

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Федоров Александр Сергеевич



**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВАТЕЛЯ
ОКУСКОВАННОГО ТОРФА ТРУБЧАТОГО ТИПА ШНЕКОВОГО
ПРЕССА СТИЛОЧНОЙ МАШИНЫ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Михайлов А.В.

Санкт-Петербург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	16
1.1 Анализ технологии экскаваторной добычи торфяного сырья	16
1.2 Анализ процесса добычи и технологических схем добычи окускованной торфяной продукции.....	20
1.3 Обзор и анализ технологического оборудования по окускованию торфяного сырья в условиях карьера.....	31
1.4 Анализ мундштуков шнековых прессов стилочных машин для производства окускованной торфяной продукции.....	45
1.5 Выводы по Главе 1	56
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОКУСКОВАНИЯ ЭКСКАВИРОВАННОГО ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ.....	60
2.1 Анализ формы, размера куска и его расположения на поле сушки	60
2.2 Анализ напряженно-деформированного состояния вертикально расположенного торфяного куска под действием его собственного веса	64
2.3 Обоснование формы и размеров мундштука шнекового пресса	71
2.4 Моделирование степени механической переработки торфяного сырья в составном мундштуке шнекового пресса.....	78
2.5 Параметрический анализ объемной производительности шнекового пресса с составным трубчатым мундштуком.....	88
2.6 Энергоемкость механической переработки и формования торфяного сырья в шнековом прессе с составным трубчатым мундштуком и пустотообразователем	92
2.7 Выводы по Главе 2.....	95
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	97
3.1 Программа экспериментальных исследований	97
3.2 Нарботка образцов торфяного сырья	99
3.3 Методика отбора проб торфяной залежи	101
3.4 Камеральные работы и подготовка торфяного сырья к лабораторным исследованиям.....	102
3.5 Методы и аппаратура для определения физико-механических свойств торфяного сырья.....	104
3.5.1 Определение предельного напряжения сдвига торфяного сырья	104

3.5.2 Формование физических моделей торфяного трубчатого куска	109
3.5.3 Описание экспериментальной установки для формования торфяного сырья в куски трубчатой формы	110
3.5.4 Исследование структуры смесей двух видов торфяного сырья.....	113
3.5.5 Моделирование вертикальной стилки торфяного трубчатого куска ...	116
3.5.6 Исследование по формованию и сушке торфяных трубчатых кусков.	118
3.6 Методика обработки результатов экспериментов	119
3.7 Выводы по Главе 3	120
ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	121
4.1 Исследование структуры смесей двух видов торфяного сырья	121
4.2 Результаты определения предельного напряжения сдвига торфяного сырья	134
4.3 Исследования по формованию торфяного сырья	137
4.4 Результаты исследования моделирования вертикальной стилки торфяного трубчатого куска	139
4.5 Результаты исследований по формованию и сушке торфяных трубчатых кусков	141
4.6 Исследования сушки торфяных трубчатых кусков в естественных условиях	145
4.7 Выводы по Главе 4	150
ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ	152
5.1 Технологическое обоснование рабочего процесса стилочной машины .	152
5.2 Сопровождение укладки торфяных трубчатых кусков.....	158
5.3 Выводы по Главе 5	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ А Технические характеристики машин парка технологического оборудования по производству кускового торфа	180
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Основные характеристики торфяной залежи	187
ПРИЛОЖЕНИЕ В Условия проведения экспериментов	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Документы, подтверждающие техническую новизну разработки.....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Документы о внедрении результатов.....	195

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Практическое освоение торфяных месторождений для производства продукции агропромышленного и природоохранного направлений использования, энергоплотного окускованного топлива, требует значительных затрат на сушку добытого торфяного сырья.

В соответствии с энергетической стратегией России до 2035 года в рамках применения наилучших доступных технологий (НДТ) при полевом производстве окускованной торфяной продукции требуется создание новых и совершенствование существующих горных машин для осуществления таких технологий. При обоснованном выборе рационального комплекса технологического оборудования, основных схемных, конструктивных и эксплуатационных параметров оборудования, для обеспечения заданного качества продукции в условиях карьерной добычи особое внимание уделяется интенсификации процессов и в первую очередь наиболее продолжительному – сушке окускованного торфяного сырья.

Окускование торфяного сырья в объемные крупноразмерные полые 3-D фигуры методом экструзии в шнековом прессе стилочной машины, для интенсификации последующей сушки, позволяет сократить сроки производства торфяной окускованной продукции, расширить сезон добычи за счёт эффективного использования радиационно-конвективного теплоподвода в процессе сушки.

Таким образом, обоснование и выбор параметров формователя окускованного торфа трубчатого типа шнекового пресса стилочной машины является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие теории шнекового прессования широкого ряда пластических материалов внесли такие отечественные и зарубежные ученые как: Афанасьев В.Н., Зубкова Т.М., Коротков В.Г., Ильин А.П., Полищук В.Ю.,

Прокофьев В.Ю., Черняев Н.П., Chen Z., Benbow J. J., Bridgwater J., Gömze A.L., Lutz D., Zhou X., Li Z., Steffe J. F., Horrobin D.J., Джексон К., Карлей Д.Ф., Маллок Р.С., Мак-Келви Д.М., Штруб Р.А. и др.

В направлении исследования процессов окускования торфяного сырья в полевых условиях и созданию средств механизации посвящены работы: Александрова Б.М., Афанасьева А.Е., Воронкова Б.Б., Гамаюнова С.Н., Гревцева Н.В., Зюзина Б.Ф., Корчунова С.С., Малкова Л.М., Мисникова О.С., Михайлова А.В., Опейко Ф.А., Самсонова Л.Н., Селеннова В.Г., Силина В.А., Солопова С.Г., Суворова В.И., Терентьева А.А., Фомина В.К., Цветкова В.И., Чистого И.Н., Яблонева А.Л., Арво Лейнонена и др. Ими предложены технологии и соответствующие горные машины для добычи и переработки торфяного сырья. Однако в современных экономических условиях их эксплуатация сверхзатратна и малоэффективна. Поэтому создание универсальных и высокоэффективных машин для выполнения технологических процессов добычи и переработки торфяного сырья, создание средств для формирования объемных крупноразмерных полых фигур сушки требуется проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объект исследования – процесс формирования торфяного сырья в шнековом прессе мобильной торфяной стилочной машины.

Предмет исследования – закономерности механических процессов в формователе шнекового пресса.

Целью исследования. Установление закономерностей формирования механической смеси экскавированного торфяного сырья в шнековом прессе стилочной машины для разработки научно-обоснованного технического решения по получению торфяного куска трубчатой формы и повышения эффективности производства окускованной продукции с улучшенной интенсивностью влагоотдачи при сушке сформованного куска непосредственно в комплексно-механизированном карьере.

Идея исследования. Мундштук шнекового пресса стилочной машины по производству окускованной продукции рассматривается как система взаимосвязанных элементов, технические параметры которых функционально связаны между собой через геометрические форму и размеры для минимизации степени механической переработки торфяного сырья при формовании торфяного куска трубчатой формы в виде объемных 3-D фигур.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы и обосновать форму и размеры торфяного куска для интенсификации процесса полевой сушки.
2. Провести параметрический анализ структуры формирующих рабочих органов торфяных стилочных машин и обосновать конструкцию мундштука шнекового пресса для производства торфяной окускованной продукции заданной формы и размера.
3. Разработать модель процесса механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с мундштуком и пустотообразователем.
4. Разработать установку и модель шнекового формователя для проведения лабораторных исследований процесса формования на натуральных образцах торфяного сырья.
5. Оценить производительность и энергоемкость механической переработки в шнековом прессе при формовании смеси торфяного сырья мало-нарушенной структуры с учетом геометрических параметров пресса с мундштуком и пустотообразователем.
6. Разработать методику экспресс оценки структуры исходного композитного торфяного сырья перед формованием.
7. Оценить интенсификацию процесса сушки модельной окускованной торфяной продукции с обоснованной формой и размерами.

Научная новизна работы:

1. Структура формователя окускованного торфа шнекового пресса стилочной машины, включающая составной мундштук с пустотообразователем представлена в виде взаимосвязанных элементов системы формирования торфяного сырья в куски трубчатой формы.

2. Минимизации степени механической переработки торфяного сырья при формировании торфяного трубчатого куска достаточной плотности без потери первоначальной геометрической формы при вертикальной его укладке, обеспечивается при отношении шага витков к радиусу шнека $H/R = 1,33$ при суммарном коэффициенте сопротивления составного мундштука с пустотообразователем $K = 2,93 \cdot 10^{-6}$.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены функциональные зависимости изменения параметров окускованной торфяной продукции трубчатого типа от геометрических и силовых параметров шнекового пресса с составным формующим мундштуком и пустотообразователем для получения окускованной торфяной продукции трубчатого типа в виде крупноразмерных полых 3-D фигур.

2. Разработана математическая модель процесса механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с составным мундштуком и пустотообразователем, связывающая структурные, конструктивные и кинематические параметры пресса с эффективностью технологического процесса и размерно-массовыми параметрами торфяного сырья.

3. На основе проведенных исследований предложены технические решения и определены структура и параметры составного мундштука шнекового пресса с пустотообразователем для применения при создании технологического оборудования по производству окускованной торфяной продукции.

4. Материалы по структуре и конструктивному оформлению технологического оборудования для производства торфяной окускованной продукции трубчатого типа заложены ООО «Политорф» в исходные данные «Проекта по созданию предприятия по добыче и последующей переработке торфяного сырья для производства кипованного торфа, торфяных субстратов и мелиорантов» в привязке к участку недр местного значения (торфяное месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491).

5. Определены рациональные конструктивные и геометрические параметры составного мундштука шнекового пресса торфяной стилочной машины.

6. По теме работы получены три патента РФ на полезную модель.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения работ принят комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение научно-технической и патентной информации, положения теории машин и механизмов, теоретической механики, проведения экспериментальных исследований с помощью оригинального экспериментального оборудования на образцах натурального материала, использования при обработке экспериментальных данных методов математической статистики и регрессионного анализа, выполненных с помощью стандартного программного обеспечения.

Соответствие паспорту специальности. Тема исследования соответствует п.3 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования и их элементов» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснованная структура формователя окускованного торфа шнекового пресса стилочной машины, включающая составной мундштук с

пустотообразователем обеспечивает получение торфяных кусков трубчатой формы с толщиной стенки 30–40 мм и отношением диаметра к длине $L = D\sqrt{2}$.

2. Для минимизации степени механической переработки торфяного сырья при формировании торфяного трубчатого куска достаточной плотности без потери первоначальной геометрической формы при вертикальной его укладке, необходимо, чтобы отношение шага витков к радиусу шнека составляло $H/R=1,33$ при суммарном коэффициенте сопротивления составного мундштука с пустотообразователем шнекового пресса $K = 2,93 \cdot 10^{-6}$.

Достоверность положений, выносимых на защиту, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задач исследований; непротиворечивостью их фундаментальным законам и зависимостям; применением апробированных научных методов экспериментальных исследований, достаточным объемом экспериментальных данных и стандартными методами обработки полученных результатов.

Апробация диссертационной работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- Международная научно-практическая конференция «Проблемы разработки перспективных технологических систем» (Омск, 2017);
- I Международная научно-практическая конференция «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация» (Санкт-Петербург, 2018);
- Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (Санкт-Петербург, 2018, 2019);
- IV Международная научно-практическая конференция «Автоматизированное проектирование в машиностроении» (Новокузнецк, 2018);

- Международная конференция Freiburger-St. Petersburger Kolloquiumjunger Wissenschaftler, (Фрайберг, Германия, 2019);
- Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники, образования» (Магнитогорск, 2020-21).

Связь темы диссертации с научно-техническими программами. Диссертационная работа выполнена в рамках реализации задач научной школы «Машины, механизмы и энергообеспечение горного производства» в Санкт-Петербургском горном университете, а также соответствует приоритетному направлению «Рациональное природопользование» и критическим технологиям Российской Федерации «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи».

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследований, разработке методики исследования оборудования, определении параметров при проектировании и реализации новых конструкций формователей, создании лабораторной установки, организации и проведении полевых и лабораторных исследований, в анализе полученных результатов.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 12 печатных работах, в том числе в 3 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и в систему цитирования Scopus. Получено 3 патента.

Публикации в изданиях, из Перечня ВАК:

1. Федоров, А.С. Параметры мундштука шнекового пресса с учетом требований к торфяной формованной продукции / А.С. Федоров, Ю.В. Казаков, Д.В. Фадеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – S. – С.3-15.

Соискателем проведен анализ требований к окускованной торфяной продукции и, с целью интенсификации процесса полевой сушки обоснованы размеры и форма торфяного куска.

2. Федоров, А.С. Механическая переработка торфяного сырья при формировании в составном мундштуке шнекового пресса / А.С. Федоров, А.В. Михайлов, Д.Р. Гарифуллин // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2020. – №12, (спец. выпуск 44). – С 3-14.

Соискателем определены конструктивные и кинематические параметры составного мундштука мобильного шнекового пресса, установлено влияние степени механической переработки торфяного сырья от отношения шага витков к радиусу шнека при постоянной угловой скорости и выполнена оценка степени механической переработки торфяного сырья в составном мундштуке при формировании трубчатых кусков.

3. Михайлов, А. В. Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов А. В., О.Ж. Гармаев, А.С. Федоров, Д.Р. Гарифуллин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019, № 7. – С. 30-41. DOI: 10.25018/0236-1493-2019- 07-0-30-41.

Личный вклад соискателя заключается в анализе технологических особенностей карьерного способа добычи торфяного сырья при производстве окускованной торфяной продукции.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. Mikhailov, A.V. Preliminary study of tubular peat extrusion / A.V. Mikhailov, O.Z. Garmaev, A.S. Fedorov – DOI: 10.1088 / 1757-899X/560/1/012061 – Text electronic // IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. 2019. Vol. 560: 012061. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012061> (date of request 30.07.2019). (Scopus).

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментов по получению куска трубчатой формы.

5. Mikhailov, A V. The Relationship between Fractal Properties and Active Porosity of Peat Compositions / A.V. Mikhailov, O.Z. Garmaev, A.S. Fedorov – doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.836.58 Text electronic // Key Engineering Materials. 2020. №836. pp. 58-62. URL: <https://www.scientific.net/KEM.836.58> (date of request 05.03.2020). (Scopus).

Личный вклад соискателя заключается в исследовании морфологии поверхности торфяных смесей методами фрактального анализа и обосновании соотношения компонентов торфяной смеси для получения структуры, отвечающей наилучшими физико-механическим характеристикам окускованной продукции.

Публикации в прочих изданиях:

6. Федоров, А.С. Перспективы распределенной энергетики на торфяном топливе / А.С. Федоров // Проблемы разработки перспективных технологических систем: сборник статей Межд. научно-практ. конфер. - Уфа: АЭТЕРНА. - 2017 г. - С. 125-128.

Соискателем проведен анализ стратегии распределенной энергетики с использованием местных топливных ресурсов (торфяная окускованная продукция) для укрепления энергетической и экологической безопасности регионов.

7. Михайлов, А.В. Анализ условий полевого производства окускованной торфяной продукции / А.В. Михайлов, А.С. Федоров // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы межд. научно-практ. конфер. – СПб.: СПбФ НИЦ МС. 2018. №1. – С. 146-147.

Личный вклад соискателя заключается в анализе влияния размеров окускованного торфяного сырья на технологические показатели, а также предложено направление выбора и обоснования параметров формующего

мундштука торфяного шнекового пресса для получения трубчатой торфяной продукции.

8. Федоров, А.С. Анализ укладки торфяных кусков для интенсификации процесса сушки / А.С. Федоров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сб. тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Под ред. В.В. Максарова– СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – С. 159.

Соискателем предложено в процессе стилки окускованной торфяной продукции устанавливать кусок в вертикальное положение для улучшения вентилирования сохнувших трубчатых кусков и увеличения площади конвективного теплоподвода.

9. Михайлов, А.В. Направления интенсификации сушки торфяной окускованной продукции в полевых условиях / А.В. Михайлов, А.С. Федоров // Автоматизированное проектирование в машиностроении. Санкт-Петербург. 2018. №6. – С. 6-8.

Личный вклад соискателя заключается в обосновании необходимости механической переработки, предварительного обезвоживания торфяного сырья и его формообразования при полевом производстве окускованной торфяной продукции.

10. Федоров, А.С. Анализ условий полевой сушки окускованной продукции / А.С. Федоров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Сб. тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Под ред. В.В. Максарова. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет. - 2019. - С. 45.

Соискателем рассмотрены способы повышения эффективности процесса сушки окускованной торфяной продукции и варианты её расположения относительно поверхности торфяной залежи.

11. Федоров, А.С. Анализ расположения мундштука шнекового пресса торфяной стилочной машины / Федоров А.С. // Актуальные проблемы

современной науки, техники и образования: тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск. - Т.1., 2020. – С. 112.

Соискателем выполнен анализ расположения мундштука шнекового пресса стилочной машины с точки зрения укладки торфяных кусков определенной конфигурации и с вертикальным ориентированием их площадке сушки.

12. Федоров, А.С. Применение составного мундштука шнекового пресса стилочной машины для производства торфяной окускованной продукции / А.С. Федоров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск. - Т.1. - 2021. – С. 76.

Соискателем рассмотрен вариант применения составного мундштука шнекового пресса стилочной машины для формирования торфяной окускованной продукции в форме толстостенной трубы и укладки отформованных кусков на поле сушки.

Патенты:

1. Патент №195588 Российская Федерация, МПК C10F 7/04 (2006.01). Устройство для формирования торфяного сырья в трубчатые куски : № 2019134141 : заявл. 23.10.2019 : опубликовано 31.01.2020 / Федоров А.С., Михайлов А.В., Гарифуллин Д.Р. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет – с.7.

Соискателем предложено устройство для формирования торфяного сырья в трубчатые куски, которое оборудовано составным мундштуком с пустотообразователем.

2. Патент №201925 Российская Федерация, МПК E21C 49/00 (2006.01). Укладчик торфяных трубчатых кусков шнекового формователя :

№ 2020136252 : заявл. 05.11.2020 : опубликовано 21.01.2021 / Федоров А.С., Михайлов А.В. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет – с.7.

Соискателем предложено техническое решение укладчика торфяных трубчатых кусков шнекового формователя, обеспечивающего установку торфяных кусков в вертикальном положении на площадке сушки.

3. Патент №202336 Российская Федерация, МПК E21C 49/00 (2006.01), E02F (2006/01), B65G 29/00 (2006.01), B65G 31/04 (2006.01), A01C 3/06 (2006.01). Устройство для подбора и метания торфяного сырья : № 2020134469 : заявл. 21.10.2020 : опубликовано 11.02.2021 / Федоров А.С., Михайлов А.В. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет - с.6.

Соискателем предложено техническое решение, позволяющее повысить производительность устройства для подбора и метания торфяного сырья при сборе торфяной крошки после сушки торфяных трубчатых кусков.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 5 приложений с учетом справки о внедрении результатов диссертационной работы в производство. Материалы работы изложены на 195 страницах машинописного текста, включая 43 таблицы, 93 рисунка. Список цитируемой литературы включает 114 источников, из них 18 – на иностранных языках.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ технологии экскаваторной добычи торфяного сырья

Сегодня широко применяемые технологии и соответствующие горные машины для добычи и переработки торфяного сырья в современных экономических условиях стали малоэффективными, а их эксплуатация сверхзатратной, что ставит перед горной промышленностью задачу по созданию новых унифицированных машин горной отрасли для повышения эффективности процесса добычи торфяной окускованной продукции.

Идеей развития технологии добычи окускованной торфяной продукции является разработка перспективных технологических процессов полевого производства окускованной торфяной продукции, при обоснованном выборе рационального комплекса технологического оборудования, основных конструктивных и эксплуатационных параметров оборудования, с обеспечением заданного качества продукции в условиях карьерного способа добычи [48, 51].

В настоящее время область применения окускованной торфяной продукции ограничивается коммунально-бытовыми потребностями в качестве кускового торфяного топлива. К производственному оборудованию предъявляются определенные требования в отношении простоты конструкции и легкости использования его в агрегатированном виде с колесными тракторами средней мощности. Со снижением себестоимости производства окускованной торфяной продукции область ее применения может значительно расширяться. В этом случае потребуются и новые, более производительные машины и рабочие органы [75].

Экскавирование торфяной массы из залежи для производства окускованной торфяной продукции может осуществляться тремя способами:

- глубинным (карьерным);
- поверхностно-послойным;

- щелевым.

Отличительной особенностью способов является влажность экскавируемой торфяной массы. При глубинном способе извлекается торфяное сырье влажностью 86-89 %; при поверхностно послойном – 70-75 %, при щелевом – 84-85 %.

Окускованная торфяная продукция в полевых условиях, производится из торфяного сырья естественной влажности 88-90% [2, 4], при этом на 1 кг сухого вещества торфяного сырья приходится 7-9 кг воды, которая является балластом в продукции. Эту воду требуется испарить при полевой сушке уже сформованного кускового торфа. Переменные погодные условия усложняют процесс сушки торфяного сырья при производстве окускованного продукта.

На качество окускованной торфяной продукции кроме исходных характеристик сырья влияет механическая переработка.

При осуществлении диспергирования торфяного сырья происходит уменьшение содержания в нем грубодисперсно-волоконистых и грубодисперсных фракций и увеличивается количество тонкодисперсных. Это увеличивает пластичность торфяной массы перед формированием кусков. Измельчение и перемешивание торфа способствуют более плотной упаковке частиц в материале при формировании и увеличению плотности окускованной продукции [46].

Сушка кусков из непереработанного торфа, имеющего много крупных пор, связана с постепенным уходом зоны испарения внутрь куска и переносом влаги на его поверхность в виде пара. Смещение зоны испарения снижает интенсивность процесса, так как верхний, подсохший слой начинает экранировать внутренние. В куске, сформованном из диспергированного торфяного сырья, расположена сеть мелких капилляров, по которым влага перемещается на поверхность в виде жидкости и там свободно испаряется. Это позволяет увеличить продолжительность периода постоянной интенсивности сушки куска при общем сокращении длительности процесса [30].

Уменьшение размеров частиц, вызывая развитие капиллярных сил, приводит к интенсивному развитию усадочных напряжений и к большей усадке куска в процессе сушки, следовательно, к большей плотности и прочности окускованной продукции [31].

Намокание кусков при выпадении осадков также снижается по причине меньшего количества грубодисперсных частиц, которые, имея крупные полости, способны поглощать и удерживать большие объемы воды.

Кроме этого, при механической переработке сырья и формовании кусков из материала удаляется примерно 80-90% газовой фазы, что позволяет получить куски повышенной прочности [3].

Процесс формования торфяного сырья, находящегося в вязкопластичном состоянии, осуществляется в шнековом прессе путем продавливания массы через формообразующие насадки различной формы и размеров. Широко распространены мундштуки с круглым сечением выходного отверстия.

Окускованная торфяная продукция может применяться в качестве коммунально-бытового топлива, сырья для химической и гидролизной промышленности, металлургии и пр. [89]. Качественными характеристиками окускованной торфяной продукции являются степень разложения торфа, зольность, влажность, плотность, удельная теплота сгорания, прочность и крошимость. Прочность продукции определяется как свойствами исходного сырья, так и технологией производства.

При предварительно механически обезвоженным торфяном сырье до влажности 80%, согласно исследованиям С.С. Корчунова [70], при формовании куска [14] увеличивается его прочность, что позволяет увеличивать размеры кусков. С увеличением размера торфяного сформованного куска увеличивается его объём и удельная поверхность, которые ведут к росту интенсивности испарения влаги из торфяного материала при сушке.

