäffer // *Polymer*. — 2014. — Vol. 55. — pp. 219-225. — DOI: 10.1016/j.polymer.2013.11.029.

81. Campbell, D. Can mulch and fertilizer alone rehabilitate surface-disturbed Subarctic peatlands / *Ecological Restoration* 32: pp. 153-160.

82. Clymo, R.S. & Hayward, P.M. 1982. The ecology of Sphagnum. In: Smith, A.I.E. (ed.): *Bryophyte ecology*. Chapman & Hall, London, New York, pp. 229-289.

83. Convention on Wetlands. (2021). Global guidelines for peatland rewetting and restoration. Ramsar Technical Report No. 11. Gland, Switzerland: Secretariat of the Convention on Wetlands. 77 p.

84. Energy Peat in Europe [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.energypeat.eu/single-post/2018/02/21/Energy-Peat-in-Europe> (дата обращения: 19.08.2024).

85. Jozefiak K., Zbiciak A., Brzezinski K., Maslakowski M. A novel approach to the analysis of the soil consolidation problem by using non-classical rheological schemes // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11, № 5. — Art. 1980. — DOI: 10.3390/app11051980.

86. Joosten H., Clarke D. Wise use of mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making. — Saarijärvi, Finland: International Mire Conservation Group and International Peat Society, 2002. — 304 p.

87. Gibson R. E., Lo K. Y. (1961). A theory of consolidation for soils exhibiting secondary compression. Oslo. Norwegian Geotechnical Institute. Volume 41, pp. 5-16.

88. Alexandre G., Thomasi L. A non-linear consolidation theory for soils exhibiting secondary compression [Электронный ресурс]. — 2023. — HAL ID: hal-03839465v2. — URL: <https://hal.science/hal-03839465v2> (дата обращения: 20.08.2024).

89. Hydraulic fork for farming and agriculture with horizontal cylinder [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.idrobenne.com/logging-grapples-and-forks/fork-for-dung-forestry-and-agricultural-applications> (дата обращения: 25.05.2025).

90. Huang, M., Lv C., Zhou S., Zhou S., Kang J. One-dimensional consolidation of viscoelastic soils incorporating Caputo-Fabrizio fractional derivative // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11, no. 3. — Art. 927. — DOI: 10.3390/app11030927.

91. Hupe, W., Schusztter M. Verbesserte motorgreifer als beitrage zur allgemeinen verbesserung des grefernumschlages .Hebezeuge und Fordermittel. 1965. – №. 1. – pp. 6-9.

92. Hu, Z. Ecological restoration of abandoned mine land in China / Z. Hu, P. Wang, J. Li // *Journal of Resources and Ecology*. — 2012. — Vol. 3, No. 4. — pp. 289-296. — DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2012.04.001.

93. Mechanical Properties of Biological Tissues [Электронный ресурс]. – URL:<http://courses.washington.edu/bioen520/notes/Viscoelasticity.pdf> (дата обращения 30.05.2025).

94. Meng, Xianmin The next huge peat and growing media market in the world. Proceedings of the 15th International peat Congress 15-19 August 2016. – Kuching, Malasia, 2016. – pp. 51-54.

95. Mikhailov, A. Restoration of peatlands after selective white peat excavation / A. Mikhailov // *Book of Abstracts of the 14th International Peat Congress. Peatlands in Balance Stockholm, Sweden June 3-8. – 2012 – P. 448 – DOI: 10.1017/CBO9781139059152.015.*

96. Navarro, V. Secondary compression of clays as a local dehydration process / V. Navarro, E.E. Alonso // *Geotechnique*. — 2001. — Vol. 51, № 10. — pp. 859-869. — DOI: 10.1680/geot.2001.51.10.859.

97. Plaseied, A. Deformation response and constitutive modeling of vinyl ester polymer including strain rate and temperature effects / A. Plaseied, A. Fatemi // *Journal of Materials Science*. — 2008. — Vol. 43. — pp. 1191-1199. — DOI: 10.1007/s10853-007-2297-z.

98. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. — 1963. — Vol. 178. — P. 831-846.

99. Monjezi, M. Prediction and controlling of flyrock in blasting operation using artificial neural network / M. Monjezi, A. Bahrami, A.Y. Varjani, A.R. Sayadi // *Arabian*

Journal of Geosciences. — 2011. — Vol. 4, № 3-4. — P. 421-425. — DOI: 10.1007/s12517-010-0188-0.

100. Paludikultur auf Hochmooren [Электронный ресурс] / Greifswald Mire Centre. — URL: <https://moorwissen.de/paludikultur-auf-hochmoor-standorten> (дата обращения: 29.04.2025).

101. Peat Market Potential Growth Rate | Top 10 Key Players, Booming Trends, Share, Industry Forecast, Opportunities, Development by Region Wise [Электронный ресурс] // Industry Today. — 2023. — URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/peat> (дата обращения: 10.05.2025).

102. Statistics MRC: Global Market Research Reports & Industry Analysis [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.strategymrc.com> (дата обращения: 10.05.2025).

103. Геологическая служба США. Статистика и информация о торфе [U.S. Geological Survey Peat Statistics and Information] [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.usgs.gov/peat-statistics-and-information> (дата обращения: 10.05.2025).

104. Wang, J. Effects of tong shapes on hydraulic log grapple's performance in loading and unloading operations / J. Wang // International Journal of Forest Engineering. — 2003. — Vol. 14, № 1. — pp. 59-66. — DOI: 10.1080/14942119.2003.10702470.

105. Wilkinson, H.N. Research into the design of grabs by tests on models / H.N. Wilkinson // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. — 1963. — Vol. 178. — pp. 831-846. — DOI: 10.1243/PIME_PROC_1963_178_057_02.

106. Zhu, H.H.; Zhang, C.C.; Mei, G.X.; Shi, B.; Gao, L. Prediction of one-dimensional compression behavior of Nansha clay using fractional derivatives. Mar. Georesources Geotechnol. 2016, 35, pp. 688–697. DOI:10.1080/1064119x.2016.1217958.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технические характеристики полуприцепа 1-ПТС2



Рисунок А.1 – Полуприцеп 1-ПТС2 тракторный самосвальный

Таблица А.1 – Основные технические характеристики полуприцепа 1ПТС-2

Параметр	Величина
Масса перевозимого груза, кг, не более	2000
Масса прицепа, кг, не более	820
Нагрузка на петлю дышла полной массы, кг	300 (+50)
Максимальная скорость движения, км/час	35
Габаритные размеры, мм, не более:	
-длина	3960
-ширина	2110
-высота/с надставными бортами	1610/2210
Внутренние размеры платформы, мм, не менее	2460x2010x620/1160
Погрузочная высота, мм, не более	1000
Объем платформы, м ³ , не менее:	
- с основными бортами	3,0
- с основными и надставными бортами	5,7
Угол подъема платформы (назад, на стороны), °	50
Ширина колеи, мм	1600
Дорожный просвет без груза, мм, не менее	360
Шины	Я-324 или НкФ-8 9,00-16
Рабочая тормозная система	пневматическая с однопроводным приводом
Стояночная тормозная система	механическая, с ручным приводом

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Технические характеристики гидроманипулятора Атлант-90