Однако, с увеличением размера окускованной продукции, возрастает вероятность разрушения кусков в связи с увеличением опасных дефектов при объемно-напряженном состоянии куска. Также, с увеличением размера куска увеличивается и его способность к поглощению выпадающих осадков. Уборка крупных кусков происходит более надежно, чем мелких. С точки зрения процесса формования увеличение выходного сечения мундштуков упрощает процесс. Снижаются энергозатраты при экструзии. Формующие мундштуки реже засоряются мелкими древесными включениями, что способствует увеличению производительности формующего оборудования и надежности функционирования [2].

Анализ технологии экскаваторной добычи торфяного сырья показал, что технологические операции процесса добычи и переработки торфяного сырья могут по разному воздействовать на качества готовой окускованной продукции. Особенностью добычи торфяного сырья в отличие от других полезных ископаемых является его высокая влажность. В настоящее время актуальной задачей является интенсификация процесса сушки окускованной торфяной продукции в полевых условиях. Эффективность сушки окускованной торфяной продукции в полевых условиях будет зависеть от размеров и формы куска, от качества его механической переработки, от интенсивности использования энергии солнца и его конвективной составляющей, производимой под действием воздушных масс. При рациональном выборе расположения окускованной торфяной продукции на поверхности поля для сушки снижается зависимость кусков от осадков и увеличивается период влагоиспарения.

Поэтому выбор размеров формующего мундштука торфяного шнекового пресса в технологии торфяного производства окускованного торфяного продукта должен производиться с учетом ряда взаимоисключающих факторов, исходя из условий формования, укладки, сушки и уборки продукции, а также из требований потребителя и качества

готовой продукции. Направления исследований в этой области могут быть направлены на выбор и обоснование параметров формующего мундштука торфяного шнекового пресса для получения толстостенной окускованной продукции трубчатой формы с целью интенсификации процесса полевой сушки.

1.2 Анализ процесса добычи и технологических схем добычи окускованной торфяной продукции

При добыче торфяного сырья карьерным способом, залежь разрабатывается на всю глубину одноковшовым гидравлическим экскаватором в болотном исполнении (типа UMG E160C) с образованием карьера. При выемке экскаватор движется вдоль откоса карьера и срезает торфяное сырье стружкой с откоса карьера.

В сложных горно-геологических условиях торфяных месторождений, наиболее высокоэффективным способом извлечения торфяной массы с карьера будет использование экскаваторной выемки. Применение экскаваторной выемки способствует снижению зависимости от природно-климатических условий, а также ведет к уменьшению техногенного влияния на окружающую среду [50].

По нормативам средняя влажность разрабатываемого слоя торфяной залежи зависит от степени разложения торфа (таблица 1) [46].

Кусковой торф [24] производится на торфяных залежах всех типов, сложенных из видов торфов, указанных в таблице 2. Кусковой торф для топливно-энергетического направления использования может производиться из торфяного сырья всех типов со степенью разложения не менее 15 % и зольностью не выше 23 % [24].

Современные технологии добычи и переработки торфяной окускованной продукции должны быть направлены на увеличение объемов

производства за сезон добычи, путем снижения зависимости климатических и метеорологических условий на процесс сушки торфяных кусков.

Таблица 1 – Нормативные значения эксплуатационной влажности торфяной залежи при экскаваторном способе добычи торфяного сырья [70]

Степень, разложения торфа, %	Эксплуатационная влажность (%) при типе торфяной залежи	
	Низинном	Верховом и переходном
15-20	88,5	89,0
21-30	87,5	88,5
31-40	87,0	88,0
>40	86,0	87,0

Внедрение новых технологических способов разработки торфяных месторождений с использованием энергоэффективного оборудования позволит производить качественную, экономически выгодную окускованную продукцию с рациональным природопользованием.

Самым продолжительным этапом добычи торфяной окускованной продукции является процесс сушки [49].

Процесс сушки в полевых условиях зависит от метеорологических условий, от природы самого торфа, от технологических факторов и гидрологических (грунтовых) условий. Процесс испарения влаги происходит под действием тепловой энергии, получаемой от солнечной радиации.

Интенсификация процесса сушки кускового торфа должна обеспечиваться за счет повышения радиационных и конвективных энергетических составляющих (мало используемая при сушке ветровая энергия).

Согласно [1, 95], на поле для сушки, в приземном слое, скорость ветра находится в пределах 0,2-0,5 м/с, что составляет не более 1 % ветровой энергии используемой при сушки торфяных кусков. Согласно графику (рисунок 1), в условиях полевой сушки торфяной окускованной продукции определено, что количество ветровой энергии, которую можно использовать

при сушке окускованной продукции соизмеримо с солнечной энергией, а в осенне-зимний сезон добычи существенно превышает [95].

Таблица 2 – Торфяное сырье для производства окускованной торфяной продукции [24]

Вид торфа	Тип торфяной залежи		
	верховой	переходный	низинный
Осоковый		+	+
Осоково-гипновый		+	+
Гипновый		+	+
Сфагновый		+	+
Сосново-сфагновый		+	+
Шейхцериевый	+	+	
Сосново-пушицевый	+		
Пушицевый	+		
Пушицево-сфагновый	+		
Шейхцерицево-сфагновый	+		
Фускум	+		
Магелланикум	+		
Комплексный	+		
Сфагново-мочажинный	+		

С целью повышения использования ветровой энергии, проведён анализ скорости ветра в зависимости от размера торфяной окускованной продукции.

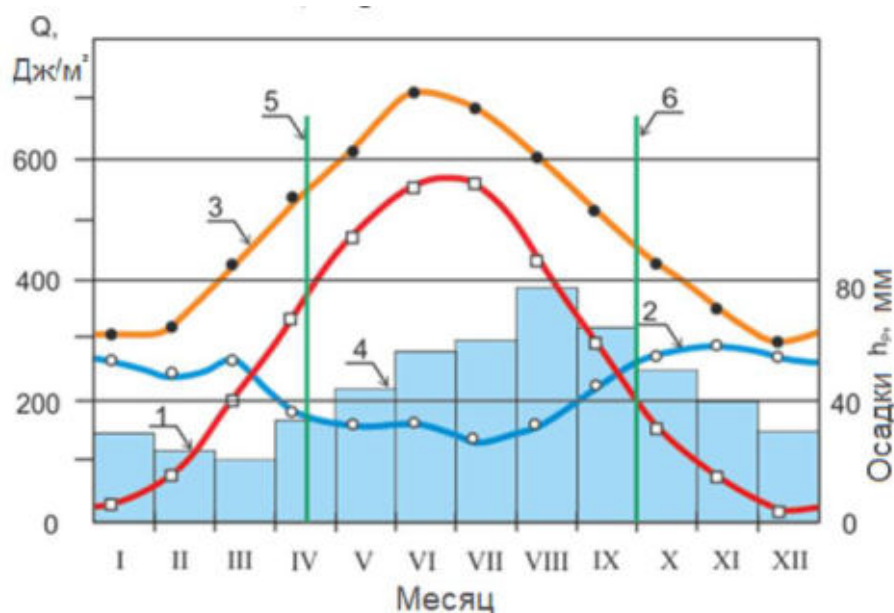


Рисунок 1 – Энергетический баланс при полевой сушке торфа: 1 – солнечная энергия; 2 – ветровая энергия; 3 – суммарная солнечная и ветровая энергия; 4 – размер выпадающих осадков; 5 – начало сезона добычи; 6 – окончание сезона добычи

Как показали выполненные исследования зависимость скорости ветра от высоты расположения куска от поверхности площадки сушки, имеет растущий вид (рисунок 2).

Так, например, для куска высотой 0,06 м скорость ветра $v_h = 1,4$ м/с, но при размерах куска высотой более 0,24 м, скорость ветра может увеличиться на 35-40 % [95] до 1,96 м/с, вследствие увеличения скорости ветра интенсивность скорости сушки окучкованного торфа может возрасти.

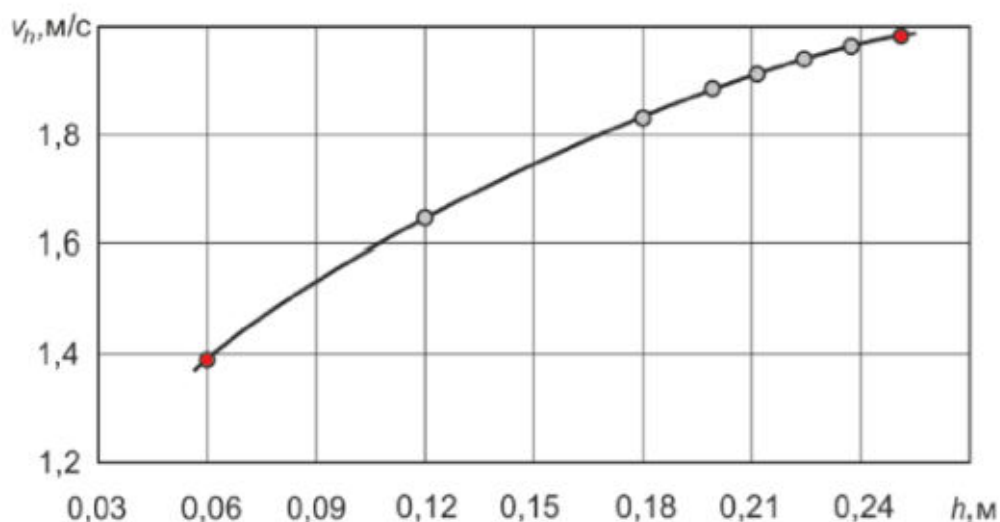


Рисунок 2 – Скорость ветра на высоте от земной поверхности в зависимости от размеров окучкованной торфяной продукции

Для активации конвективного режима часто производится ручная укладка экскаваторного кускового торфа в фигуры сушки (рисунок 3).



Рисунок 3 – Укладка кускового торфа в фигуры сушки для активации конвективного режима [104, 114]

Интенсификация производства окускованного торфа основана на более эффективном использовании солнечной энергии, при уменьшении погодной зависимости и при удлинении сезона производства [97].

Таким образом, для сокращения продолжительности сушки кускового торфа в полевых условиях при радиационно-конвективном теплоподводе с увеличением числа циклов его сбора за время сезона добычи необходимо учитывать роль каждой из составляющих теплоподвода.

Сушка торфяных кусков при карьерном способе добычи экскаватором производится на специально подготовленных и осушенных площадях, которые примыкают к разрабатываемым карьерам. При помощи картвых каналов (глубина 1,4-1,6 м, ширина по верху 1-1,2 м) осуществляется осушения подготовленных добычных полей. Как правило, продолжительность сушки окускованного торфа при добыче экскаваторным способом рассчитывается, но для производственных целей она может быть нормированной в зависимости от района расположения торфяного предприятия и класса полей сушки (таблица 3) [46].

Таблица 3 – Продолжительность сушки экскаваторного кускового торфа

Район расположения месторождения	Класс полей сушки		
	1	2	3
Первый и второй	45	50	55
Третий и четвертый	50	55	60

Поля сушки можно разделить на три класса в зависимости от фильтрационной способности торфа и подстилающего его грунта [70]:

- класс I: залежи низинного типа глубиной менее 1 метра с подстилом из супеси или песка;
- класс II: низинные залежи глубиной более 1 м, или верховые залежи глубиной менее 1 м с подстилом из супеси или песка;

- класс III: верховые залежи глубиной более 1 м с любым подстилом или верховые – глубиной менее 1 м с плохо фильтрующим подстилом из глины или суглинка.

Территория РФ разделена по своим климатическим характеристикам на четыре района. Для каждого района определен сезон добычи окускованной торфяной продукции (таблица 4).

Таблица 4 – Календарные сроки сезона добычи окускованной торфяной продукции экскаваторным способом [70]

Район расположения предприятия	Начало сезона	Конец сезона	Число календарных дней
I район (Белгородская, Брянская, Воронежская, Курская, Орловская, Оренбургская, Тамбовская, Пензенская и Саратовская области)	25.04	15.08	113
II район (Владимирская, Московская, Нижегородская, Калужская, Ивановская, Рязанская, Смоленская, Тульская области, Башкортостан, Мари-Эл, Татарстан)	3.05	15.08	105
III район (Костромская, Тверская, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Ярославская области)	3.05	5.08	95
IV район (Вологодская, Новосибирская, Омская, Кировская, Свердловская, Челябинская, Тюменская области, Пермский край, Удмуртия)	10.05	15.08	98

Продолжительность сушки окускованного торфяного сырья составляет 40-60 дней. Число технологических циклов за сезон добычи при экскаваторном способе 2-3.

На продолжительность сушки, кроме погодных условий и характеристики торфа, в основном влияют начальная влажность, а также размеры и форма кусков [2].

По первому варианту технологии извлекаемое торфяное сырье загружается непосредственно в бункер стилочной машины (рисунок 4). Стилочная машина транспортирует торфяное сырье на поле сушки, на

котором происходит окускование торфяного сырья и выстилка кусков на поверхности поля.

После подсушки торфяных кусков до значения условной влажности происходит их сбор в валки треугольного сечения, подбор из валков погрузчиком и погрузка в транспортные средства для доставки к месту хранения или в цех на дальнейшую переработку.



Рисунок 4 – Технологическая схема с прямой погрузкой сырья в бункер стилочной машины

При сравнении первого и второго варианта технологий, отличительной чертой будет погрузка экскаватором торфа из залежи. В первой технологии идет погрузка в бункер стилочной машины, а во второй укладка торфяной массы в навал вдоль карьера. В навале торфяное сырье, в зависимости от свойств торфа, выдерживается в течении 5–7 суток. При выдержке в навале, происходит процесс гравитационного обезвоживания торфяной массы с последующим снижением влажности торфа до 84–86 %. Снижение влажности торфяной массы способствуют переходу торфяного сырья в нормальное пластическое состояние, что способствует повышению качества его формования. После процесса частичного обезвоживания, с помощью фронтального погрузчика торфяная масса перегружается в бункер стилочной машины, которая оборудована сепаратором пней и смесителем. Начальное влагосодержание кусков при этом будет таким же или ниже, чем в первом варианте.

Продолжительность сушки сократится, а количество технологических циклов может увеличиться. Все остальные операции по стилке, сушке и уборке аналогичны первому варианту [33].

По третьему варианту технологии извлекаемое торфяное сырье загружается непосредственно в кузов транспортного средства (рисунок 5).

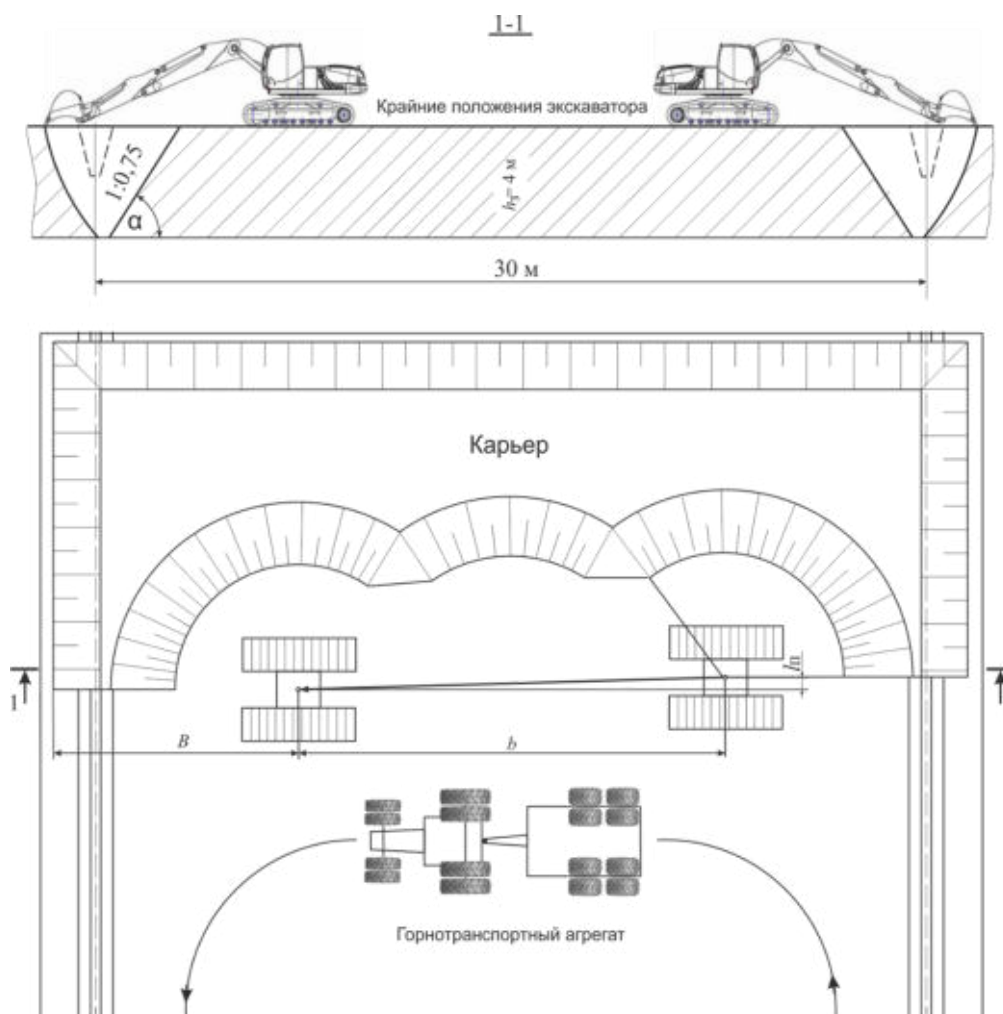


Рисунок 5 – Схема выемки торфяного сырья и проходкой при перемещении экскаватора по зигзагу и погрузкой в горнотранспортный агрегат: ширина передвижки экскаватора b , (м); длина передвижки экскаватора l_n , (м)

Для снижения побочных маневров и увеличения максимальной производительности процесса горнотранспортный агрегат перемещается вдоль выработки. На одностороннем карьере экскаваторы работают с одной стороны. Горнотранспортный агрегат транспортирует торфяное сырье в навал на поле сушки [47].

Далее, как во втором способе, в навале, торфяное сырье подвергается выдержке в навале 5-7 дней с обезвоживанием до влажности 88-86 % (рисунок 6).

Затем частично обезвоженное торфяное сырье из навала загружается фронтальным погрузчиком в бункер стилочной машины, оборудованной сепаратором пней и смесителем. Торфяное сырье транспортируется стилочной машиной на поле сушки, на котором происходит окускование торфяного сырья и выстилка кусков на поверхности поля.

Процесс транспортировки торфяного сырья получается энергетически затратным, по причинам того, что стилочная машина является специализированной машиной, предназначенной непосредственно для укладки торфяной окускованной продукции и работе непосредственно на поле для сушки.



Рисунок 6 – Технологическая схема с транспортированием экскавированного торфяного сырья в навал на площадке сушки и последующим окускованием

После подсушки торфяных кусков до значения условной влажности происходит их сбор в валки треугольного сечения, подбор из валков погрузчиком и погрузка в транспортные средства для доставки к месту хранения или в цех на дальнейшую переработку.

Рассмотренные варианты технологических схем экскаваторной добычи торфяного сырья и получения окускованной торфяной продукции отличаются составом парка технологического оборудования (таблица 5) и требованиями к конечной влажности окускованной продукции.

Таблица 5 – Сравнение технологических процедур и оборудования по трем технологическим схемам

Технологические процедуры / технологическое оборудование		
Первая схема	Вторая схема	Третья схема
Выемка торфяного сырья с погрузкой в бункер стилочной машины Экскаватор E160C	Выемка торфяного сырья с укладкой в навал Экскаватор E160C	Выемка торфяного сырья с погрузкой в кузов горно-транспортного агрегата/ Экскаватор E160C
Транспортирование сырья на площадку сушки/Стилочная машина	Погрузка сырья в бункер стилочной машины из навала / погрузчик Амкодор-342Р	Транспортирование сырья в навал на площадке сушки / Горно-транспортный грегат
Окускование сырья с укладкой на поле сушки/Стилочная машина	Транспортирование сырья на площадку сушки/ Стилочная машина	Погрузка сырья из навала в бункер стилочной машины/ погрузчик Амкодор-342Р
Сбор подсушенного куска/ Валкователь	Окускование сырья с укладкой на поле сушки/ Стилочная машина	Окускование сырья с укладкой на поле сушки/ Стилочная машина
Погрузка подсушенного куска/ Погрузчик	Сбор подсушенного куска/ Валкователь	Сбор подсушенного куска/ Валкователь
Транспортирование куска / Горно-транспортный агрегат	Погрузка подсушенного куска/ Погрузчик	Погрузка подсушенного куска/ Погрузчик
-	Транспортирование куска / Горно-транспортный агрегат	Транспортирование куска/ Горно-транспортный агрегат

Первая схема отличается минимальным комплектом технологического оборудования, состоящим из 5 типов машин, малой дальностью вывозки экскавированного торфяного сырья до 500 м и, соответственно, малым масштабом производства. Влажность торфяного экскавированного сырья соответствует влажности торфа в залежи 86-89 % ($W=6,14-8,09$ кг/кг).

По второй и третьей схемам торфяное сырье укладывается в навал для предварительного гравитационного обезвоживания до влажности 84-86 % ($W=5,25-6,14$ кг/кг). По второй схеме навал торфяного сырья образуется

выемочным экскаватором вдоль забоя карьера, что создает определенные неудобства для последующей погрузки и вывозки торфяного сырья.

По третьей схеме экскавированное торфяное сырье грузится экскаватором в горнотранспортные агрегаты, и навал торфяного сырья образуется за пределами карьера на площадке сушки.

В этих схемах присутствует фронтальный погрузчик и горнотранспортный агрегат для погрузки и транспортирования торфяного сырья.

Вторая и третья технологические схемы позволяют увеличенный масштаб производства при дальности вывозки сырья до 2000 м на специальные площадки для укладки и сушки окускованной продукции.

По третьей схеме экскавированное торфяное сырье сразу удаляется за пределы карьера, что не загромождает фронт работ экскаватора и повышает проходимость колесного оборудования при транспортировании торфяного сырья обычными горнотранспортными агрегатами вместо специализированных стилочных машин.

Анализ процесса добычи торфяной продукции показал, что процесс сушки торфяной окускованной продукции является самым продолжительным этапом. Для увеличения скорости сушки окускованной торфяной продукции необходимо задействовать максимум тепловой энергии приходящей под действием солнечной радиации и энергии ветра. В настоящее время при сушке кусков используется 1 % энергии, подводимой под действием воздушных масс и для увеличения конвективной составляющей процесса сушки необходимо стремиться к увеличению высоты куска.

Основное направление современной добычи торфяной окускованной продукции должно быть направлено на снижение зависимости торфяных кусков от неблагоприятных природно-климатических условий в процессе сушки.

В результате анализа технологических схем добычи окускованной торфяной продукции можно выделить три основные схемы добычи:

Схема 1 – с прямой погрузкой сырья в бункер стилочной машины;

Схема 2 – с погрузкой в навал вдоль карьера, выдержкой в навале в течении 5-7 суток и последующей погрузкой в торфяную стилочную машину;

Схема 3 – с транспортированием экскавированного торфяного сырья в навал на площадке сушки и последующим окускованием.

При сравнение технологических схем экскаваторной добычи торфяного сырья с последующим получением окускованной торфяной продукции, определено, что наибольшим комплектом технологического оборудования будет схема №3 с транспортированием экскавированного торфяного сырья в навал на площадке сушки с последующим окускованием.

Но при использовании схемы №3 увеличивается масштаб производства, снижается количество технологических циклов из-за отсутствия навалов вдоль карьера, которые могут усложнить работу и проходимость экскаватора вдоль карьера, а также снижается количество маневров горнотранспортных агрегатов вдоль выработки, что способствует увеличению производительности процесса.

Частичное обезвоживание сырья в навале в течении 5-7 суток, с последующей механической переработкой при загрузке погрузчиком с бункер стилочной машины, оборудованный сепаратором пней и смесителем позволяет получить торфяные куски требуемой прочности для установки их на поле.

1.3 Обзор и анализ технологического оборудования по окускованию торфяного сырья в условиях карьера

Производство кускового торфа карьерным способом включает четыре основных операции:

- экскавацию торфяного сырья из карьера со всей глубины торфяной залежи;
- стилку окускованного торфа на полях сушки;
- сушку окускованного торфа с проведением операций ворожки;
- уборку подсушенной продукции в штабели.

Получение кускового топлива для коммунально-бытовых целей осуществляется при экскаваторном способе добычи торфяного сырья [24].

Выемочно-транспортный комплект машин состоит из многоковшового экскаватора МТК-14 (рисунок 7) и стилочной машины МТК-13 [75]. Торфодобывающий многоковшовый экскаватор МТК-14 [26] предназначен для добычи кускового торфа на беспнистых залежах низинного типа на глубине 4,5 м.

Экскаватор состоит из следующих основных узлов: экскавирующего устройства, поворотной рамы, торфоперерабатывающего механизма, промежуточного шнека, бункера-накопителя с разгрузочным скребковым конвейером, силовой установки с трансмиссией, рамы, гусеничного хода, управления и кабины.

Экскаватор, двигаясь вдоль откоса карьера, вынимает торфяное сырье из залежи ковшами с глубины до 4,25 м, вырабатывают полосу шириной до 12,5 м.

Экскавированное торфяное сырье из залежи поступает на переработку в пресс, в котором происходит измельчение, перетирание и перемешивание торфяной массы с последующей загрузкой в бункер-накопитель. После механической переработки, торфяная масса загружается в кузов стилочной машины, которая едет на поле для сушки и выстилает сформованную массу в виде лент длиной до 300 м [75].

При выстилке, сформованная лента в виде 3...5 ручьев, разрезается в поперечном направлении на куски равной длины 0,4 м. Сформованные ленты

сохнут при естественных погодных-климатических условиях в течении 40...60 дней.

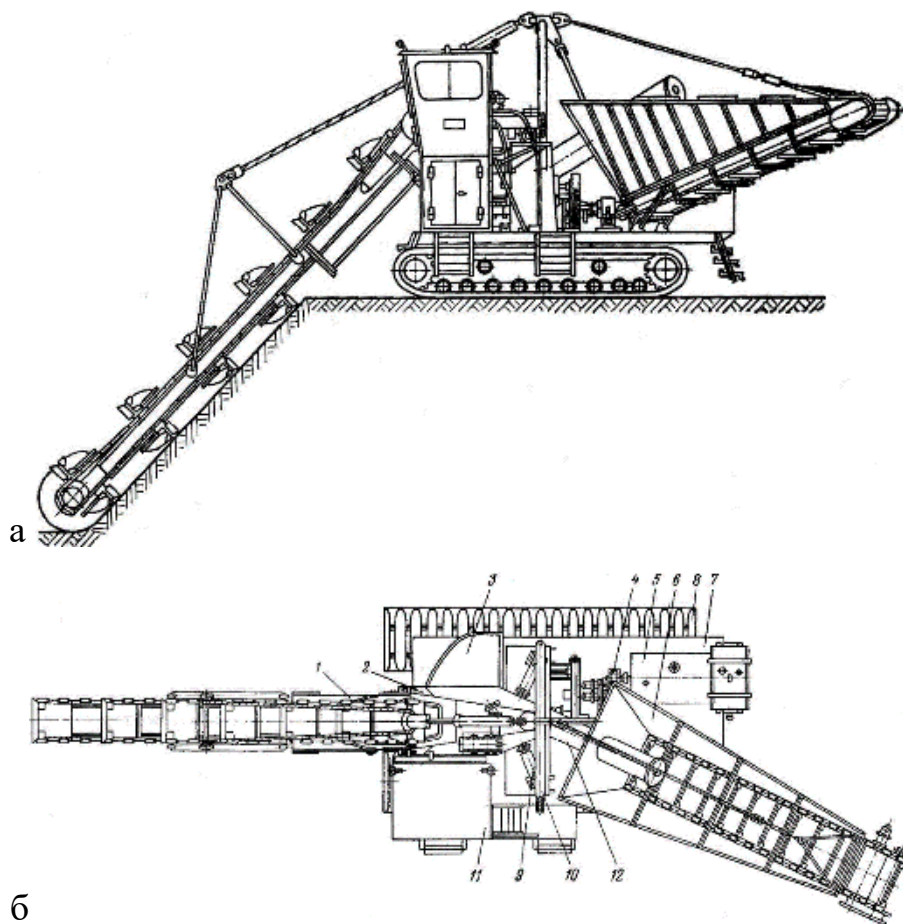


Рисунок 7 – Общий вид экскаватора МТК-14:

а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – ковшовая рама; 2 – поворотная рама;
3 – торфяной пресс; 4 – раздаточный редуктор; 5 – силовая установка; 6 – бункер-накопитель; 7 – рама; 8 – гусеничный ход; 9 – механизм поворота платформы;
10 – подвеска ковшовой рамы; 11 – кабина; 12 – промежуточный шнек

Для сокращения времени на процесс сушки, сформованные куски лент переворачиваются и собираются в валки, которые спустя время переукладываются в другие фигуры. Календарная продолжительность сезона добычи торфяной окускованной продукции составляет от 98 до 134 дней. За сезон удастся выполнить 1,5-2,5 цикла добычи кускового торфа [9].

Техническая характеристика экскаватора МТК-14 [26] приведена в Приложении 1.

Основными узлами стилочной машины МТК-13 (рисунок 8, таблица 6) являются: бункер 2 с подвижным дном 3 и заслонкой 4, напорный шнек 8, мундштук 9. Мундштук движется по поверхности поля стилки и оставляет на ней высланную торфяную ленту, сечение которой по форме и размерам соответствует размеру мундштука.

Подача торфяной массы в шнековый формователь регулируется при помощи специальной заслонки. Это позволяет выдерживать нужную скорость истечения торфяной массы из мундштука и избегать наплыва или вытяжки ленты [75].

Комплект машин состоит из одного экскаватора и одной стилочной машины. Грузовая стилочная машина выполняет формирование торфяной массы с последующей стилкой сформованных торфяных кусков.

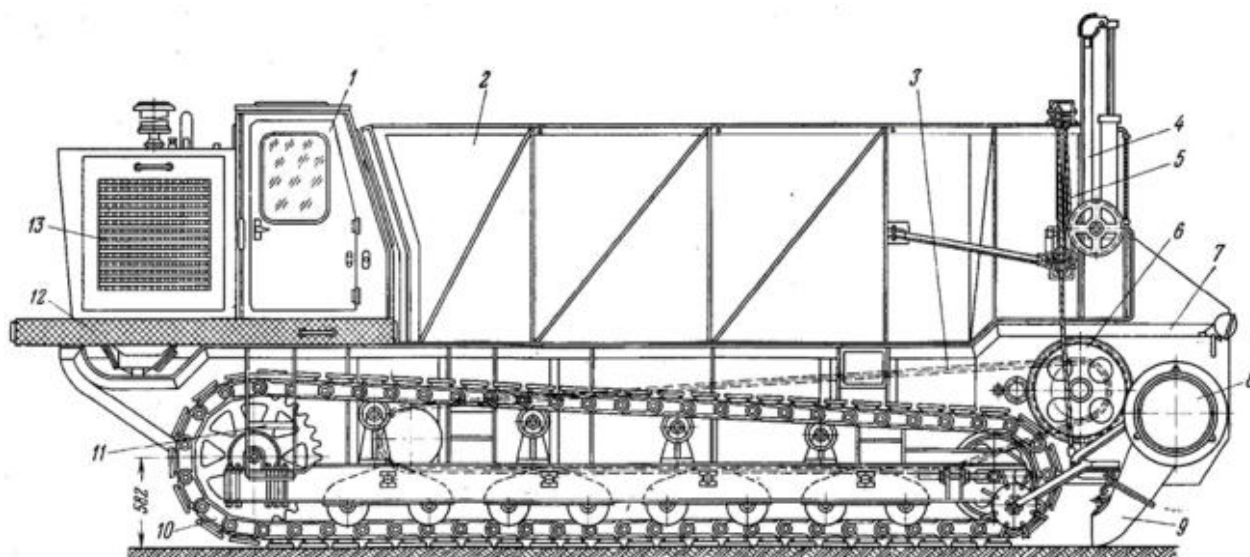


Рисунок 8 – Стилочная машина МТК-13:

1 – кабина; 2 – бункер; 3 – подвижное дно; 4 — заслонка с приводом; 5 – механизм подъема стилочного аппарата; 6 – трансмиссия; 7, 12 – площадка; 8 – шнековый питатель; 9 – стилочный аппарат; 10 – гусеничный ход; 11 – лестница; 13 – двигатель

По трудности экскавации торфяная залежь относится к I категории грунтов и для повышения объемов добычи на торфяных карьерах, следует использовать гидравлические гусеничные экскаваторы (рисунок 9) [29]. В комплекте с одноковшовым гидравлическим экскаватором необходимо

несколько стилочных машин. С точки зрения эффективной работы выемочно-транспортного комплекса рекомендуется соотношение при выборе типоразмера ковша экскаватора и бункера стилочной машины - условие загрузки бункера равному 3-5 циклам экскавации [81].

Таблица 6 – Техническая характеристика машины МТК-13

Тип двигателя	Д-108
Мощность двигателя, кВт	108
Вместимость кузова, м ³	11
Скорость передвижения, м/с	1-я – 0,97 2-я – 1,21 3-я – 3,66
Ширина колеи, м	2,55
Ширина гусеничного полотна, м	0,9
Дорожный просвет, м	0,39
Диаметр шнека, м	0,495
Частота вращения шнека, с ⁻¹	3,43
Высота подъема заслонки, м	0,55
Ширина ленты конвейера, м	1,35
Скорость движения конвейера, м/с	0,145
Удельное давление машины на грунт, кПа	порожней 19,0 груженой 30,0
Масса порожней машины, кг	15900

На основе производительности экскаватора и стилочной машины рассчитывается количество технологического оборудования.



Рисунок 9 – Гидравлический экскаватор и стилочная машина

Основным отличием стилочных машин такого типа от МТК-13 является специальное перемешивающее устройство, устанавливаемое в бункере, и наличие лопастного смесителя и шнека, которые одновременно выполняют две функции – перерабатывающую и транспортирующую. Формующее устройство таких машин – многоручейный мундштук осуществляющий формование и стилку кусков начальным диаметром 80-100 мм.

Стилочные машины ирландской компании DIFCO [98]. В качестве особенностей конструкции стилочной машины Pro 14 (рисунок 10, таблица 7) следует отметить, что прижимная панель с гидравлическим приводом обеспечивает непрерывную подачу торфяного сырья из бункера в лопастной смеситель и шнек, обеспечивая принудительное перемешивание торфяного сырья и опорожнение кузова.



Рисунок 10 – Стилочная машина Difco Pro 14

Плавающий экструзионный формователь куска предназначен для работы на неровной поверхности поля укладки. Сдвоенные шины Firestone 18,4-38, обеспечивают высокую проходимость и легкость передвижения полуприцепной машины по слабым грунтам.

Difco Mini Track – это машина среднего класса для транспортирования торфяного сырья на расстояние до 2000 м. Увеличенная емкость кузова позволяет загружать больше торфяного сырья, чем Difco Pro 14 (Рисунок 11, таблица 7). Время опорожнения кузова машины Mini Track – 2-3 минуты [99].



Рисунок 11 – Стилочная машина Difco Mini Track

Стилочная машина Difco Hydratrack (таблица 7) выполнена на гусеничном ходу и отличается высокой проходимостью по слабым грунтам (рисунок 12) [98].



Рисунок 12 – Стилочная машина Difco Hydratrack

Модели стилочных машин компании Difco (таблица 7) отличаются ходовой частью, и оборудованы одинаковыми шнековыми смесителями и шнековыми прессами для формования торфяного сырья и укладки на поле в виде лент. Наиболее подходящим для формования качественной торфяной окускованной продукции будет стилочная машина Difco Mini Track.

Увеличенная емкость кузова машины позволяет снизить количество технических единиц на месторождении, а специальные перемешивающие устройства установленные в бункере машины позволяют проходить сырью последовательное пооперационное улучшение качества торфяного сырья в процессе принудительного механического воздействия шнека перед получением окускованной продукции.

С целью интенсификации процесса сушки, основным направлением по модернизации стилочной машины будет обоснование формы и размера мундштука с пустотообразователем шнекового пресса стилочной машины для получения объемных крупноразмерных полых фигур сушки.

Таблица 7 – Технические характеристики стилочных машин компании DIFCO

Показатель	Pro 14	Mini Track	Hydratrack
Тип	полуприцепная	полуприцепная	прицепная
Ход машины	колесный	колесный с колесными гусеницами	гусеничный
Трактор	колесный	колесный	колесный
Мощность двигателя трактора, кВт	81	111	111
Площадь заполнения кузова, м	2,1 x 2,2	2,1 x 2,2	2,4 x 5,0
Диаметр шнекового смесителя, м	0,56	0,56	0,56
Диаметр шнека, м	0,355	0,355	0,355
Количество мундштуков, шт	до 8	до 8	до 8
Длина машины рабочая, м	5,2	5,2	5,2
Ширина машины рабочая, м	3,6	3,6	3,6
Масса машины, кг	3200	3920	3920

После сушки, торфяные куски проходят последовательную перевалку из валка в валок (рисунок 13) при помощи валкователей.



Рисунок 13 – Валкователь для просеивания мелочи и формирования валков кускового торфа КА-4.0 Т

При работе валкователя для просеивания мелочи и формирования валков кускового торфа КА-4.0 – финской компании Suokone куски поднимаются из расстила и укладываются в валки.

При сушке в валках обеспечивается мягкий теневой режим сушки для большинства кусков и снижается намокание торфа от осадков. Это способствует повышению качества готовой продукции и снижению потерь торфа.

Раздельные принимающие механизмы в виде рольгангов эффективно отсеивают мусор, при этом не ломая торфяные куски. Валкователь присоединяется к переднему или заднему трехточечному навесному устройству колесного трактора.

Валкователь оснащен гидравлической трансмиссией. В качестве привода гидравлического насоса используется ВОМ трактора [107]. Технические характеристики валкователя КА-4.0Т и габаритные размеры приведены в Приложении 1.

Просеивающий валкователь кускового торфа PSK-4 (Рисунок 14) [113].



Рисунок 14 – Просеивающий валкователь кускового торфа PSK-4 финской компании PeatMax

Активный ребристый валик поднимает куски на грохот, оснащенный пластиковыми дисками для отделения мелких частиц торфа. После просеивания грохот перемещает куски на поперечный ленточный конвейер, который ссыпает куски в валок сбоку от машины. Технические характеристики валкователя PSK-4 и габаритные размеры приведены в Приложении 1. Производительность валкователя достигает $200 \text{ м}^3/\text{ч}$. На рисунке 15 приведен общий вид валкователя PSK-4 с трактором.



Рисунок 15 – Общий вид валкователя кускового торфа PSK-4

После процесса перевалки идет операция по уборки кускового торфа (рисунок 16) из валка с погрузкой в транспортные средства.

Погрузчик отсепарированного кускового торфа агрегируется с колесным трактором. В качестве элементов принимающей части конвейера могут использоваться трубки или диски.

Устройство захвата поднимает кусковой торф на просеивающий трубчатый конвейер, откуда он перемещается на просеивающий поперечный конвейер и далее по ленточному конвейеру транспортируется в прицеп [113].

На прутковом конвейере отсеивается мелочь, а сам кусковой торф перемещается далее. Просеивающий поперечный конвейер допускает

обратное вращение, что позволяет использовать погрузчик также и для формирования валков в небольших объемах.

Сцепное устройство с гидравлическим управлением смещается в сторону почти на 600 мм, что значительно упрощает разворот машины в конце рабочей полосы. Трансмиссия машины оборудована механическим Т-образным редуктором и ВОМ. Технические характеристики погрузчика кускового торфа PKS-9 и габаритные размеры приведены в Приложении 1.



Рисунок 16 – Уборка кускового торфа из валка

Погрузчик кускового торфа PKS-9 (Рисунок 17) можно использовать для грохочения и погрузки кускового торфа из валков.



Рисунок 17 – Общий вид погрузчика кускового торфа PKS-9

Секция дискового грохота погрузчика эффективно отсеивает мелкие частицы от кускового торфа. Машина оборудована полностью автоматической системой централизованной смазки с электроприводом (12 В). Машина оборудована транспортными колесами (таблица 14), которые управляются (опускаются) с помощью гидроцилиндра. Эта функция значительно облегчает транспортировку машины с одного рабочего места на другое. Блок гидравлической регулировки управляет высотой погрузки [113].

Колесные полуприцепы финской фирмы Suokone (рисунок 18) предназначены для транспортирования кускового торфа в штабели для хранения. Двухосная конструкция со сдвоенными колесами обеспечивают высокую устойчивость и проходимость полуприцепа по слабым грунтам. Опрокидывающийся набор кузов облегчает разгрузку рядом со штабелем [107].



Рисунок 18 – Колесный полуприцеп TRL-30 F

Технические характеристики колесного полуприцепа TRL-30 F для транспортирования кускового торфа и габаритные размеры приведены в Приложении 1.

В процессе сушки, когда куски достигают начальной прочности, они собираются погрузчиком с поля сушки и перемещаются с последующей выгрузкой кусков в штабеля или специальные контейнеры. Таким образом

формируются складочные единицы, защищенные от атмосферных осадков. Так куски хранятся до достижения кондиционной влажности 35 – 45%.

При транспортировке, погрузке, выгрузке и сушке торфяные куски частично разрушаются и на полях остается мелочь в виде торфяной крошки. Для уборки торфяной крошки со снижением энергоемкости и повышением производительности путем совмещенный технологических операций уборки торфяной мелочи и штабелированию разработана и запатентована модель укладчика [55] (рисунок 19) торфяной крошки в штабели (Приложение 2).

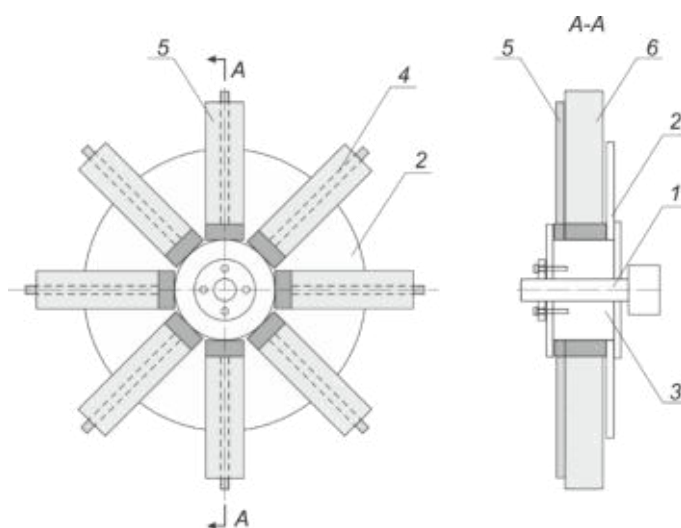


Рисунок 19 – Устройство для подбора и метания:

- 1 – вал; 2 – задний диск; 3 – ступица; 4 – блок лопастей; 5 – разрезающая лопасть;
6 – захватывающе-отбрасывающая лопасть

С помощью устройства для подбора и метания торфяного сырья, торфяное сырье концентрируется в кармане в виде пирамидального тела отбрасывания с сечением в виде параболического треугольника.

Шнеко-роторный погрузчик-метатель торфяного сырья (Рисунок 20) состоит из шнека-подборщика, корпуса скрепера, самого роторного метателя со специальным направляющим кожухом и направляющей воронки и гидропривода. В процессе работы шнеко-роторного погрузчика-метателя на торфяном поле, при помощи шнека-подборщика сдвигается торфяное сырье

из расстила к центру скрепера, а после оно подхватывается и отбрасывается в сторону штабеля при помощи роторного метателя.

Максимальная величина деформации изгиба захватывающе-отбрасывающей лопасти (рисунок 19) определена для условий захвата порции торфяного сырья из валка с насыпной плотностью материала 500 кг/м^3 . Роторный метатель содержит корпус цилиндрической формы по оси которого установлен приводной роторный метатель. Захватывающе-отбрасывающие и разрезающие лопасти выполнены плоскими и упругими из полипропиленового волокна, которое обладает низким коэффициентом трения. В сравнении с известными роторами-метателями торфяного сырья, предложенное решение приводит к снижению удельных энергозатрат на перемещение машины и повышению эффективности выполнения операций, повышение работоспособности и обеспечение максимальной производительности при совмещении операций уборки и штабелирования торфяного сырья. Роторный метатель выполняет две операции: резание и отбрасывание торфяного сырья. Лопасти ротора отделяют (срезают) торфяное сырье от массива.

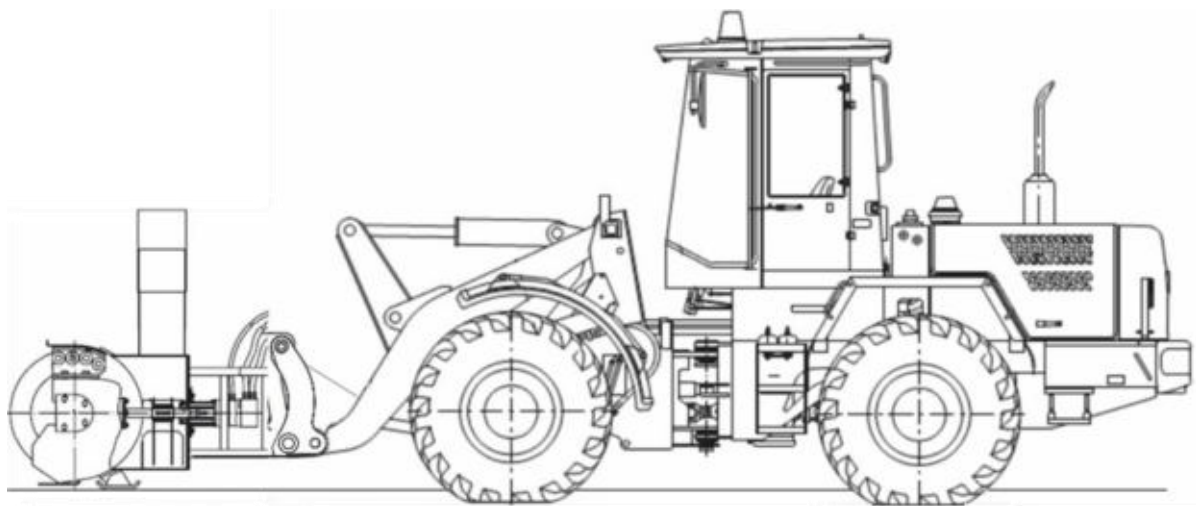


Рисунок 20 – Шнеко-роторный погрузчик-метатель торфяного сырья

В ходе обзора и анализа технологического оборудования по окускованию торфяного сырья в условиях карьера, рассмотрены технические единицы по основным операциям производства окускованной торфяной

продукции. Среди рассмотренного оборудования, наибольшее влияние на процесс окускования торфяного сырья оказывает стилочные машины. Основными узлами отличия стилочных машин в агрегате с трактором является их ходовая часть, емкость кузова и шнековые смесители и формователи. С точки зрения процесса добычи торфяной окускованной продукции при условии работы по 3-ей схеме добычи наиболее универсальным ходовым агрегатом является машина ирландской компании DIFCO Mini Tract оборудованная колесным ходом машины с колесными гусеницами. С учетом проведенного анализа формы и размеров торфяной окускованной продукции для интенсификации процесса сушки с формованием торфяного сырья в форме крупноразмерных полых фигур сушки необходимо провести анализ существующих формующих устройств стилочных машин. При анализе комплекса технологического оборудования по добыче торфяного окускованного продукта, определено, что после процесса сушки, валкования и транспортирования торфяных кусков на поле остается много мелочи в виде торфяной крошки. Для сбора торфяной крошки проведен патентный поиск устройств для подбора и метания торфяного сырья, и разработана полезная модель ротора метателя (Приложение 2).