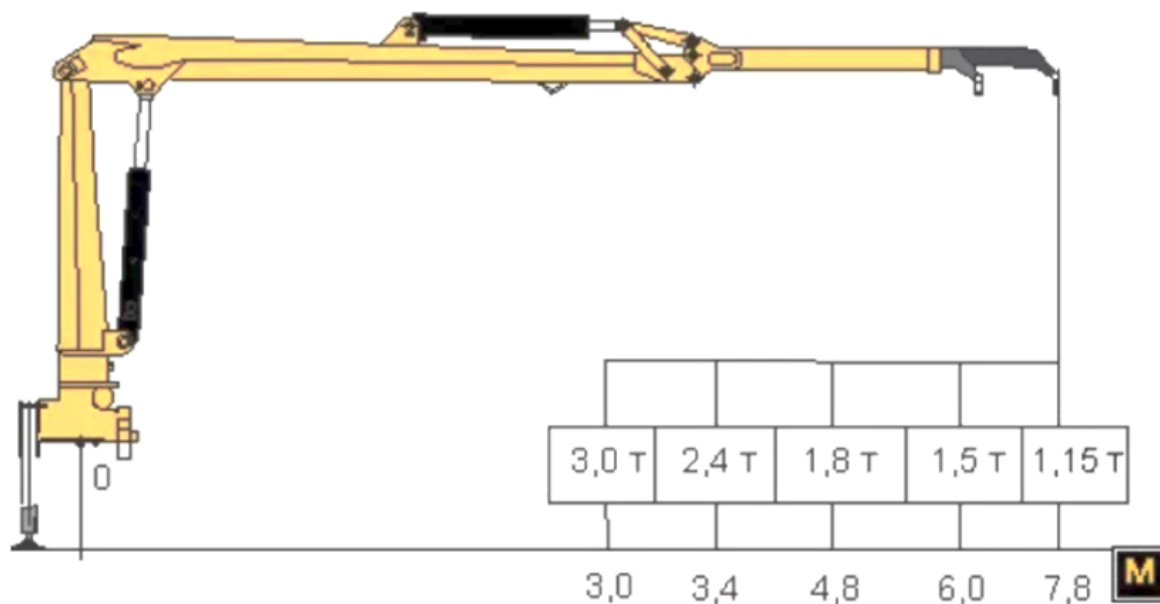


Рисунок Б.1 – Параметрическая схема гидроманипулятора Атлант-90

Таблица Б.2 – Основные характеристики гидроманипулятора Атлант-90

Параметр	Величина
Грузовой момент, кН×м	90
Максимальный вылет стрелы, м	7,8
Максимальная высота подъема, м	9,7
Угол подъема стрелы, °	80
Максимальная глубина опускания, м	3,2
Габаритные размеры, м	5,6x2,5x2,3
Масса без ротатора и грейфера, кг	1700
Грузоподъемность при максимальном вылете стрелы, кг	1150

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические характеристики трактора МТЗ Беларус 622



Рисунок В.1 – Общий вид трактора МТЗ Беларус-622

Таблица В.1 – Технические характеристики трактор Беларус-622 (МТЗ)

Двигатель	
Тип	4-тактный дизель с турбонаддувом
Модель	«LOMBARDINI» LDW2204T
Мощность	46
Рабочий объем, кВт	2,07
Максимальный крутящий момент, Н×м	174
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт×ч	329
Ёмкость топливного бака, л	90
Трансмиссия	
Коробка передач	механическая, с муфтами легкого включения
Число передач	вперёд/назад 16/8
Скорость движения	вперёд/назад 1,2-36,6/2,1-19,5
Гидронавесная система	Универсальная, отдельно-агрегатная
Грузоподъёмность заднего НУ на оси подвеса, кг	2800
Максимальное давление, МПа	20
Производительность насоса, л/мин	40
Ёмкость гидросистемы, л	22

Продолжение таблицы В.1

Размеры и масса	
Длина общая, мм	3450
Ширина, мм	1700
Высота по кабине, мм	2380
База трактора, мм	1390
Клиренс, мм	560
Наименьший радиус поворота, м	3,9
Масса эксплуатационная, кг	2410
Шины:	передних колёс 12,4R-16 задних колёс 360/70R24
Колёсная формула	4x4

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технические характеристики вилчатого грейфера FLO-10