1.4 Анализ мундштуков шнековых прессов стилочных машин для производства окускованной торфяной продукции

Стилочные машины (рисунок 21) для производства окускованной торфяной продукции комплектуются в зависимости местных условий эксплуатации мундштуками от двухручейного до восьмиручейного [9].

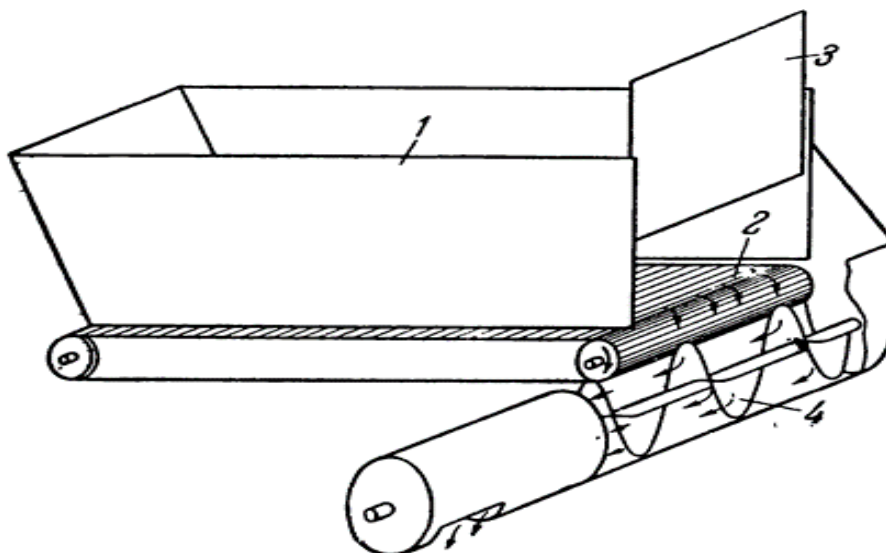


Рисунок 21 – Схема рабочих органов стилочной машины:
1 – бункер; 2 – подвижное дно; 3 – заслонка; 4 – шнековый пресс

Для формирования торфомассы применяются мундштуки разных форм и размеров. В таблице 8 приведены размеры площадей отверстий мундштуков.

Таблица 8 – Размер площади отверстия в зависимости от формы мундштука

Форма мундштука	Площадь выходного отверстия, 10^{-3} м^2
Омегообразный малый 3-ручейный	27
Омегообразный средний 3-ручейный	36
Омегообразный большой 3-ручейный	42
Омегообразный малый 4-ручейный	36
Омегообразный средний 4-ручейный	48
Омегообразный большой 4-ручейный	56
Высотный 3-ручейный	42
Арочный 2-ручейный	40
Арочный 2-ручейный	50
Цилиндрический 3-ручейный	33

Наибольшее распространение имеет так называемый омегообразный мундштук (рисунок 22). Откидное дно или откидная крышка с рычажным механизмом открывания обеспечивает быстрое очищение мундштука от застрявших пней и кусков мерзлоты [93].

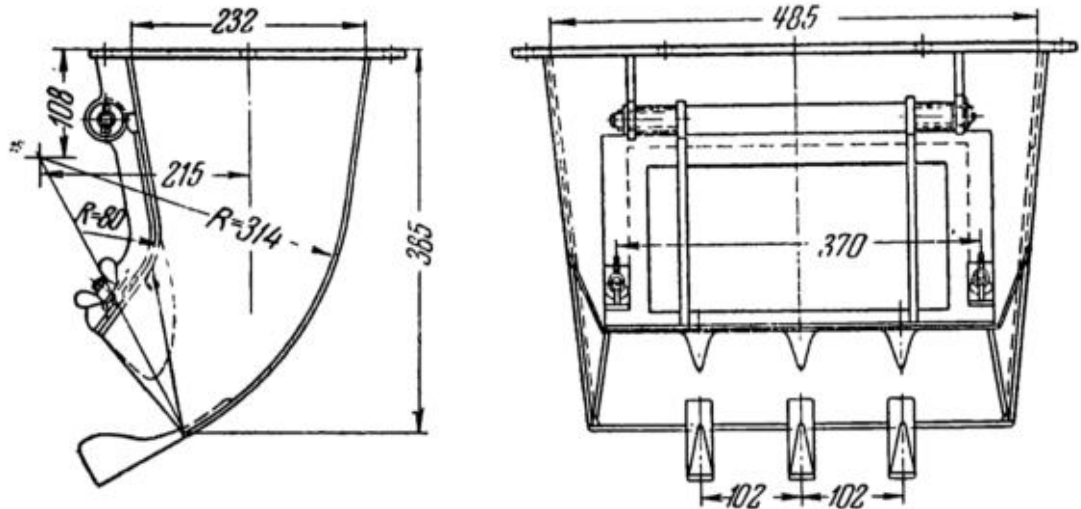


Рисунок 22 – Конструкция омегаобразного мундштука шнекового пресса стилочной машины

Передняя, по рабочему ходу машины, подвижная стенка стилочной машины (заслонка) поднимается специальным механизмом, открывая отверстие для загрузки торфомассы из кузова в шнек.

Торфяное сырье нагнетается шнеком в мундштук (рисунок 23), шарнирно подвешенный на конце трубы шнека [93].

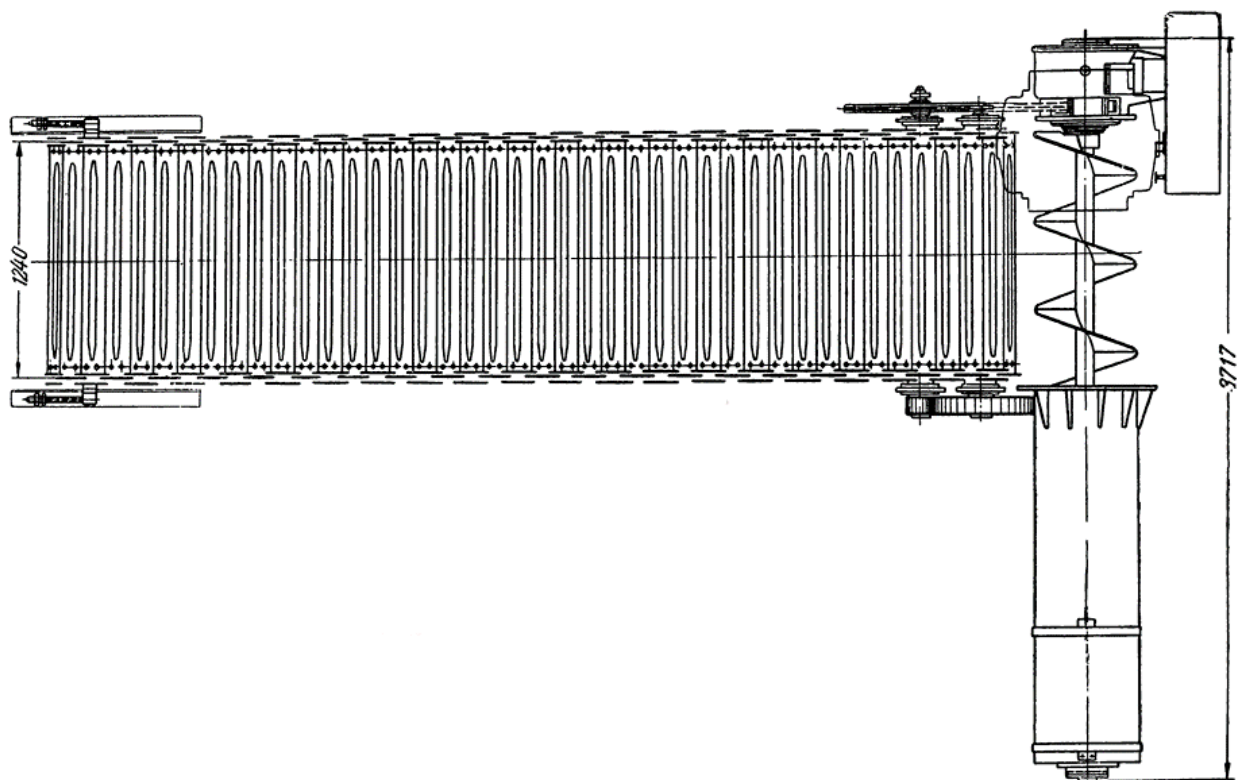


Рисунок 23 – Подвижное дно и шнековый пресс стилочной машины

Шнек расположен в передней части машины. Часть его находится в открытом корыте (против транспортера), а другая часть заключена в трубу. Труба шнека с помощью фланца крепится к металлической конструкции рамы машины. В конце трубы, снизу, имеется отверстие для выхода торфомассы в мундштук в процессе стилки. К концу трубы шнека присоединяется стилочный аппарат [83].

Стилочный аппарат состоит (рисунок 24) из переводного патрубка 2, мундштука 3 и секача 7. Продавленная через отверстие в трубе шнека торфомасса поступает в переходный патрубок и затем в мундштук. Кольца патрубка, сваренные с ними в одно целое, надеваются на трубу шнека.

За счет шарнирности патрубка позволяет свободно поворачиваться вокруг трубы мундштуку и поднимать его и секач в транспортное положение. А также позволяет нижней поверхности мундштука следовать неровностям поля при выстилке торфяной массы [2, 3].

Торцовые упоры на трубе шнека предохраняют патрубок от смещения в осевом направлении по трубе шнека.

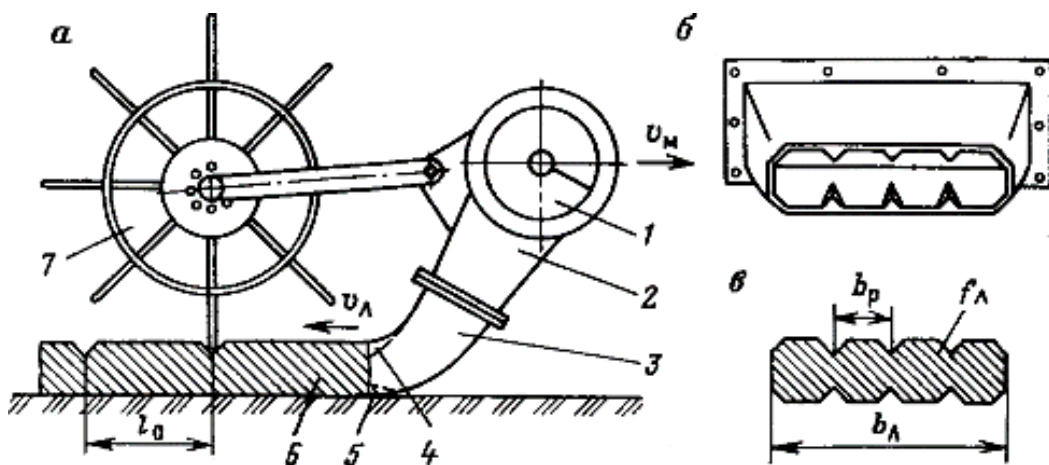


Рисунок 24 – Схема выстилающего аппарата стилочной машины:

a – выстилающий аппарат; *б* – мундштук 4-х ручейный; *в* – поперечное сечение ленты; 1 – шнек; 2 – патрубок; 3 – мундштук; 4 – верхние ножи; 5 – нижние ножи; 6 – сформованная торфяная лента; 7 – секач; v_m – поступательная скорость движения машины; $v_{\text{л}}$ – скорость выхода торфяной ленты из мундштука; l_0 – длина отсека; $b_{\text{л}}$ – ширина ленты; b_p – ширина ручья; $f_{\text{л}}$ – площадь поперечного сечения ленты

Патрубок с мундштуком может свободно поворачиваться вокруг трубы. Это позволяет подошве мундштука при выстилке торфомассы следовать неровностям поверхности поля.

Шарнирность патрубка необходима также для поднятия мундштука и секача в транспортное положение. Торцовые упоры на трубе шнека предохраняют патрубок от смещения в осевом направлении по трубе шнека.

Стилочную машину МТК-13 комплектуют мундштуками различной формы и размеров. На практике используются 3-5 ручейные омегообразные мундштуки. Основные размеры мундштуков и лент окускованного торфяного сырья приведены в таблице 9 [75].

Таблица 9 – Характеристики съемных мундштуков

Число ручьев в мундштуке	Сечение мундштука, м ²	Ширина мундштука, м	Сечение куска, м ²	Объем куска, м ³	Высота куска, м
3	0,027	0,33	0,009	0,0036	0,095
3	0,036	0,33	0,012	0,0048	0,11
4	0,036	0,435	0,009	0,0036	0,095
4	0,048	0,435	0,012	0,0048	0,11
5	0,05	0,53	0,01	0,004	0,095
5	0,0565	0,53	0,0113	0,0045	0,11

Формование торфяной массы и выстилка производятся стилочной машиной в виде лент, располагаемых вдоль прохода машины. Торфяные ленты состоят из отдельных ручьев и при выстилке рассекаются специальным устройством на куски длиной 0,4 м.

Поперечное сечение каждого ручья ленты может иметь омегообразную, овальную, высотную и арочную формы (рисунок 25). Размеры лент и кусков приведены в таблице 10 [70].

Форма и ручейность мундштука стилочной машины (рисунок 25) выбираются в зависимости от глубины экскавации и ожидаемых погодных условий.

Таблица 10 – Размеры выстилаемых лент и кусков

Форма сечения	Лента			Кусок	
	Число ручьев	Площадь поперечного сечения, м ²	Ширина, м	Площадь поперечного сечения, м ²	Объем, м ³
Омегообразная	3	0,027	-	0,009	0,0036
	4	0,036	-	-	-
	3	0,036	0,33	0,012	0,0048
	4	0,048	0,43	0,012	0,0048
Овальная	5	0,056	0,53	0,011	0,0045
	4	0,045	0,43	0,011	0,0045
	3	0,040	0,32	0,011	0,0045
	5	0,050	0,53	0,010	0,0040
	4	0,040	0,43	0,010	0,0040
Высотная	3	0,042	0,29	0,014	0,0056
Арочная	2	0,040	0,41	0,020	0,0080

При разработке более глубокой залежи применяется трехручейный мундштук с тем, чтобы увеличить длину стилки и обеспечить наибольшую ширину забоя или сократить выбранную ширину забоя на участках с глубиной залежи, превышающей среднюю глубину, на которую она рассчитана. На участках карьера с глубиной залежи, меньше расчетной, ручейность ленты увеличивается [70].

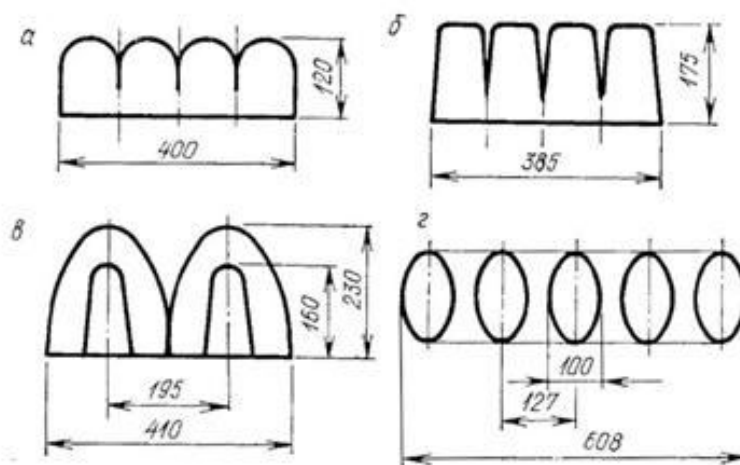


Рисунок 25 – Формы поперечного сечения торфяных лент: а – омегообразная; б – высотная; в – арочная; г – овальная

В начале и конце сезона добычи выстилаются ленты с меньшей площадью поперечного сечения с тем, чтобы высушить кусковой торф в менее благоприятных погодных условиях к началу второго цикла выстилки летом или до наступления плохой погоды осенью. Наиболее крупные кирпичи формируются в период наиболее благоприятных погодных условий или с 20 мая по 20 июля.

Вторым по распространенности видом мундштуков является цилиндрический. Такой мундштук установлен на экспериментальной прицепной машине КМК-Д1 [69]. Прицепная машина КМК-Д1 (рисунок 26, 27) предназначена для полевой добычи кускового торфа фрезформовочным методом (поверхностно-щелевое фрезерование). Технические характеристики мундштука машины для добычи кускового торфа КМК-Д1 представлены в таблице 11.

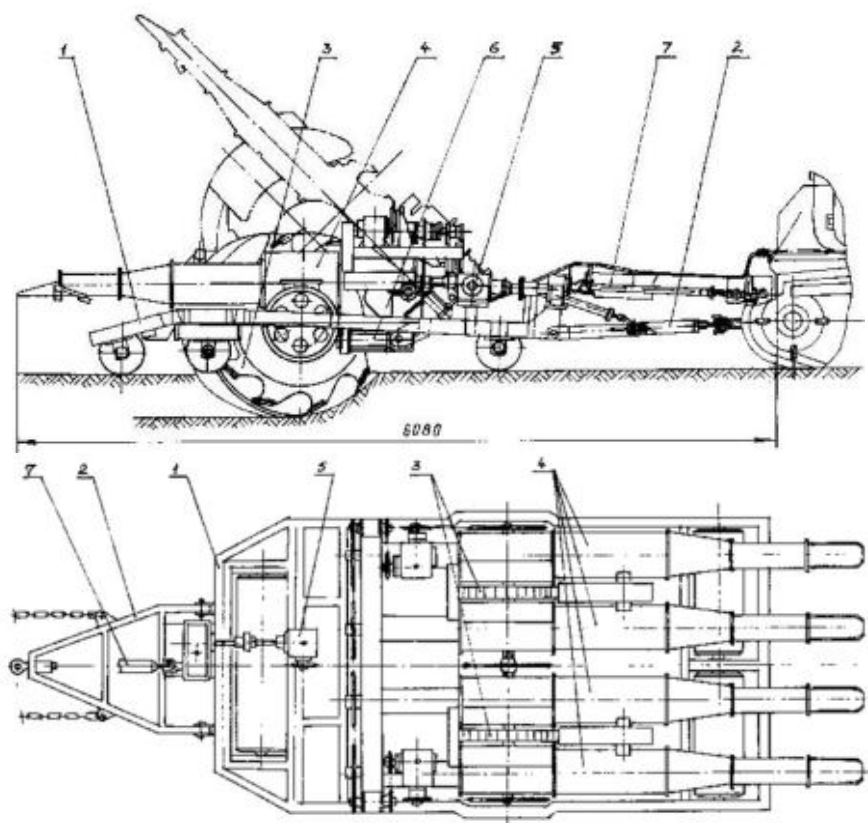


Рисунок 26 – Машина для добычи кускового торфа КМК-Д1:

- 1 – рама с катками; 2 – прицепное устройство; 3 – рабочий аппарат, включающий две экскавирующие фрезы; 4 – четыре формователя, смонтированные на подъемной раме;
- 5 – трансмиссия, включающая редукторы и цепные передачи; 6 – гидрооборудование;
- 7 – карданная передача с муфтой

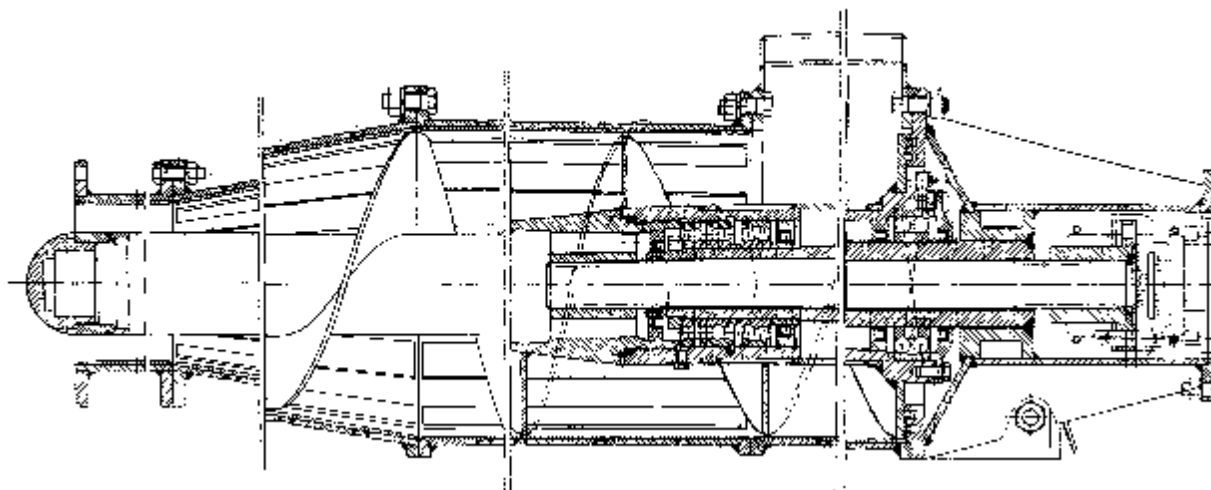


Рисунок 27 – Сечение формователя машины КМК-Д1

Таблица 11 – Техническая характеристика шнекового пресса - формователя машины КМК-Д1

Параметр	Величина
Техническая производительность, м ³ /ч	20
Количество формователей, шт.	4
Угловая скорость шнека формователя, с ⁻¹	30
Частота вращения шнека формователя, с ⁻¹	286
Длина формуемого куска, мм	220-250
Наружный диаметр формуемого куска, мм	160
диаметр внутреннего отверстия формуемого куска, мм	100

Из формователя мундштука торфяная масса в виде бруса выходила в форме трубчатого куска (внешний диаметр 0,16 м, высота куска 0,25 м и отверстие 0,1 м). Трубчатый кусок обламывался от основного торфяного сформованного бруса под действием собственного веса и устанавливался в вертикальное положение на поверхность поля для сушки [7].

Институтом торфа АН БССР были разработаны опытно-промышленные машины МБТ-500 и МБТ-600 (рисунок 28). На машинах типа МБТ-500, МБТ-600 устанавливаются шнековые формователи с осевым расположением мундштуков [9].

Перерабатывающим и напорным органом машины МБТ-500 является шнек [9]. Он состоит из приемной части диаметром 0,35 м и напорной диаметром 0,20 м. В конце напорной части внизу кожуха шнека вырезано окно для подачи массы в активный шнековый формователь (рисунок 29). Шнековый формователь (рисунок 29, таблица 12) продавлиывает торфяное сырье через мундштуки, за исключением случаев, когда в мундштук попадают крупные древесные включения.

Таблица 12 – Техническая характеристика шнековый формователя МБТ-500

Параметр	Величина
Сезонная производительность, тыс. т.	3,0 – 4,0
Тип формователя	шнековый
Количество мундштуков, шт.	4
Диаметр цилиндрической части мундштука, мм	120
Диаметр выхода конической насадки, мм	80
Рабочая скорость машины, км/ч	0,32 – 0,76
Энергоемкость, МДж/м ³	13 – 22

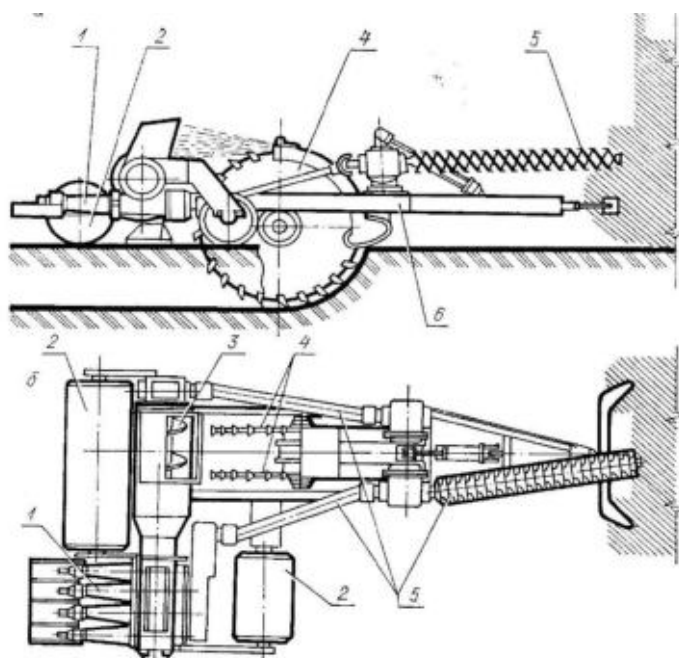


Рисунок 28 – Схема машины МБТ:

a – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – шнековый формователь; 2 – опорный каток;
3 – шнековый пресс; 4 – дисковые фрезы; 5 – трансмиссии; 6 – рама

Формователь торфяных кусков (рисунок 29) имеет четыре ручья, внутри которых расположены шнеки, приводимые в движение от цилиндрического редуктора. Соседние шнеки вращаются в разные стороны. Каждый из четырех формователей состоит из цилиндрической части диаметром 120 мм и конической с диаметром выхода 80 мм.

В связи с тем, что фактическая производительность МБТ-500 не достигла проектной, то для увеличения производительности была создана машина МБТ-600 (таблица 13). Данная машина была предназначена для добычи мелкокускового торфа для производства бытового топлива, а также использовалась в качестве гидролизного сырья [9].

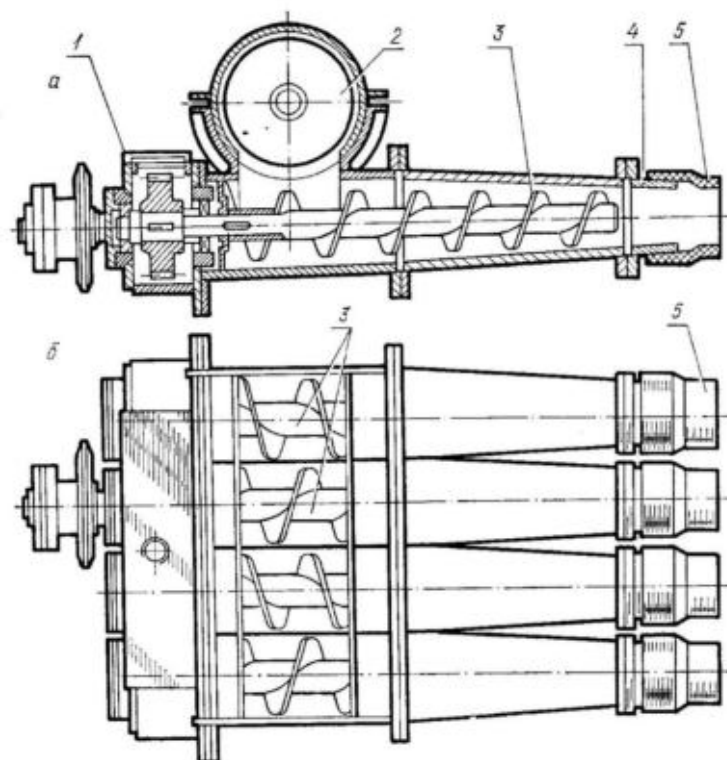


Рисунок 29 – Схема активного формователя МБТ:

а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – редуктор; 2 – основной шнек; 3 – шнеки формователя;
4 – мундштук; 5 – резиновая насадка

В качестве недостатков прессово-формующей части машин МБТ-500 и МБТ-600 можно выделить: сложность конструкции, где для каждого

мундштука приспособлен свой питающий шнек и высокую стоимость производимой машины из-за шнеков с переменным шагом [9].

Таблица 13 – Параметры формователя машины МБТ-600

Параметр	Величина
Производительность (максимальная), м ³ /ч	30
Приемная часть шнекового пресса:	
диаметр, мм	400
шаг витков, мм	320
длина, мм	1030
Напорная часть шнекового пресса:	
диаметр, мм	250
шаг витков, мм	185
длина, мм	1180
Скорость вращения шнека, мин ⁻¹	252
Число мундштуков, шт	6
Диаметр цилиндрической части, мм	120
Диаметр насадки, мм	90
Шаг винтов шнеков, мм	90
Скорость вращения шнеков, мин ⁻¹	258

Анализ конструктивного исполнения мундштуков шнековых прессов стилочных машин для полевого производства окускованной торфяной продукции показал, что при комплектовании стилочной машины применяются мундштуки различной формы и размера. Форма и размер мундштука стилочной машины выбираются в зависимости от многих факторов. Основным из факторов, влияющим на выбор конструкции формирующего мундштука будет не только форма и размер окускованной продукции, но и ожидаемые погодные условия в течении всего периода добычи, которые влияют на скорость сушки окускованной проукции. Для сокращения длительности процесса сушки на основе проведенного анализа параметров мундштуков шнековых прессов стилочных машин с учетом требований к торфяной формованной продукции [88] необходимо формировать торфяные куски в форме толстостенной трубы. В этом случае, исходя из анализа конструкций мундштуков шнековых прессов стилочных машин,

рациональной конструкцией является конструкция цилиндрического мундштука стилочной машины КМК-Д1.

Важным моментом при функционировании стилочной машины является согласование скорости выхода кусков из мундштука пресса и поступательной скорости самой машины. В случае несогласованности скоростей происходит неравномерное распределение кусков на поле сушки, что способствует снижению коэффициента использования площади сушки, разрушению и деформации кусков, увеличению площади соприкосновения куска с влажным основанием поля сушки. Анализ конструкций мундштуков показал, что для регулировки высоты стилки кусков на поле для сушки, устанавливаются специальные опрокидыватели на конце мундштуков стилочной машины. На выходе из мундштука куски отламываются под действием собственного веса и сопровождаются опрокидывателем, образуя на поверхности поля сушки, торфяные куски разного размера и формы. Таким образом, является актуальным исследование, направленное на согласование соотношения скоростей выхода кусков из мундштука шнекового пресса и поступательной скорости самой стилочной машины. А также целесообразно провести исследование конструкций лотков для укладки торфяных кусков и разработать модель лотка-укладчика для стилки торфяных трубчатых кусков в вертикальном положении на поле сушки.

1.5 Выводы по Главе 1

Анализ технологии экскаваторной добычи торфяного сырья показал, что в целях развития технологии добычи окускованной торфяной продукции необходимо вести разработку новых, перспективных технологических процессов производства окускованной торфяной продукции в полевых условиях. Основным направлением перспективного технологического процесса является соблюдения требований простоты конструкции горных

машин наряду с увеличением энергоэффективности производства окускованной торфяной продукции при снижении ее себестоимости.

В ходе анализа определено, что в технологии торфяного производства окускованного торфяного продукта для интенсификации процесса полевой сушки торфяных кусков необходимо выбрать рациональный размер формирующего мундштука шнекового пресса для формирования торфяной окускованной продукции трубчатого типа в виде крупноразмерных полых 3-D фигур с учетом условий формирования, укладки и протекания процесса сушки. Также, для сокращения продолжительности сушки кускового торфа необходимо стремиться к увеличению радиационно-конвективного теплоподвода и снижению площади соприкосновения куска с влажным основанием поля для сушки.

Основным отличием технологических схем экскаваторной добычи торфяного сырья и получения торфяной окускованной продукции является состав парка оборудования и требования к конечной влажности окускованной продукции. В зависимости от требований потребителя и качества готовой продукции выбирается необходимая технологическая схема. При анализе технологических схем экскаваторной добычи торфяного сырья для получения торфяных трубчатых кусков с увеличением производительности процесса и снижением технологических циклов процесса добычи торфяной окускованной продукции выбрана схема с транспортированием экскавированного торфяного сырья в навал на площадке сушки с последующим окускованием.

Процессы уплотнения и формирования торфяного сырья с укладкой (стилкой) торфяных кусков выполняются стилочной машиной, осуществляющей транспортирование переработанного торфяного сырья, его формирование и стилку сформованных кусков на поверхность площадок для сушки. В качестве исполнительного рабочего органа наибольшее распространение в машинах, выполняющих окускование торфяного сырья,

получили шнековые прессы. В результате анализа конструкций мундштуков шнековых прессов стилочных машин для производства окускованной торфяной продукции в качестве аналога выбран шнековый формователь машины МБТ-600. Определено, что для организованной укладки и увеличения использования площади сушки необходимо провести дополнительное исследование по согласованию соотношения скоростей движения стилочной машины и скорости выхода сформованного торфяного бруса из составного мундштука шнекового прессы, и высоты расположения мундштука над полем для укладки кусков.

Таким образом, в области формующего оборудования стилочных машин, существующие в настоящее время разработки зачастую не учитывают многообразие факторов, влияющих на процесс окускования экскавированного торфяного сырья.

На основе анализа работ по совершенствованию формующего оборудования стилочных машин, а также их адаптации к горно-геологическим условиям и к расширению практического диапазона выпускаемой окускованной продукции с учетом значимости и актуальности темы исследований определена цель настоящих исследований, которая заключается установление закономерностей формирования механической смеси экскавированного торфяного сырья в шнековом прессе стилочной машины для разработки научно-обоснованного технического решения по получению торфяного куска трубчатой формы и повышения эффективности производства окускованной продукции с улучшенной интенсивностью влагоотдачи при сушке сформованного куска непосредственно в комплексно-механизированном карьере, что имеет существенное значение для развития торфяной отрасли.

Согласно поставленной цели определены задачи исследований:

1. Выполнить анализ и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы.

2. Теоретически обосновать форму и размеры окускованной торфяной продукции для интенсификации процесса полевой сушки наряду с увеличением объемов производства в сезоне добычи.

3. Провести параметрический анализ требований к структуре формирующих рабочих органов торфяных стилочных машин и разработать конструкцию мундштука шнекового пресса для производства торфяной окускованной продукции заданной формы и размера.

4. Разработать модель процесса механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с мундштуком и пустотообразователем.

5. Разработать лабораторную установку и модель шнекового формователя для проведения лабораторных исследований процесса формирования на реальных образцах торфяного сырья.

6. Оценить производительность и энергоемкость механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе при формировании торфяного сырья малонарушенной структуры с учетом геометрических параметров шнекового пресса стилочной машины с мундштуком и пустотообразователем.

7. Определить рациональное соотношение поступательной скорости стилочной машины, скорости выхода торфяной массы из составного мундштука шнекового пресса с укладчиком и высоты расположения мундштука над поверхностью поля сушки для обеспечения стабильной вертикальной укладки сформованных трубчатых кусков.

8. Разработать методику экспресс оценки структуры исходного композитного торфяного сырья перед формированием.

9. Оценить интенсификацию процесса сушки модельной окускованной торфяной продукции с обоснованной формой и размерами.

ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОКУСКОВАНИЯ ЭКСКАВИРОВАННОГО ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

2.1 Анализ формы, размера куска и его расположения на поле сушки

На основе комплекса требований к окускованной торфяной продукции [2], включающих в себя: плотность и прочность кусков, требования к конечной продукции, форму кусков и их поперечного сечения, а также условий сушки кусков, определялась форма и размер мундштука шнекового пресса для формования торфяной окускованной продукции трубчатого типа. Исходя из конфигурации формируемого куска определялся размер поперечного сечения мундштука шнекового пресса стилочной машины.

Форма и размер торфяной окускованной продукции определяются из погодных условий сезона добычи, стабильности технологического процесса, требуемых физико-механических свойств куска, исходя из условий сушки [69], при отсутствии процессов валкования и переворачивания сформованных кусков торфа. Известно, что эффективная сушка окускованной продукции в полевых условиях происходит при предельном снижении влагосодержания и внутренних напряжений в теле куска при рациональной глубине зоны испарения $h_{зи}$. По Афанасьеву А.Е. оптимальным считается условие, когда наружный диаметр (толщина стенки куска) не превышает 30-40 мм [40], испарение влаги при этом происходит из всего объема куска.

На основе исследований проф. Богатова Б.А. [10], определено, что форма торфяного, с технологической точки зрения, должна быть круглой, при этом учитываются оптимальные геометрические размеры связанные соотношением, при котором длина куска L_s равна диаметру куска D_s . С точки зрения эффективного протекания процесса сушки торфяной окускованной продукции и процессов структурообразования согласно исследованиям [33], рекомендуется стремиться к предельному снижению внутренних напряжений

и градиентов влагосодержания в теле куска. Тогда, при данных условиях, рациональной толщиной куска (толщиной стенки куска) является размер находящийся в пределах от 40 до 60 мм [2].

Согласно выполненному анализу геометрической формы торфяного куска, анализа условий добычи торфяного куска на площадке сушки, рекомендованного вертикального расположения [84-86], для улучшения сохранения состояния устойчивости в вертикальном расположении, необходимо увеличить диаметр сформованного торфяного куска. С целью сохранения рациональной толщины куска [2, 69], предлагается формовать его в форме полого толстостенного цилиндра с толщиной стенки 40–60 мм. Для увеличения скорости сушки предлагается увеличить конвективную составляющую теплоподвода к торфяному куску путем увеличения его длины.

Соответственно для увеличения длины куска проведено исследование по влиянию изменения скорости ветра на процесс сушки торфяного куска в зависимости от его размеров, определяемых на основе анализа предпочтительных чисел параметрических рядов [23]. В процессе исследования установлено, что в случае формования торфяного куска длиной более 1,4 наружного диаметра (таблица 14) величина скорости ветра может увеличиться на 35–40 %, в следствии чего увеличивается скорость сушки, за счет увеличения радиационно-конвективного теплоподвода в процессе сушке.

Таблица 14 – Размеры куска в соответствии с предпочтительными числами параметрических рядов

Порядковый номер i -го предпочтительного числа	Ряд $R 40$	Длина куска L_s , м
0	1,00	0,180
1	1,06	0,191
2	1,12	0,202
3	1,18	0,212
4	1,25	0,225
5	1,32	0,238
6	1,40	0,252

Исходя из проведенного анализа формы и размеров окускованной торфяной продукции, для сокращения продолжительности сушки кускового торфа при радиационно-конвективном теплоподводе в полевых условиях с увеличением числа циклов его сбора за время сезона добычи необходимо формировать торфяной кусок в форме толстостенной трубы наружным диаметром $D_s=0,18$ м с отверстием $d_s=0,10$ м, при толщине стенки 0,04 м и высотой $L_s=0,25$ м (рисунок 30) [88].

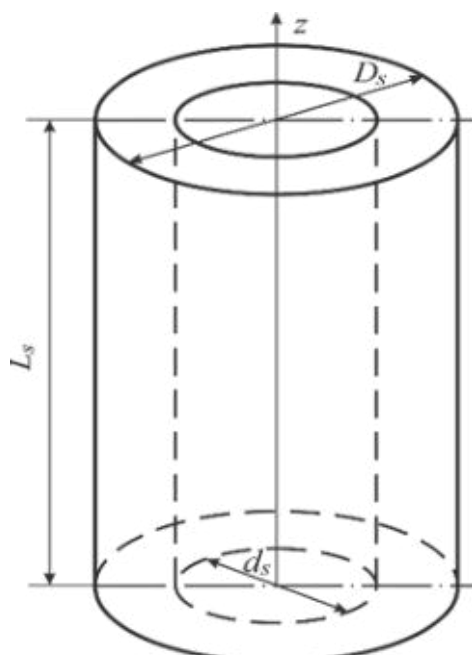


Рисунок 30 – Форма трубчатого торфяного куска

В процессе сушки торфяной окускованной продукции решающим показателем является удельная площадь поверхности куска $S_{уд}$, которая обратна характерному размеру куска. С ростом удельной площади поверхности торфяного куска повышается интенсивность процесса его сушки [1]. Для обеспечения хорошей вентиляции кусков за счёт увеличения площади конвективного теплоподвода, вертикальное расположение куска на поле сушки является предпочтительным [88].

В процессе сушки в полевых условиях при выпадении осадков происходит увлажнение поверхности поля для сушки, вследствие чего

требуется дополнительное время на сушку окускованной продукции для удаления поглощенной торфом воды.

При экскаваторном способе добычи, торфяные куски находятся на влажной поверхности торфяной залежи около 40–60 дней большой гранью параллелепипеда. Стилочная машина выстилает сформованный торф на поле сушки в виде лент $F=0,048 \text{ м}^2$ (ширина ленты $L_{\text{л}}=0,4 \text{ м}$, высота ленты $h_{\text{л}}=0,128 \text{ м}$) (рисунок 31), разделяемых на куски длиной $L_{\text{к}}=0,4 \text{ м}$, шириной куса $l_{\text{к}}=0,1 \text{ м}$, высотой куса $h_{\text{к}}=0,128 \text{ м}$ (рисунок 32).

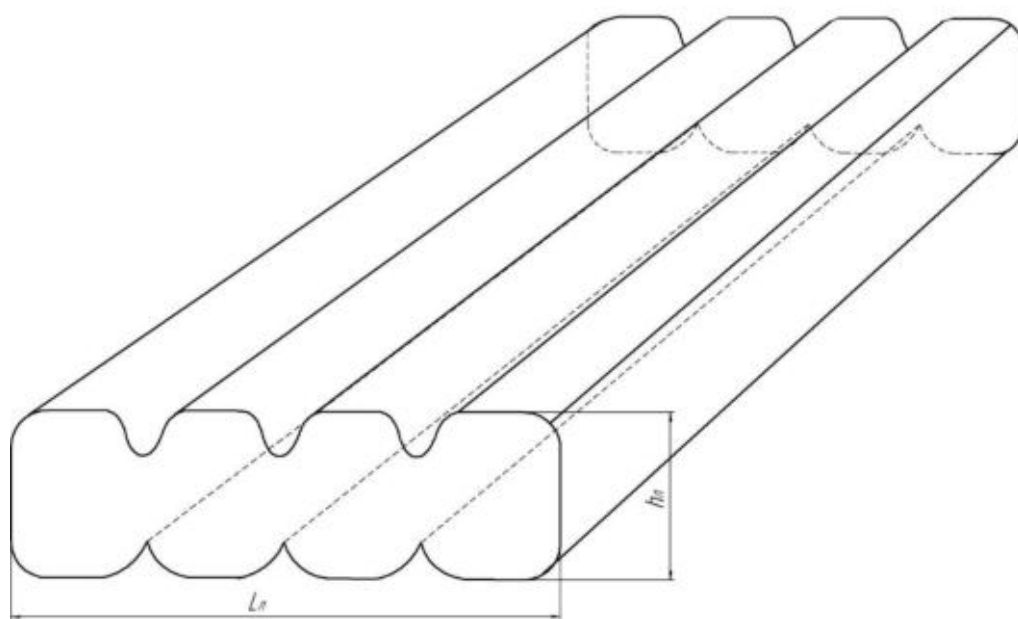


Рисунок 31 – Сечение ленты омегаобразного профиля (череухручейного).

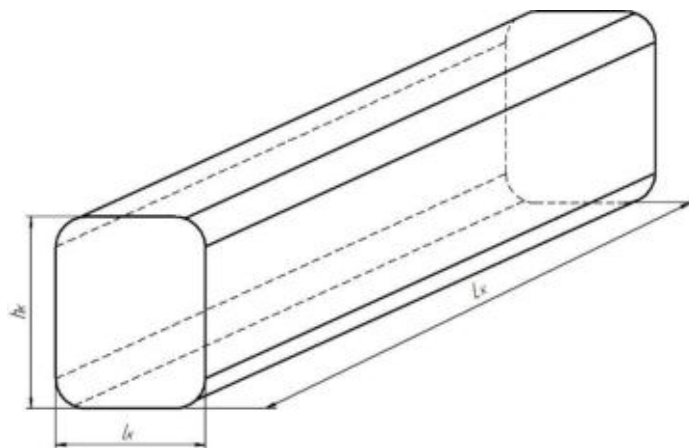


Рисунок 32 – Расположение сформованного торфяного куса на поле для сушки

При вертикальном расположении сформованного торфяного трубчатого куска на поле для сушки (рисунок 2) снижается зависимость от выпадающих осадков, увеличивается площадь поверхности фигуры для конвективного теплоподвода, а площадь поверхности контакта торфяного куска с влажным основанием сокращается.

В результате анализа влияния формы, размеров и расположения торфяного куска на поле сушки, определено, что интенсивность скорости сушки, сформованного торфяного куска в форме трубы расположенного вертикально на поле для сушки, возрастает. На основе анализа условий сушки Селеннова В.Г., анализа геометрических размеров куска Богатова Б.А. и Афанасьева А.Е., определено, что оптимальными геометрическими параметрами торфяной окускованной продукции сформованной в форме трубы будет торфяной кусок с толщиной стенки 0,04 м, высотой 0,25 м и внутренним отверстием 0,1 м.

2.2 Анализ напряженно-деформированного состояния вертикально расположенного торфяного куска под действием его собственного веса

При выходе из мундштука шнекового пресса со скоростью v_k сформованный кусок консольно изгибается под действием собственного веса, отламывается от прессуемого бруса и падает на поверхность площадки сушки, устанавливаясь вертикально.

При горизонтальном выходе торфяного бруса трубчатого сечения из мундштука шнекового пресса часть бруса находится консольно с жесткой заделкой одного из концов под действием собственного веса куска при отсутствии наружного P_n и внутреннего давления P_b . Такое расположение допускает только поворот бруса в месте крепления в вертикальной плоскости, вызывает деформации изгиба бруса и отламывание кусков от него (рисунок 33).