Рисунок Г.1 – Вилчатый двухчелюстной грейфер FLO-10

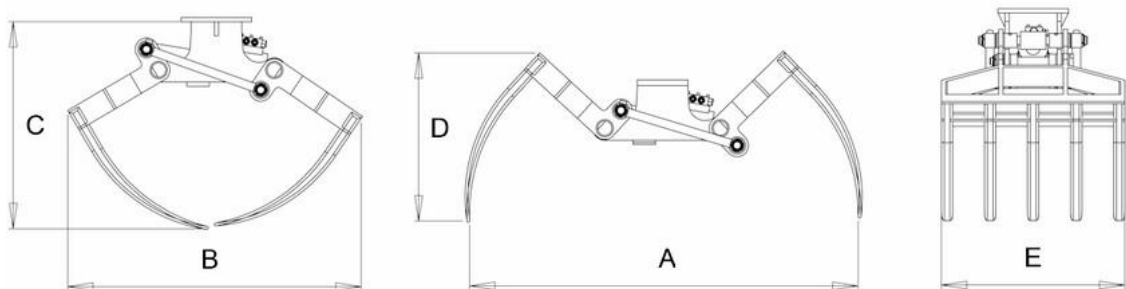


Рисунок Г.2 – Геометрические параметры FLO

Таблица Г.1 – Основные характеристики вилчатого грейфера FLO-10

Параметр	Величина
Вместимость, м ³	0,13
Количество зубьев, шт.	10
Максимальная грузоподъемность, Н	6000
Давление, развиваемое в гидроцилиндрах, бар	220
A, мм	1300
B, мм	1020
C, мм	680
D, мм	580
E, мм	650

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты экспериментальных исследований

Таблица Д.1 – Результаты полевых исследований сопротивления сдвигу

№ эксп.	Глубина зондирования, м				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	49	24	34	38	43
2	54	21	31	41	38
3	53	20	35	33	32
Среднее значение	52	21	33	37	37
τ , кПа	20	8	11	9	10

Таблица Д.2 – Результаты полевых исследований сопротивления поверхностному зондированию

№ эксп.	Глубина зондирования, м				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	200	270	350	345	270
2	380	420	300	290	350
3	210	310	320	300	290
Среднее значение	263	333	323	311	303
q , кПа	62	94	84	80	76

Таблица Д.3 – Результаты эксперимента по внедрению зуба в торфяной массив

№ эксп.	Глубина, м		
	0,1	0,2	0,3
1	450	400	430
2	430	450	440
3	420	400	450
4	420	430	410
5	440	410	430
Ср., Н	432	418	438
τ , кПа	30,49	31,20	32,13

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования



Утверждаю

Директор ООО «Агровит»

И.О. Звездин

Дата 24 марта 2025 г.

АКТ о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертации
Соловьева Ивана Васильевича
по научной специальности 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Комиссия (специальная) в составе:

Председатель И.О. Звездин – директор ООО «Агровит»;

Члены комиссии: О.И. Звездин – главный инженер ООО «Агровит», А.И. Смирнов – начальник участка

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации Соловьева И.В. на тему «Обоснование технологических требований к поверхностной выемке органогенного сырья и структуры выемочно-транспортного модуля», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы в производственной деятельности «ООО Агровит» при разработке плана развития горных работ в виде:

- инженерной методики определения параметров рабочих площадок в рамках реализации блочной технологии поверхностной выемки с определением производительности технологических участков за один добычный сезон;
 - рекомендаций, полученных в результате анализа размерно-массовых характеристик органогенного сырья для обоснования структуры и геометрических параметров оборудования для осуществления выемки без нарушения его естественной структуры;
 - экспериментальных данных по исследованию скорости восстановления растительного слоя торфяной залежи после выемки с применением элементов палудикультуры.
- Использование указанных результатов позволяет:
- определить период цикла восстановления растительного слоя торфяной залежи после осуществления выемки;
 - сократить отходы производства при ведении выемочных работ на 15 % в результате сжатия сырья в процессе захвата с уменьшением влагосодержания захватываемой порции;
 - уменьшить энергоемкость процесса отрыва органогенного сырья из залежи на 38 % с помощью двухчелюстного вильчатого грейфера с боковыми режущими парами.

Председатель комиссии

Директор ООО «Агровит»

И.О. Звездин

Члены комиссии:

Главный инженер ООО «Агровит»

О.И. Звездин

Начальник участка

А.И. Смирнов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Патент на полезную модель