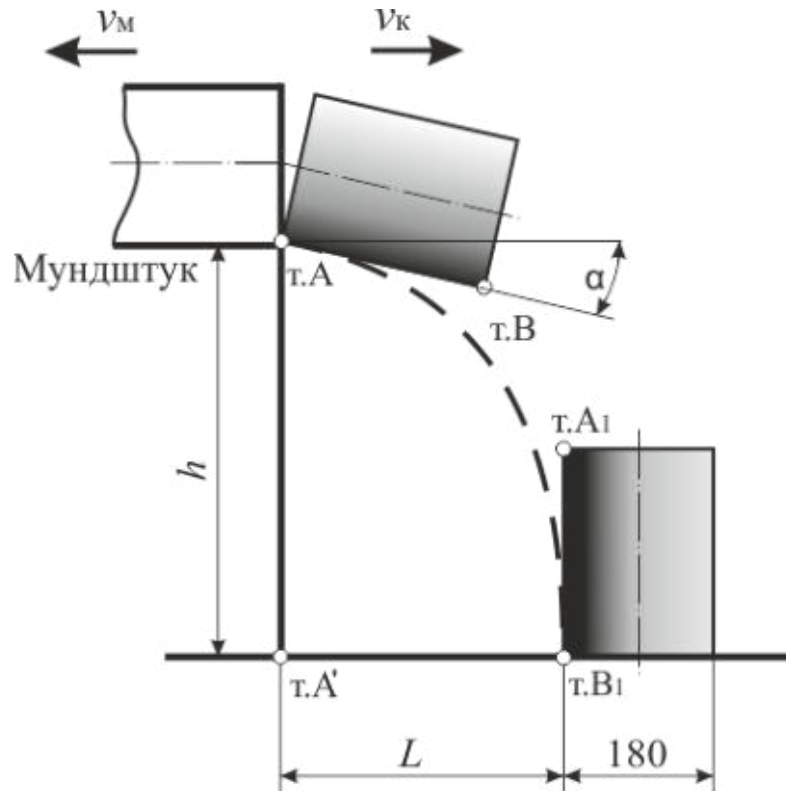


Рисунок 33 – Схема горизонтального выхода торфяного бруса трубчатого сечения из мундштука шнекового пресса и отламывания куска под действием собственного веса

При равномерно распределенной нагрузке Q , задача изгиба консоли (рисунок 34) под действием собственного веса куска решена в [27].

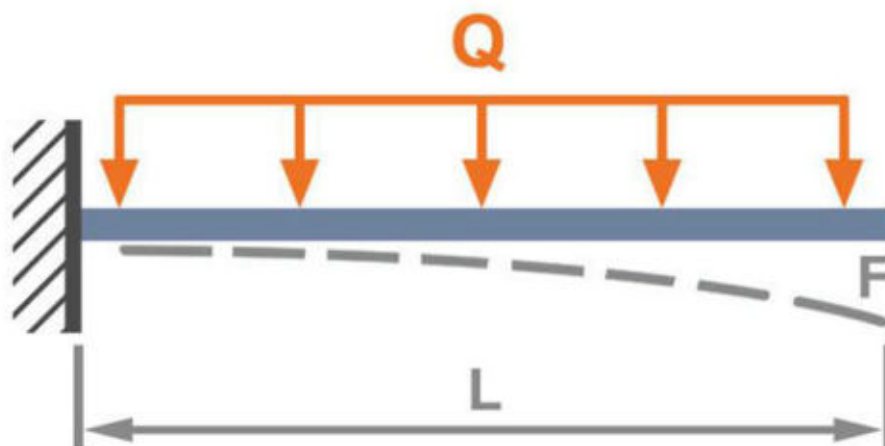


Рисунок 34 – Схема к анализу напряжений в трубчатом брус в положении консоли под действием собственного веса на выходе из мундштука шнекового пресса

Предел прочности при изгибе σ_W влажного торфяного бруса в Па вычисляют по формуле (1) [20]

$$\sigma_W = \frac{m \cdot l}{4W} \quad (1)$$

где m – масса отломившегося от бруса куска, кг; l – длина отломившегося от бруса куска, см; W – момент сопротивления, см³.

Момент сопротивления является геометрической характеристикой прочности поперечного сечения торфяного бруса при изгибе. Для кругового кольцевого сечения толстостенной трубы момент инерции составляет (2)

$$J_x = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \beta^4), \quad \beta = \frac{d}{D}, \quad y_{max} = \frac{D}{2}, \quad (2)$$

и момент сопротивления (3)

$$W_{xx} = \frac{\pi D^3}{32} (1 - \beta^4). \quad (3)$$

Подставив значения, получим

$$J_x = \frac{\pi \cdot 18^4}{64} \cdot (1 - 0,55555^4) = 4\,663,46 \text{ см}^4;$$

Максимальное значение прогиба бруса (4) [20]

$$v_{max} = \frac{QL^4}{8EJ_x}, \quad (4)$$

$$v_{max} = 0,044 \text{ м.}$$

Плотность материала в куске 884,6 кг/м³; масса куска 3,89 кг; длина куска 0,252 м; объем куска 0,0044 м³; $E=70 \text{ кПа}=70000 \text{ Н/м}^2$.

Момент сопротивления

$$W_{xx} = \frac{\pi \cdot 18^3}{32} \cdot (1 - 0,55555^4) = 518,16 \text{ см}^3.$$

Отсюда, предел прочности при изгибе влажного торфяного бруса на выходе из мундштука $\sigma_W = 4,64 \text{ кПа}$.

В вертикальном расположении на площадке для сушки окускованной продукции, торфяной трубчатый кусок находится под действием

собственного веса при отсутствии наружного P_n и внутреннего давления P_v . Вертикальное расположение куска не вызывает деформации изгиба сформованного куска, при этом в поперечных сечениях куска касательные напряжения предполагаются равными нулю [88].

Расчет напряжений в торфяных кусках трубчатой формы соблюдался при гипотезе плоских сечений [8], при которой под действием собственного веса плоские поперечные сечения цилиндра остаются плоскими.

При этом, силы тяжести распределены непрерывным образом по всему объему толстостенного цилиндра.

Абсолютное укорочение от собственного веса равно укорочению, которое будет иметь торфяной цилиндрический кусок, в случае, когда его вес будет сосредоточен в центре тяжести фигуры. Торфяной трубчатый кусок рассматривался как массивное тело, у которого все три размера являются величинами одного порядка [88].

Размеры торфяных трубчатых кусков требуется подбирать, чтобы после выхода из мундштука шнекового пресса куски под действием собственного веса не разрушались. Коэффициент запаса прочности k_u для ряда пластичных материалов принят равным 2,4–2,6 исходя из [76].

Вертикальная деформация толстостенного трубчатого куска – процесс, состоящий из уплотнения куска под действием собственного веса (за счет уменьшения пористости, пластических сдвигов, вследствие взаимного смещения частиц в отдельных слоях куска), выдавливания через поры в куске воды и воздуха [88].

Вертикальное расположение куска будет удовлетворять требованиям устойчивости при условии (5):

$$\sigma_p \leq \sigma_{кр}, \quad (5)$$

где $\sigma_p = G_s / F_s$, G_s – вес куска, Н; F_s – площадь поперечного сечения куска, m^2 .

С учетом допустимой толщины t_d стенки сформованного торфяного трубчатого куска выражение условий устойчивости переходит в следующее равенство (6)

$$\sigma_p = \sigma_{кр}. \quad (6)$$

При этом критические сжимающие напряжения (7)

$$\sigma_{кр} = \frac{2k_y k_u E_s t_{эф}}{D_s}, \quad (7)$$

где k_y – коэффициент устойчивости; k_u – коэффициент, учитывающий дефекты в стенке куска; E_s – модуль упругости материала в сформованном куске, кПа; $t_{эф}$ – эффективная толщина стенки трубчатого куска, м; D_s – диаметр трубчатого куска, м.

Для удовлетворения требований устойчивости куска, эффективная толщина стенки торфяного трубчатого куска $t_{эф}$ не должна быть меньше допустимой толщины t_d стенки (8)

$$t_{эф} \geq t_d. \quad (8)$$

На основе выполненного анализа формы и размеров торфяной окускованной продукции, предполагается, что предложенная эффективная толщина стенки $t_{эф}=40$ мм торфяного трубчатого куска удовлетворяет требованиям устойчивости.

Плотность и прочность полученных кусков зависят от характеристик торфяного сырья, интенсивности механической переработки и конструктивных параметров шнекового пресса, определяющих размеры и форму кусков [88].

Прочность куска в его начальном трехфазном упруго-вязко-пластичном состоянии в значительной степени зависит от его длины L_s , диаметра D_s , площади поперечного сечения F_s , а также зависит от формы, которые определяются конструктивными параметрами мундштука шнекового пресса [88].

В процессе сжатия под действием собственного веса торфяного трубчатого куска в его поперечных сечениях возникает внутренняя продольная сила N . Для определения внутреннего силового фактора N в сечениях элемента торфяного куска можно воспользоваться методом сечений, известным из курса сопротивления материалов [6]. Наряду с этим, будем использовать размеры торфяного куска, исходя из проведенного анализа формы и размеров окускованной торфяной продукции [88].

Для решения данной задачи торфяной кусок условно рассекается (рисунок 35, а), по сечению 1-1 (удалённого на расстояние x от начала координат O), отбросив нижнюю часть, будем рассматривать оставшуюся верхнюю часть (рисунок 35, б), на которую действует только сила собственного веса G_K .

Для обеспечения равновесия оставшейся части куска, в сечении 1-1, приложим силу $N(x) = G$.

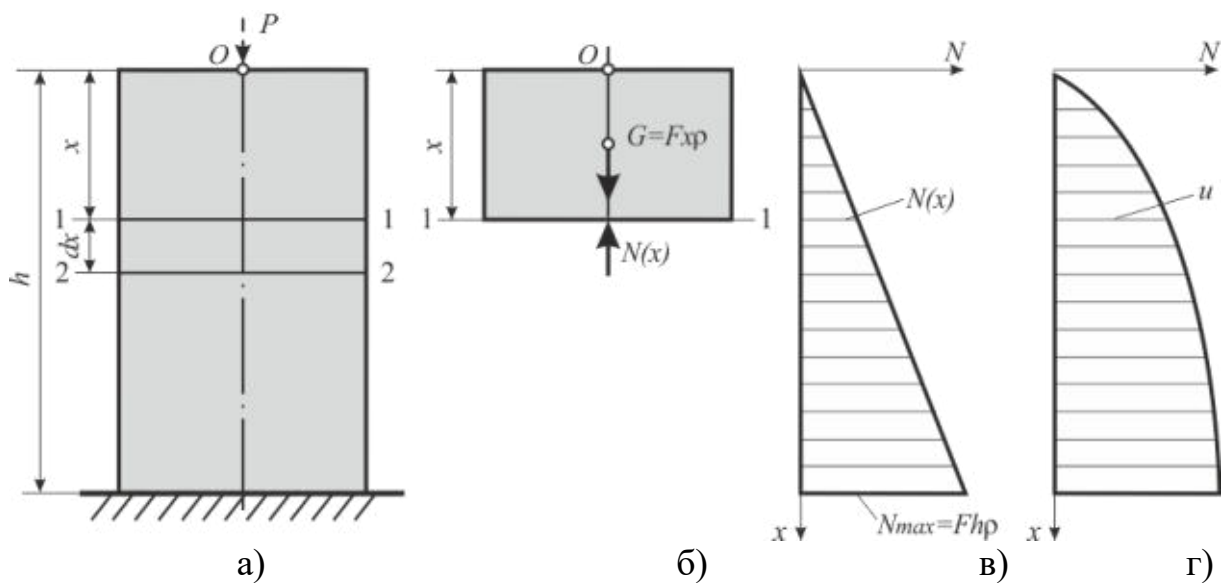


Рисунок 35 – Учёт собственного веса торфяного куска

При рассмотрении эпюры продольной силы, которая меняется при изменении x по линейному закону (рисунок 35, в), видно, что сформованный торфяной кусок больше всего нагружен у основания, где сжимающая сила (9)

$$N_{max} = F_s x \rho_s. \quad (9)$$

Площадь поперечного сечения толстостенной трубы (площадь кольца) (10)

$$F_s = \pi(R_s - r_s), \quad (10)$$

где R_s – внешний радиус куска; r_s – внутренний радиус куска.

Наряду с этим, нормальные напряжения в произвольном сечении торфяного куска будут равны (таблица 15) (11)

$$\sigma(x) = N(x)/F_s = \frac{F_s x \rho_s}{F_s} = x \rho_s. \quad (11)$$

Таблица 15 – Результаты расчёта внутренней продольной силы в сечениях элемента трубчатого куска

N_{max} , Н	G , кг	F_s , м ²	x , м	$\sigma(x)$, Па	N_x , Н
42,27	1,145	0,019076	0,06	588,4	14,16

В вышеприведённом анализе результатов расчёта внутренней продольной силы в сечениях элемента торфяного куска при изменении x (рисунок 35, в), видно, что при изменении длины куска, напряжения, возникающие от собственного веса торфяного куска, изменяются по линейному закону.

Отсюда следует, что максимальное вертикальное перемещение будет иметь верхнее торцевое сечение трубчатого куска (рисунок 35, г) (12)

$$u_{max} = \frac{\rho_s L_s^2}{2E_s}. \quad (12)$$

В результате анализа ранее проведенных исследований по окускованию торфяного сырья в полевых условиях, установлено, что плотность только что сформованных торфяных кусков обычно находится в пределах

$$\rho_s = 700 - 1050 \text{ кг/м}^3 \text{ [41].}$$

В сформованном торфяном куске модуль упругости материала находится в пределах $E_s = 30 - 70 \text{ кПа}$ [5, 42].

Выполненные расчёты показывают, что максимальное укорочение верхнего торцевого сечения u_{max} в результате вертикальной установки торфяного трубчатого куска на поле сушки с предложенными размерами куска (длина куска $L_s=0,252$ м, внешний диаметр куска $D_s=0,18$ м, внутренний диаметр $d=0,1$ м) составляет 0,003 м [88].

Анализ напряженно-деформированного состояния куска при его вертикальном расположении на поле для сушки показал, что напряжения, возникающие под действием собственного веса куска, не значительно влияют на форму и размер сформованной окускованной продукции при укладке торфяного куска в вертикальное положение, и на дальнейший процесс его сушки.

2.3 Обоснование формы и размеров мундштука шнекового пресса

На основе проведенного анализа мундштуков шнековых прессов стилочных машин для производства окускованной торфяной продукции, с точки зрения простоты конструкции, а также с целью формирования торфяной трубчатой продукции выполнен патентный поиск и разработан патент [54] на полезную модель составного мундштука шнекового формователя стилочной машины, основанный на конструкции шнекового формователя машины МБТ-600 [10].

Основными определяющими параметрами шнековых прессов являются отношения длины рабочей части шнека $L_{ш}$ к его диаметру $D_{ш}$ [75]. Теоретически и экспериментально установлено, что для торфяных шнековых прессов отношение шага витков шнека $H_{ш}$ к его диаметру $D_{ш}$ составляет: для загрузочной части 0,75-0,95, для напорной части шнека 0,5-0,6 [75].

Для обоснования геометрических параметров конструкции мундштука шнекового пресса по формированию торфяных кусков трубчатого типа, на основании мнения Солопова С.Г. [74], а также выполненного анализа выбора рациональной формы торфяного куска и анализа сортамента труб [17, 18], с

целью создания конструкции мундштука [52, 63, 77] шнекового пресса стилочной машины, предлагаются размеры, представленные в таблице 16.

Корпус шнекового пресса (рисунок 36) [54] условно можно разделить на три части: нагнетающий корпус 1, корпус сжатия 2, формующий корпус 3.

Торфяная масса начинает уплотняться в зоне нагнетающего корпуса 1 при помощи винтовых лопастей нагнетающего шнека 5, на протяжении всей длины шнека. Максимальный рост плотности торфяной массы наблюдается в корпусе сжатия 2. Прочность формуемого торфяного материала по данным [82] начинает интенсивный рост в зоне нагнетающего корпуса 1 и продолжается до определенной точки в зоне сжатия 2, затем происходит снижение интенсивности роста этого показателя. После нагнетающего шнека 5 следует формующий корпус 3 с пустотообразователем 4, в котором выполняется уплотнение и с последующим формованием торфяной массы в кусок трубчатой формы. Для снижения вероятности разрушения изначально заданной формы куска мундштуком шнекового пресса, на конце пустотообразователя 4 установлена шарообразная пробка 6.

Таблица 16 – Основные геометрические размеры формующего мундштука шнекового пресса

Наименование позиции	Диаметры деталей мундштука, м
Нагнетающий корпус	0,325
Корпус сжатия	0,325 – 0,180
Формующий корпус	0,180
Пустотообразователь	0,100

На выходе из формующего корпуса 3 выполнен обратный букель 8 в форме расширяющегося конуса с полным углом раскрытия два градуса. Обратный букель предусмотрен для уменьшения обжимающих нагрузок на кусок внутри формующего корпуса [28].

Для вертикальной установки торфяного трубчатого куска на поле для стилки, с сохранением заданной геометрической формы куска, в шнековом прессе требуется создавать необходимое давление торфяной массы при помощи нагнетающего шнека 5, а также формой и размерами формующего корпуса мундштука 3, создающего требуемое уплотнение непрерывно движущейся прессуемой торфяной массы при противодействии, создаваемого корпусом сжатия 2 формующего мундштука шнекового пресса.

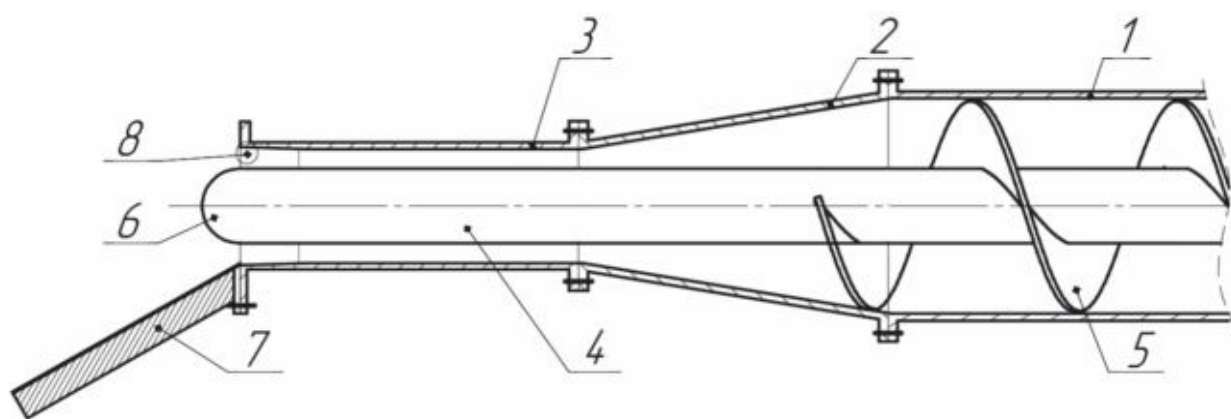


Рисунок 36 – Формующий мундштук шнекового пресса

На выходе из формующего мундштука торфяного трубчатого куска, полученная плотность, должна удовлетворять требованиям сохранения заданной трубчатой формы без видимых дефектов, после вертикальной стилки куска на поле сушки.

После выхода из формующего корпуса 3 мундштука торфяной трубчатый кусок отламывается под действием силы собственного веса и сопровождается подпружиненным укладчиком 7. Подпружиненный укладчик 7 выполнен в форме цилиндрического желоба, покрытого антиадгезионным лаком, для снижения коэффициента трения торфяного куска об его поверхность. Принцип действия подпружиненного укладчика 7 заключается в том, что его рабочая поверхность контактирует с поверхностью скользящего по нему торфяного куска, которая отклоняется под действием веса куска и придаёт ему окончательное вертикальное положение на поле сушки. После

вертикальной стилки куска на поле сушки, укладчик 7 возвращается в начальное положение [88].

Расположение мундштука шнекового пресса относительно вектора скорости поступательного движения машины может быть параллельным, перпендикулярным и под некоторым углом [88]. С точки зрения укладки торфяных кусков определенной конфигурации и с ориентированием их на площадке, целесообразно использовать схему расположения мундштуков параллельно вектору движения стилочной машины [88]. При таком расположении мундштука результирующая скорость падения куска на площадку определяется алгебраической суммой векторов переносной и относительной скоростей со своими знаками в зависимости от направления движения [88].

При перпендикулярном расположении мундштука шнекового пресса возникает поперечная составляющая скорости, в следствии чего выполнение условий расположения торфяных трубчатых кусков на поле для сушки усложняется. Перпендикулярное расположение мундштука возможно при организации укладки кусков на сетках [32] для улучшения условий сушки.

На основе полученных результатов выполненного анализа комплекса требований к окускованной торфяной продукции трубчатого типа, определены геометрические параметры для мундштука шнекового пресса стилочной машины. С целью формования торфяных трубчатых кусков предложены конструктивные параметры шнекового пресса (Таблица 16).

В рамках анализа конструкции шнекового пресса определению подлежали:

- конструктивные и кинематические параметры шнека;
- наибольшее давление, развиваемое шнеком;
- предельная и полезная мощности на работу шнека;
- степень механической переработки торфяного сырья;

- КПД шнека для выбранных длины и диаметра шнека при постоянном шаге витков.

Анализ конструкции шнекового пресса проводился при допущениях, что угловая скорость шнека является постоянной и производительность шнекового пресса постоянна. Анализ модели мундштука шнекового пресса был проведен на основе предположения о поршневом потоке материала через мундштук.

Другие предположения состоят в том, что кулоновское трение существует на границе раздела между уплотненным торфяным сырьем и мундштуком, а проскальзывание происходит на границе материала и корпуса [92, 111]. При выборе конструктивных параметров шнекового пресса следует учитывать, что диаметр вала шнека должен быть больше предельного $d_{пр}$, определяемого из условия (13)

$$d_{пр} \geq \frac{H}{\pi} \cdot tg\varphi, \quad (13)$$

где H – шаг витков, $tg\varphi$ – коэффициент трения (φ – угол трения).

При заданной производительности шнекового пресса можно определить диаметр шнека D или угловую скорость вращения шнека ω . Формуемое торфяное сырье является вязкопластичным и обладает адгезией к поверхности шнека [85]. Тогда, в качестве коэффициента трения берется коэффициент внутреннего трения, определяемый из условия связи частиц между собой при сдвиге слоев торфяного сырья.

В таблице 17 представлены исходные данные для выбора конструктивных параметров торфяного шнекового пресса.

Выбор конструктивных параметров торфяного шнекового пресса выполнялся на основе задаваемого значения степени механической переработки торфяного сырья (14) [37]

$$\lambda = s\lambda_0. \quad (14)$$

Таблица 17 – Исходные данные для выбора параметров шнекового пресса

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Степень механической переработки материала	λ_0	-	300
Коэффициент запаса степени механической переработки	s	-	1,1
Коэффициент, учитывающий вращение торфа с винтом шнека	φ	-	0,2
Отношение радиусов винтов шнека	$k=r/R$	-	0,33
Коэффициент проскальзывания	ε	-	0,2
Производительность пресса	Q	м ³ /с	0,005
Тангенциальное напряжение	τ	Па	6000
КПД привода шнека	η_M	-	0,8
Длина шнека	l	м	1,6

Подставив значения из таблицы 17, получим, что расчетное значение степени механической переработки торфяного сырья составит $\lambda = 330$. Известно [74, 75], что шаг винтовой линии шнека торфяного напорного пресса выбирается в пределах $H = (0,5 - 0,6)D$. Отношение длины l шнека к его диаметру D можно определить, как (15)

$$\frac{1}{D} = \frac{\lambda\varphi(1 - k^2)z}{3\sqrt{2}\pi(1 - \varepsilon)}. \quad (15)$$

При подстановке значений в формулу (15) из таблицы 2, получим, расчетное значение $l/D=5,85$. По этому значению определено число витков шнека i (16), которое составляет 8,27.

$$i = 3l/2D. \quad (16)$$

Принимая $i = 8$ получим, что расчетное соотношение $l/D = 5,0$. При заданной конструктивной длине шнека $l = 1,6$ м радиус шнека согласно следующему выражению (17)

$$R = 3l/4i, \quad (17)$$

составит $R = 0,15$ м. Отсюда диаметр шнека $D = 2R = 0,3$ м при шаге витков $H = 4R/3 = 0,2$ м.

При заданной производительности шнекового пресса и допущении на условия, учитывающие вращение торфяного сырья вместе с винтом шнека и частичное проскальзывание материала можно определить параметр производительности шнекового пресса (18)

$$A = \omega R^3 = \frac{3Q}{2\varphi(1 - k^2)z} \quad (18)$$

определяемый по данным таблицы 17 как 0,042 м³/с. Отсюда угловая скорость шнека составит $\omega = 12,44 \text{ с}^{-1}$ или частота вращения $n = 30\omega/\pi = 118 \text{ мин}^{-1}$.

В результате проведенного анализа формы и размеров мундштука шнекового пресса, а также на основе комплекса требований к окускованной торфяной продукции определены основные геометрические размеры формующего мундштука шнекового пресса и разработан патент на полезную модель составного мундштука шнекового пресса, состоящего из трех корпусов (нагнетающий, корпус сжатия и формующий корпус).

Для придания куску формы трубы, внутри составного мундштука установлен пустотообразователь диаметром 0,1 м.

В ходе анализа расположения мундштука шнекового пресса стилочной машины относительно вектора скорости поступательного движения машины определено, что с точки зрения укладки кусков в вертикальном положении с заданной формой куска, целесообразно использовать схему расположения мундштуков параллельно вектору движения стилочной машины.

А также, при анализе конструкции шнекового пресса определено расчетное значение степени механической переработки $\lambda = 330$ и параметр производительности шнекового пресса $A = 0,042 \text{ м}^3/\text{с}$.

2.4 Моделирование степени механической переработки торфяного сырья в составном мундштуке шнекового пресса

Оценку перерабатывающей способности механизмов на стадии разработки их конструктивной схемы можно выполнить на основе метода, предложенного профессором Опейко Ф.А. [53], по оценке степени механической переработки торфяного сырья по изменению физико-механических характеристик. В основу метода положено использование 2-х инвариантов симметричного тензора деформаций и напряжений.

За показатель перерабатывающего воздействия механизма на материал принята средняя степень механической переработки λ как интенсивность деформаций (19)

$$\lambda = \sqrt{\lambda_{11}^2 + \lambda_{22}^2 + \lambda_{33}^2 + 2(\lambda_{12}^2 + \lambda_{23}^2 + \lambda_{13}^2)}, \quad (19)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – относительные удлинения по направлениям осей координат x_1, x_2, x_3 ; $\lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{13}$ – половины соответствующих углов сдвига.

Обобщенный показатель деформации торфа в механизме зависит от конструктивных особенностей механизма и определяется без рассмотрения размерно-массовых и физико-механических свойств торфяного сырья, тем самым существенно расширяет возможности анализа работы конкретных механизмов в процессе диспергирования торфяного сырья с известными физико-механическими характеристиками. Основываясь на технологических требованиях, данные модели позволяют проектировать механизмы с заданной перерабатывающей способностью [87].

В результате моделирования определению подлежат оценка энергических затрат на 3-D формование торфяных кусков трубчатого типа [87] шнековым прессом с составным мундштуком и перерабатывающая способность механизма. Геометрия прессующего шнека обеспечивает высокую степень уплотнения материала в мундштуке пресса, что позволяет получить компактный кусок высокой плотности, прочности. Движение

материала, сжатие и распределение напряжений зависят в первую очередь от выбранного конструктивного исполнения и геометрии напорного шнека, где проходит процесс непрерывного формования торфяного бруса (рисунок 37). Труба шнека переходит в пустотообразователь того же диаметра.

Формование заключается в продавливании торфяной сырьевой смеси через отверстие в мундштуке. При этом рассматриваются закономерности течения материала в мундштуке с учетом его профиля и реологических характеристик материала. Параметрами течения являются: касательное напряжение τ , возникающее между двумя слоями при бесконечно малом расстоянии между ними dy и разности в скоростях их движения dv ; градиент скорости $y = dv/dy$ и коэффициент пропорциональности η [11].

Вязкое течение материала связано с необратимой деформацией, вследствие которой непрерывно происходит перемещение частиц материала в течение всего времени формования. После выхода куска из мундштука частицы материала не возвращаются в исходное положение.

В процессе механической переработки торфяного сырья, происходит сдвиг, на внутренних стенках конического кольцевого и цилиндрического кольцевого каналов, зависящий от характера распределения скорости движения торфяной массы в каналах.

Так, для напорной части шнека (рисунок 37) степень механической переработки определена как

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 - \varepsilon) \frac{\omega}{Q} S_K, \quad (20)$$

где Q – производительность мобильного шнекового пресса; ε – коэффициент проскальзывания, m^3 ; $S_K = 2\pi R^2 l$ – статический момент сечения внутренней поверхности кожуха шнека относительно его оси, m^3 .

Движение массы в коническом кольцевом канале (I) мундштука (рисунок 37) происходит с переменной скоростью. Средняя по объему степень механической переработки торфяного сырья в нем будет зависеть от характера

распределения скорости потока материала и ее можно представить как сумму изменения степени механической переработки на внутренних стенках канала и на поверхности пустотообразователя (21)

$$\lambda_2 = \lambda_{2'} + \lambda_{2''} = (2\sqrt{2}(1 - \varepsilon) \frac{l_2}{D_3} + \sqrt{6} \frac{D_2 - D_3}{D_3}) + (2\sqrt{2}(1 - \varepsilon) \frac{l_2}{d}). \quad (21)$$

В цилиндрическом кольцевом канале (II) (рисунок 37) мундштука шнекового пресса масса движется с постоянной скоростью, и сдвиг происходит в тонких слоях непосредственно у внутренней поверхности мундштука и у наружной поверхности пустотообразователя в результате трения массы по поверхностям. В этом случае степень механической переработки составит (22)

$$\lambda_3 = \lambda_{3'} + \lambda_{3''} = (2\sqrt{2}(1 - \varepsilon) \frac{l_3}{D_3}) + (2\sqrt{2}(1 - \varepsilon) \frac{l_3}{d}). \quad (22)$$

Обобщенная модель степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с учетом распределения скоростей потока материала в коническом кольцевом (I) и цилиндрическом кольцевом (коаксиальном) каналах составного мундштука шнекового пресса (II) определится как (23)

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \frac{\sqrt{2}}{2}(1 - \varepsilon) \left(\frac{\pi \omega l D_1^2}{2Q} + \frac{l_2}{D_3} + \frac{l_2}{d} + \frac{l_3}{D_3} \right) + \sqrt{6} \frac{D_2 - D_3}{D_3}. \quad (23)$$

Исходя из оценки величины суммарной степени механической переработки λ , удельное напряжение при переработке торфяного сырья (предельное) будет (24)

$$p = \sqrt{2} \tau \lambda. \quad (24)$$

Мощность для переработки торфяного сырья в шнековом прессе с выбранными параметрами (25)

$$N = \frac{pQ}{1000\eta_m}. \quad (25)$$

Для определения перерабатывающей способности мобильного шнекового пресса по формированию торфяных трубчатых кусков [87], и оценки энергозатрат на формирование торфяного сырья был выполнен анализ степени

механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с составным мундштуком и пустотообразователем (рисунок 37) по методу профессора Ф.А. Опейко [53].

Конфигурация и размеры поперечного сечения выходного сечения мундштука определяют, соответственно, конфигурацию получаемого куска. С целью улучшения технологического процесса механической переработки и формования торфяного сырья в работе предлагается усовершенствование зоны формования шнекового пресса путем установки составного мундштука с пустотообразователем.

Геометрия прессующего шнека обеспечивает высокую степень уплотнения материала в камере прессования и сжатие материала в мундштуке пресса, что позволяет получить компактный кусок высокой плотности, прочности и качества поверхности.

Движение материала, сжатие и распределение напряжений зависят в первую очередь от выбранного конструктивного исполнения и геометрии шнека. В формующей головке мундштука шнекового пресса происходит процесс сжатия композиционной торфяной массы с последующим формообразованием куска заданной формы и размерами.

Внутри шнекового пресса проходит процесс непрерывного формования торфяного бруса. Проталкивание и уплотнение торфяной массы к формующему корпусу мундштука шнекового пресса происходит за счет напорного шнека, состоящего из корпуса в форме цилиндра и вала с винтовой лопастью. Труба шнека переходит в пустотообразователь того же диаметра.

По длине мундштука шнекового пресса происходят изменения площадей сечений, которые вызывают изменения скорости потока торфяного материала, возникновение возмущений и перепады давлений, тем самым отрицательно влияя на качество формования торфомассы.

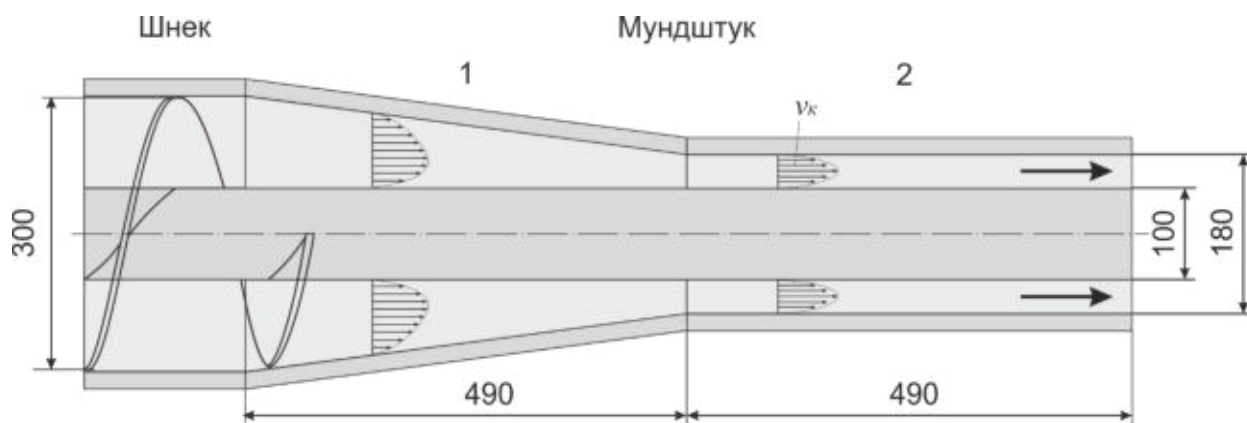


Рисунок 37 – Схема к анализу степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с распределением скоростей потока материала в коническом кольцевом канале (1) и цилиндрическом кольцевом (коаксиальном) канале (2)

Гидравлические потери в корпусе шнека можно разделить на два типа:

- 1) При трении по рабочим поверхностям;
- 2) Потери, вызванные при изменении размеров и конфигурации русла (местные потери).

Местные гидравлические сопротивления в мундштуке пресса – это увеличение сопротивления материала вследствие изменения проходного сечения в русле течения торфяного сырья.

В составном мундштуке шнекового пресса с пустотообразователем уменьшения полезного сечения происходит в двух случаях:

- При переходе торфяного сырья из шнека в конический кольцевой канал;
- При переходе торфяного сырья из конического кольцевого канала в цилиндрический кольцевой (коаксиальный) канал.

Для проведения исследования процесса экструдирования торфяного сырья и анализа последствий изменения давления определяется площадь полезных сечений в зонах уплотнения, сжатия (коническом-кольцевом канале), формования (цилиндрическом кольцевом - коаксиальном канале) шнека и в самом составном мундштуке шнекового пресса.

Площадь S_1 сечения зоны загрузки и зоны уплотнения в корпусе шнека (26)

$$S_1 = \pi(R_1^2 - R_2^2), \quad (26)$$

где R_1 – внутренний радиус корпуса шнека, м; R_2 – радиус вала шнека, м.

Площадь S_2 сечения конического кольцевого канала

На входе в канал $S_{2\text{вх}} = S_1$; на выходе из канала (27)

$$S_{2\text{вых}} = \pi(R_{1\text{к}}^2 - R_2^2), \quad (27)$$

где $R_{2\text{к}}$ – радиус малого сечения конуса, м.

Площадь $S_{\text{ц}}$ сечения цилиндрического кольцевого канала $S_{\text{ц}} = S_{2\text{вых}}$.

На рисунке 38 показано изменение площади полезного сечения при переходе торфяного сырья из корпуса шнека в составной мундштук с пустотообразователем.

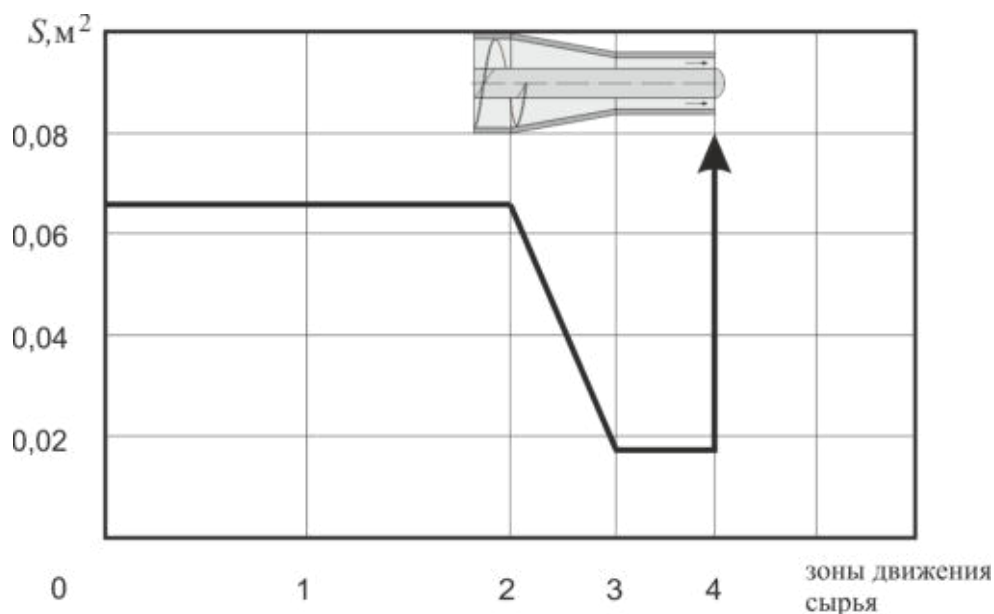


Рисунок 38 – Изменение площади полезного сечения корпуса шнека и каналах мунштука: 0-1 – зона загрузки; 1-2 – зона уплотнения торфяного сырья; 2-3 – зона уплотнения торфяного сырья в коническом кольцевом канале; 3-4 – зона калибровки трубчатого куска в цилиндрическом (коаксиальном) кольцевом канале

С целью создания щадящего режима механической переработки торфяного сырья в шнековом формователе необходимо создать постоянство

или минимальное число перепадов полезных сечений в мундштуке шнекового пресса на всем пути перемещения торфяного сырья.

При такой компоновке составного мундштука шнека изменение полезного сечения происходит один раз. Полезное сечение при этом изменяется в 3,5 раза от $0,063 \text{ м}^2$ до $0,018 \text{ м}^2$, что вызывает увеличение давления в материале и, следовательно, уплотнение сформованного трубчатого куска.

Действительная степень механической переработки λ торфяного сырья зависит от характера распределения скорости потока материала в мундштуке шнекового пресса, где сдвиг происходит в тонком слое непосредственно на внутренних стенках корпуса шнекового формователя и на валу шнека.

Для шнека (рисунок 37) степень механической переработки торфяного сырья в мундштуке шнекового пресса согласно формуле (20)

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}(1 - \varepsilon) \frac{\omega}{Q} S_K = \frac{\sqrt{2}}{2}(1-0,2) \frac{12,47}{0,005} \cdot 0,25 = 352,70,$$

В секции сжатия 1 (рисунок 37), для предотвращения образования пробки внутри конусной части мобильного шнекового пресса, угол конусности $\alpha/2$ должен быть меньше угла трения торфяного сырья по стенкам мундштука шнекового пресса, тангенс которого равен коэффициенту трения $f_{\text{тр}}$ указанной пары материалов (28) [53]

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} = f_{\text{тр}}. \quad (28)$$

Величина $f_{\text{тр}}$ зависит от показателей торфяного сырья, а именно от степени разложения, ботанического состава, влажности, степени переработки и от скорости деформации торфяного сырья [53], а также от тангенциального взаимодействия торфяного сырья при перемещении по внутренним стенкам мундштука мобильного шнекового пресса.

Коэффициент трения торфяного сырья по стали – 0,12 [67]

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = 0,12,$$

отсюда $\alpha/2 = 7^\circ$.

Исходя из определенного угла секции сжатия 1 равному 7° , длина конуса секции будет равна $l_k=0,49$ м.

С целью определения наибольшего давления при формовании торфяного сырья в составном мундштуке шнекового пресса, проведен анализ оптимального соотношения между геометрическими параметрами шнека – его радиусом R и шагом витков H . Анализ зависимости производительности шнекового пресса Q , степени механической переработки торфяного сырья λ и давления σ шнека проводился от его конструктивного параметра H/R при постоянной угловой скорости ω и при разных значениях шага витков шнека H [38].

Условия проведения анализа:

- Длина шнека $l = 1,6$ м = *const*;
- Диаметр шнека $D = 0,3$ м = *const*;
- Угловая скорость шнека $\omega = 12,44$ с⁻¹ = *const*;
- Конструктивный параметр $(3/2) \cdot (R/H) < 1$;
- Величина H меняется с шагом $\Delta H = 0,02$ м в большую и меньшую стороны от значения $H = 0,2$ м.

Давления, развиваемые шнеком нагнетающего мундштука при разных значениях шага витков шнека, определялись как (29) [87]

$$\sigma = 4\pi \frac{l}{H} \left(1 - \frac{2}{3} \frac{R}{H}\right) \tau. \quad (29)$$

Результаты анализа сведены в таблице 18. Производительность шнека при заданных значениях шага витков (30) [38]

$$Q = \frac{1}{2} \varphi z (1 - \varepsilon) \omega R^2 H. \quad (30)$$

Для переменных значений H получены значения величины производительности шнекового пресса Q , представленные в таблице 18.

Степень механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе при заданных значениях шага витков шнека (31)

$$\lambda = \frac{\sqrt{2}(1 - \varepsilon)\omega\pi R^2 l}{Q}, \quad (31)$$

изменяется в пределах 253–421 единиц (таблица 18).

Таблица 18 – Результаты анализа зависимости производительности Q , степени механической переработки торфяного сырья λ и давления σ шнека от его конструктивного параметра H/R при постоянной угловой скорости ω (длина шнека $l = 1,6$ м, радиус – $R = 0,15$ м)

Шаг витков H , м	Конструктивный параметр H/R	Давление σ , кПа	Производительность пресса Q , м ³ /с	Степень механической переработки торфяного сырья λ
0,18	1,20	297,87	0,0038	421,25
0,20	1,33	301,59	0,0042	379,12
0,22	1,47	299,10	0,0046	344,66
0,24	1,60	293,22	0,0050	315,94
0,26	1,73	285,53	0,0055	291,63
0,28	1,87	276,97	0,0059	270,80
0,30	2,00	268,08	0,0063	252,75

Таким образом, чистая объемная производительность одношнекового экструдера представляет собой сочетание потоков сопротивления и давления, а рабочая производительность экструдера определяется скоростью вращения шнека, противодавлением в мундштуке и реологическими свойствами торфяного сырья. Сочетание этих переменных ограничивает рабочий диапазон и гибкость шнекового пресса [105].

С учетом модели степени механической переработки и проведенного анализа (таблица 18) построены графические зависимости объемной производительности шнекового пресса Q , степени механической переработки

торфяного сырья λ , давления в шнеке σ от разных соотношений конструктивного параметра H/R с шагом $H = 0,2$ м (рисунок 39). При изменении отношения шага винтовой лопасти шнека нагнетающего корпуса мундштука, к радиусу в зонах загрузки, транспортирования и сжатия можно значительно увеличить плотность экструдированного материала.

При оптимизации параметров шнека выявлено, что давление, развиваемое шнеком, достигает максимального значения при соотношении конструктивного параметра $H/R = 1,33$, что согласуется с рекомендациями проф. Опейко Ф.А. [38] по определению оптимальных конструктивных и кинематических параметров торфяных шнековых прессов. Также, определено отсутствие линейной зависимости между деформацией и силой в дисперсных системах, в связи с тем, что сообщаемая энергия в этих системах, с течением времени частично переходит в теплоту и рассеивается.

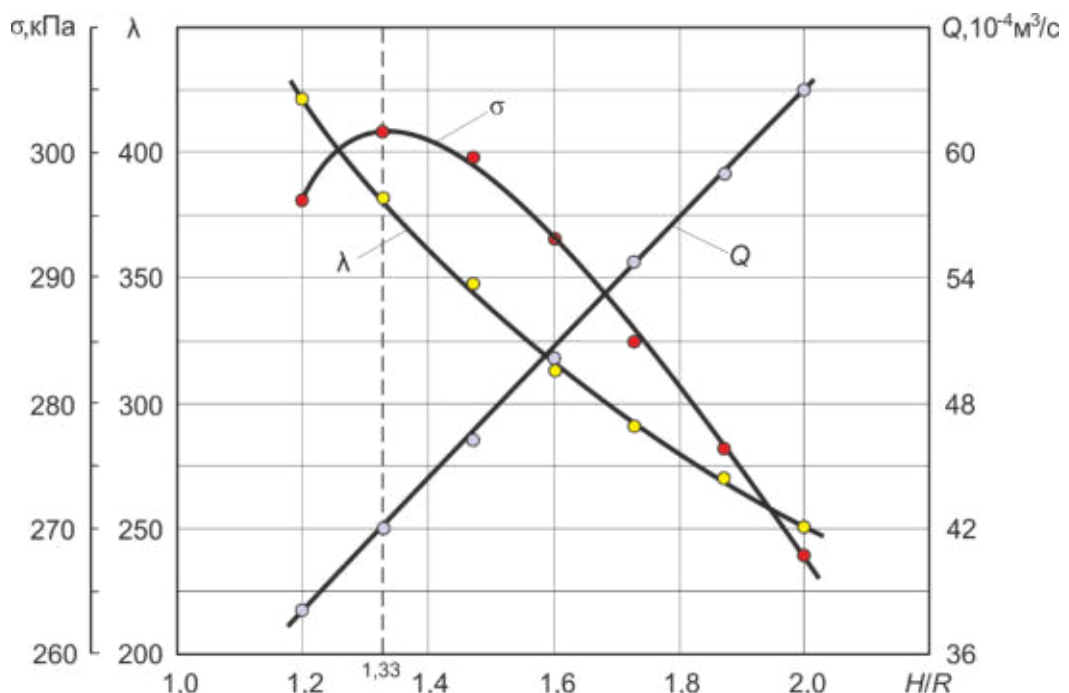


Рисунок 39 – Зависимости производительности шнека Q , степени механической переработки материала λ , давления в шнеке σ от его конструктивного параметра H/R

На основе исследований [61] определено, что производительность мундштука шнекового пресса зависит от способности нагнетающего шнека

создавать необходимое давление, для преодоления сопротивления мунштука шнекового пресса. Воздействие сильного давления шнека при формировании торфяной окускованной продукции в форме трубы, позволяет сформовать наиболее плотный и прочный кусок, который, после выхода из составного мунштука шнекового пресса будет удовлетворять требованиям сохранения заданной формы без видимых деформаций и дефектов, после установки куска в вертикальное положение на поле для сушки.

При анализе полученных результатов давления шнека, определено, что полученное давление шнека при формировании торфяного сырья соответствует диапазону 300-400 кПа, а мощность для переработки торфяного сырья в шнековом прессе с выбранными параметрами составила 13,44 кВт. Полученные результаты конструктивных параметров входят в рекомендованные рамки, обеспечивающие максимальное давление в мундштуке шнекового пресса для достаточного уплотнения торфомассы при формировании торфяных трубчатых кусков.

2.5 Параметрический анализ объемной производительности шнекового пресса с составным трубчатым мундштуком

Составной трубный мундштук шнекового пресса условно разбит на зоны, отличающиеся конфигурацией. Для каждой зоны следует определить частный коэффициент сопротивления потоку торфяного сырья [45].

Производительность торфяного шнекового пресса зависит от геометрических параметров самого шнека, частоты вращения шнека, а также от конструкции формующего мунштука шнекового пресса [83].

На основе гидродинамического подхода к анализу взаимодействия рабочих органов с перерабатываемым материалом в формующей зоне шнекового пресса принято рассматривать три составляющие потока движения материала:

1) По межвитковому пространству в направлении от зоны загрузки к зоне формования вдоль оси шнека. Возникает при вращении шнека относительно цилиндра;

2) При перепаде давления P по длине шнека. Движение потока материала в противоположном направлении.

3) Между наружной поверхностью витков шнека и внутренней поверхностью цилиндрического корпуса в направлении от зоны формования (поток утечки).

Объемная производительность торфяного шнекового пресса может быть выражена соотношениями при условном разделении потока в канале шнека и будет зависеть от конструкции формирующей зоны и сопротивления составного мундштука (32) [72]

$$Q = \frac{AK}{K+B+C}n, \quad (32)$$

где Q – объемная производительность, $\text{м}^3/\text{с}$; n – частота вращения шнека, с^{-1} ; K – коэффициент геометрической формы мундштука, м^3 ; C – постоянная потока утечек для шнеков с постоянными геометрическими размерами, м^3 ; A – постоянная прямого потока для шнеков с постоянными геометрическими размерами, м^3 ; B – постоянная обратного потока для шнеков с постоянными геометрическими размерами, м^3 ;

Константы прямого, обратного потока и потока утечек в зоне нагнетания шнека при условии постоянных геометрических размеров, определяются по формулам [68]:

– постоянная прямого потока (33)

$$A = [\pi Dh(H - ze)\cos^2\varphi]/2. \quad (33)$$

– постоянная обратного потока (34)

$$B = [h^3(H - ze)\sin 2\varphi]/24l_\phi. \quad (34)$$

– постоянная потока утечек (35)

$$C = [\pi^2 D^2 \delta^3 \tan \varphi \sin \varphi]/10 l_\phi e, \quad (35)$$

где D – наружный диаметр шнека, м; H – шаг витков шнека, м; h – высота лопасти шнека, м; e – ширина гребня лопасти, м; z – число заходов шнека; δ – величина зазора между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра, м; φ – угол подъема винтовой линии витков шнека по наружному диаметру; $tg\varphi = t/\pi D$; l_ϕ – длина зоны нагнетания, м.

Исходные данные для расчета параметров шнека (таблица 19) подобраны таким образом, чтобы появилась возможность обеспечить заданную объемную производительность шнекового пресса $0,004 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 19 – Исходные данные для определения объемной производительности шнекового пресса с составным трубчатым мундштуком

Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Наружный диаметр шнека	D	м	0,3
Шаг витков шнека	H	м	0,2
Угол подъема винтовой линии витков шнека по наружному диаметру	φ	град	22
Высота лопасти шнека	h	м	0,1
Число заходов шнека	z	-	1
Ширина гребня лопасти	e	м	0,01
Зазор между внутренней поверхностью цилиндра и наружной поверхностью витка шнека	δ	м	0,004
Частота вращения шнека	n	с^{-1}	1,966
Длина зоны формования	l_ϕ	м	0,98

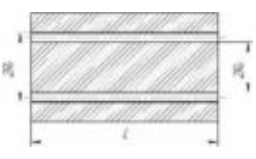
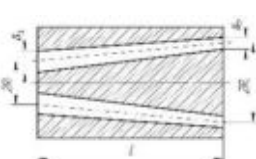
Основной геометрической характеристикой составного трубчатого мундштука является его общий коэффициент сопротивления $K_{\text{см}}$, определяемый в виде суммы коэффициентов сопротивления отдельных зон составного мундштука k_1 и k_2 (36) [103]

$$K_{\text{см}} = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}, \quad (36)$$

где k_1 , k_2 – частные коэффициенты сопротивления зон канала с простой геометрической формой, определяемые по формулам таблицы 20.

В результате выполненного анализа определен общий коэффициент сопротивления составного мундштука шнекового пресса $K = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, от которого зависит давление в мундштуке, необходимое для проталкивания уплотненной массы через мундштук [112]. По результатам расчета параметров сопротивления в составном трубчатом мундштуке шнекового пресса (таблица 21), при использовании калибрующего кольцевого цилиндрического канала значение коэффициента сопротивления материала на 40 % меньше коэффициента сопротивления кольцевого конического канала.

Таблица 20 – Расчетные формулы и схемы для расчета коэффициентов сопротивления и скорости сдвига в простейших каналах [43, 66, 72]

Тип канала	Расчетная схема	Коэффициент сопротивления $K, \text{ м}^3$	Скорость сдвига материала, $\dot{\gamma}, \text{ с}^{-1}$
Кольцевой цилиндрический		$\frac{\pi}{8L} \left[R_H^4 - R_B^4 - \frac{(R_H^4 - R_B^4)^2}{\ln \frac{R_H}{R_B}} \right]$	$\frac{6Q}{\pi(R_H + R_B)(R_H - R_B)^2}$ R_H, R_B – наружный и внутренний радиусы.
Конический кольцевой		$\frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6Lm},$ m – коэффициент, определяемый как $\frac{2,3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}$	$\frac{22,3Q}{4\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2}$ где R_1, R_2 – средние радиусы конуса на входе и выходе; δ_1, δ_2 – толщина щели на входе и выходе.

Тогда, способность напорной шнековой части составного трубчатого мундштука будет создавать давление (напор) выше, снижая расход энергии на формование торфомассы в торфяные трубчатые куски. По исходным данным проектируемого шнека в таблице 21 приведены расчетные значения

постоянных потока, коэффициентов сопротивления и объемной производительности.

Таблица 21 – Результаты расчета параметров сопротивления в составном трубчатом мундштуке шнекового пресса, м³

Наименование	Значение
Постоянная прямого потока	$7,697 \cdot 10^{-3}$
Постоянная обратного потока	$5,612 \cdot 10^{-6}$
Постоянная потока утечек	$8,692 \cdot 10^{-8}$
Коэффициент сопротивления кольцевого конического канала	$8,233 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент сопротивления кольцевого цилиндрического канала	$4,814 \cdot 10^{-6}$
Общий коэффициент сопротивления мундштука	$2,93 \cdot 10^{-6}$

Уменьшение расхода энергии при формировании с использованием калибрующего кольцевого цилиндрического канала, является следствием понижения коэффициента сопротивления и коэффициента внешнего трения торфа при перемещении его в зоне формирования мундштука.

2.6 Энергоемкость механической переработки и формирования торфяного сырья в шнековом прессе с составным трубчатым мундштуком и пустотообразователем

На входе в мундштук шнекового пресса в перемешиваемом торфяном материале возникают напряжения сдвига и нормальные напряжения, изменяющиеся в зависимости от геометрических размеров профилирующих элементов мундштука и релаксируют на выходе из мундштука.

Напряжение сдвига материала τ зависит от нормального давления σ , рассчитывается по формуле (37)

$$\tau = \tau_0 + f\sigma, \quad (37)$$

где τ_0 – напряжение сдвига торфяного сырья относительно стенок формующего устройства в состоянии покоя (сцепление); f – коэффициент

трения. Сцепление и коэффициент трения зависят от общетехнических и физико-механических свойств торфяного сырья, а также от скорости деформации. При определении энергоемкости механической переработки и формования торфяного сырья в шнековом прессе значения τ_0 и f можно принимать постоянными, если иметь ввиду при этом их средние значения для узкого диапазона свойств торфа и скорости его движения в формующем устройстве [53]. Такие допущения [53] существенно упрощает анализ затрат энергии формующих и перерабатывающих устройств на стадии их проектирования.

Анализ потерь давления в составном трубчатом мундштуке проводится путем определения скорости сдвига материала $\dot{\gamma}$ в элементарных зонах 1 и 2 составного трубчатого мундштука (рисунок 37) по формулам таблицы 20. Механическая переработка и формование торфяного сырья в шнековом прессе связаны прежде всего с необратимыми (остаточными) деформациями при течении материала в шнеке и мундштуке. Изменение вязкости торфяного сырья свидетельствует об изменениях, происходящих в его структуре. Равновесное состояние в установившемся потоке характеризуется ростом механической переработки материала со снижением прочности на сдвиг и эффективной вязкостью, которая убывает с ростом действующего напряжения в системе (38) [80]

$$\eta_{эф} = \tau / \dot{\gamma} . \quad (38)$$

Потери давления на элементарных зонах мундштука определяются как (39) [66]

$$\Delta P_i = Q \eta_i / K_i , \quad (39)$$

где Q – производительность пресса, $\text{м}^3/\text{с}$; η_i – эффективная вязкость материала в элементарных зонах мундштука, $\text{Па} \cdot \text{с}$; K_i – коэффициент сопротивления элементарных зон мундштука, м^3 (таблица 21).

В таблице 22 приведены результаты расчета скорости сдвига материала, эффективной вязкости и потерь давления

Таблица 22 – Результаты расчета скорости сдвига материала, эффективной вязкости и потерь давления в мундштуке пресса

Зона мундштука	Скорость сдвига $\dot{\gamma}$, с^{-1}	Вязкость материала (расчетное значение) η , $\text{Па}\cdot\text{с}$	Потери давления в канале (расчетное значение) ΔP , кПа
Кольцевой конический канал	12,24	326,90	198,53
Кольцевой цилиндрический канал	42,60	93,87	97,47

Отсюда общие потери давления (39) в составном трубчатом мундштуке пресса составляют

$$\Delta P = 198,53 + 97,47 = 296 \text{ кПа.}$$

Давление, развиваемое шнеком при выбранных геометрических параметрах

$$\sigma_{\max} = 3\pi\tau \frac{l}{D} = 301,59 \text{ кПа.}$$

Мощность на прессование зависит от ряда факторов: физико-механических свойств торфяного сырья, проворачивания, возврата и сжатия массы в шнеке, трения массы о винт шнека и корпус, шероховатости поверхности шнека и корпуса [79]. Полезная мощность при наибольшем давлении составляет

$$N_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max} Q}{1000\eta_{\text{м}}} = 1,58 \text{ кВт.}$$

На основе результатов исследований при формовании пластичных глинистых материалов [45, 106], и результатов расчета скорости сдвига материала, эффективной вязкости и потерь давления в мундштуке пресса предполагается увеличение энергетических затрат из-за трения торфяной массы о поверхность кольцевого конического канала, а также увеличения износа поверхности канала.

2.7 Выводы по Главе 2

В результате анализа процесса окускования экскавированного торфяного сырья определено:

- Кусок в форме толстостенной трубы наружным диаметром $D_s = 0,18$ м с отверстием $d_s = 0,10$ м, при толщине стенки $0,04$ м и высотой $L_s = 0,25$ м позволит увеличить число сборов готовой продукции за время сезона добычи, а вертикальное расположение на поле для сушки увеличит радиационно–конвективный теплоподвод, тем самым сократит время сушки партии окускованного торфяного продукта.

- С учётом сформировавшихся в процессе исследования требований к форме и размерам куска предложена запатентованная конструкция шнекового пресса с составным мундштуком, состоящим из последовательно расположенных кольцевого конического и кольцевого цилиндрического каналов с пустотообразователем. Определены основные геометрические размеры формирующего мундштука шнекового пресса (диаметр нагнетающего корпуса $0,325$ м, переходной корпус сжатия $0,325$ – $0,180$ м, формирующий корпус $0,180$ м и диаметр пустотообразователя $0,100$ м).

- Анализ сравнения расположения мундштука шнекового пресса показал, что для вертикальной укладки торфяных трубчатых кусков необходимо использовать схему расположения мундштуков параллельно вектору движения стилочной машины. Также, при анализе конструкции шнекового пресса определено число витков шнека $i = 8$, определен параметр производительности шнекового пресса $A = 0,042$ м³/с и угловая скорость шнека $\omega = 12,44$ с⁻¹.

- В результате теоретического анализа рабочего процесса прессования торфяного сырья получены аналитические выражения для определения степени механической переработки торфяного сырья, в шнековом прессе с составным мундштуком при перемещении торфяной массы

в каждой зоне. С учетом распределения потока материала в коническом кольцевом и цилиндрическом кольцевом каналах мундштука суммарная степень механической переработки не превышает $\lambda = 352,7$. Оптимизация параметров шнекового пресса по критерию H/R , показала, что максимальное давление развиваемое шнеком в 301,6 кПа, достигается при соотношении его конструктивного параметра $H/R = 1,33$. Полученные результаты определения конструктивных и геометрических параметров шнекового пресса с составным мундштуком и пустотообразователем соответствуют диапазону рекомендованных значений 300-400 кПа, обеспечивающих максимальное давление в мундштуке шнекового пресса, с учетом скорости истечения торфомассы с тем, чтобы обеспечить достаточное уплотнение материала во времени. Определенные в работе геометрические параметры составного мундштука шнекового пресса позволяют получать из торфяного сырья низкой и высокой степени разложения торфяной трубчатый кусок с повышенной способностью влагоотдачи при его сушке в полевых условиях.

- Объемная производительность шнекового пресса с составным трубчатым мундштуком зависит от конструкции формующего мундштука пресса. Конструкция шнекового пресса условно разделена на зоны в виде кольцевого конического канала, сужение, которого определяет давление, развиваемое в экструдере, и производительность машины и кольцевого цилиндрического канала, в котором происходит калибровка куса заданной формы и размера. В результате выполненного анализа определен общий коэффициент сопротивления составного мундштука шнекового пресса $K = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, от которого зависит давление в мундштуке, необходимое для проталкивания массы через мундштук.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

На основе анализа научно-технической информации, в соответствии с поставленной целью и задачами диссертационной работы была разработана программа экспериментальных исследований:

1. Заготовка образцов натурального торфяного сырья для проведения экспериментов в лабораторных условиях
2. Проведение анализа физико-механических и структурных характеристик исследуемых композиций торфяного сырья и способы их подготовки для последующего формования.
3. Определение состава композиционных смесей торфяного сырья, диапазона варьирования количественного содержания компонентов и факторов, определяющих качественные показатели.
4. Моделирование процесса формования вязкопластичного торфяного сырья на разработанной стендовой установке, состоящей из шнекового пресса с формующим мундштуком.
5. Проведение экспериментальных исследований по изучению прессования используемых композиционных смесей на гидравлическом прессе.
6. Проведение экспериментальных исследований по изучению процесса формования различных шихт в шнековом прессе.
7. Обобщение полученных результатов и выработка рекомендаций по совершенствованию процесса формования вязкопластичного торфяного сырья с различными свойствами в шнековом прессе с составным мундштуком и пустотообразователем и реализации выполненных научно-технических разработок на практике.

На первом (подготовительном) этапе для проведения экспериментов была определена сырьевая база для отбора образцов торфяного сырья.

Выполнены выезды на реальные торфяные месторождения, проведен отбор проб и заготовка образцов торфяного сырья.

Для определения характеристик отобранного торфяного сырья проведено предварительное механическое обезвоживание и сепарация от древесных включений.

Проведен анализ структуры и физико-механических свойств смесей торфяного сырья. На основе определения пористости и анализа фрактальной размерности фотоизображений поверхности торфяного сырья, проведено исследование структуры смесей двух видов торфяного сырья в композите низкой степени разложения и высокой степени разложения.

На втором этапе определены структурно-механические свойства торфяного сырья при формировании в шнековом прессе.

С целью выявления закономерностей процесса формирования механической смеси экскавированного торфяного сырья высокой и низкой степени разложения, а также для совершенствования эксплуатационно-технологических показателей составного мундштука шнекового пресса стилочной машины по производству окускованной торфяной продукции трубчатого типа требуется проведение экспериментальных исследований по формированию торфяной массы в трубчатые торфяные куски с последующей их сушкой.

При разработке программы исследований, в качестве исходных данных использовались материалы проведенного обзорного анализа конструкций шнековых прессов аналогичных исследуемым в работе.

Определены конструктивные и кинематические параметры составного мундштука мобильного шнекового пресса. Установлено влияние степени механической переработки торфяного сырья от отношения шага витков к радиусу шнека при постоянной угловой скорости.

На основе анализа структуры составного мундштука мобильного шнекового пресса выполнена оценка степени механической переработки торфяного сырья в составном мундштуке [55] при формировании трубчатых кусков для условий постоянной угловой скорости шнека при выбранной длине, диаметре шнека и при постоянном шаге витков.

На основе разработанного патента [55] сконструирован и изготовлен составной мундштук шнекового пресса, и проведены исследования по формированию торфяных кусков трубчатой формы в лабораторных условиях. Проведены предварительные лабораторные исследования по устойчивости к деформационным нагрузкам сформованного торфяного трубчатого куска при его вертикальной ориентации на поверхности.

На заключительном этапе были получены образцы торфяных кусков трубчатой формы и обоснованы параметры составного мундштука шнекового пресса стирочной машины, обеспечивающих течение и уплотнение торфяного сырья в шнековом прессе с целью получения торфяного куска трубчатой формы.

3.2 Нарботка образцов торфяного сырья

Нарботка образцов торфяного сырья проводилась в соответствии с принятыми методиками [19, 21, 22, 25, 39] путем механической экскавации его из торфяной залежи.

В качестве сырьевой базы было выбрано торфяное месторождение «Рогали». Участок недр расположен в 3 км к юго-западу от п.г.т. Фирово, в 0,6 км к юго-востоку от д. Королево Фировского района Тверской области. По справочнику торфяного фонда Тверской области месторождение имеет порядковый номер 517, кадастровый номер 491.

Выделены 5 технологических площадок для обследования и отбора образцов торфяного сырья (рисунок 40).



Рисунок 40 – Первоначальная площадка месторождения «Рогали», Фировский район, Тверская область [101]

Месторождение представлено верховой (47 %) смешанной (38 %) и переходной (15 %) торфяной залежью. Площадь месторождения в промышленных границах – 620 га максимальная глубина торфяной залежи – 8,9 м, средняя глубина торфяной залежи – 4,4 м. Балансовые запасы торфа при средней глубине залежи 4,33 м составляет 3574 тыс. т (40% условной влажности), в том числе запасы торфа малой степени разложения при средней мощности пласта 1,20 м составляет 4851 тыс. м³ (433 тыс. т) на площади 404 га. Качественные показатели торфяного сырья с месторождения «Рогали» приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Качественные показатели торфяного сырья с месторождения «Рогали»

Показатель	Значение
Степень разложения торфа, %	3 – 57
Зольность, %	1 – 17
Естественная влажность торфа в залежи, %	82,4 – 96,0
Пнистость торфяной залежи, %	0 – 6,6
Кислотность (рН) залежи	4,5 – 2,8

Наработка образцов проводилась в месте (точка S040 с координатами широты: 57.4580640008364, долготы 33.59883069992066) при помощи навигационного приложения GARMIN для IOS [100].

Выемка образцов торфяного сырья осуществлялась вертикально, на неосушенной торфяной залежи, путем экскавации при помощи торфорезной лопаты, на глубину до 1,5 м.

Таким образом, были наработаны образцы, включающее торфяное сырье низкой степени разложения, и высокой степени разложения с последующей упаковкой в герметичные мешки.

Подготовленные образцы торфяного сырья были доставлены на экспериментальную базу Санкт-Петербургского горного университета для проведения дальнейших исследований.

3.3 Методика отбора проб торфяной залежи

Согласно методике [39], отбор проб торфяной залежи проводился способом зондирования.

В качестве инструмента для зондирования торфяной залежи был использован – бур Гиллера с закрывающимся челноком [35].

При погружении бура в торфяную залежь на глубину более 2 м, штангу последовательно наращивали до необходимой длины.

При отборе пробы подготавливалась погружная площадка для челнока. При помощи лопаты, в выбранном месте проводилось удаление верхнего слоя растительности до глубины 0,15 м. Затем, челнок погружали в залежь на первоначальную глубину 1,0 м.

Перед извлечением из залежи челнок закрывали поворотом ручки на 180° по часовой стрелке. После извлечения челнок располагается в горизонтальном положении, затем происходит открывание его (Рисунок 41) с перемещением содержимого челнока в герметичные упаковки с застежкой.

На пакете указывался номер точки отбора, глубина и координата точки отбора пробы.



Рисунок 41 – Открытый челнок бура с торфяным сырьем

Для проведения камеральной обработки отобранных проб торфяного сырья, отбирались образцы торфа массой около 300 г.

3.4 Камеральные работы и подготовка торфяного сырья к лабораторным исследованиям

Проведение камеральной обработки отобранных проб торфяного сырья (таблица 24) по ГОСТ 11305-2013 проводилось в испытательной лаборатории торфа и продуктов его переработки «ВНИИТП-Испытательный центр» по показателям: тип торфа, вид торфа, степень разложения, массовая доля общей влаги, зола. Результаты проведения камеральной обработки приведены приложение 3.

Таблица 24 – Характеристики наработанного торфяного сырья

Тип торфа	Вид торфа	Объем, л	Степень разложения R , %	Влажность w , %
Верховой	Шейхцериено-сфагновый	40	6	87
Низинный	Пушицево-сфагновый	40	25	90

Карьерная добыча торфяного сырья одноковшовым экскаватором проходит путем извлечения ковшом торфяного сырья с откоса карьера со всей глубины залежи. В процессе выемки сырья происходит усреднение его качественных характеристик, отличающихся по слоям торфяной залежи. Первым этапом подготовки торфяного сырья к лабораторным исследованиям является удаление древесных включений. Сепарация торфяного сырья от древесных включений проводилась вручную.

После сепарации при подготовке к окускованию торфяного сырья проходит процесс предварительного полевого понижения влажности торфяного сырья – обезвоживание. Данная операция позволяет значительно уменьшить энергозатраты на последующую сушку сформованных кусков. Обезвоживание проводилось механическим отжатием торфа при помощи шнекового пресса, оснащенного перфорированным металлическим фильтром-сеткой.

В ходе проведения лабораторных исследований выполнялось измерение влажности торфяного сырья на анализаторе влажности AND MF-50 (Рисунок 42).

Влажность образцов кускового торфа определялась по формуле (40) [80]

$$w_k = (m_b - m_c)100/m_b, \quad (40)$$

где m_b , m_c - соответственно, масса образцов во влажном и высушенном состоянии, г.



Рисунок 42 – Анализатор влажности AND MF-50

Погрешность определения влажности 0,05 %. Микропроцессор анализатора контролировал: температуру, время и массу исследуемого объекта. В результате проведения подготовительных работ проведена сепарация и обезвоживание образцов торфяного сырья до влажности 82 %.

3.5 Методы и аппаратура для определения физико-механических свойств торфяного сырья

3.5.1 Определение предельного напряжения сдвига торфяного сырья

Для измерения реологических параметров торфяного сырья, как твердообразного материала, использовался метод погружения конуса, предложенный академиком Ребиндером П.А. [64, 65].

Эксперименты по погружению конуса в торфяную массу с определением предельного напряжения сдвига проводились на конусном пенетрометре ELE International 24-054 (рисунок 43).

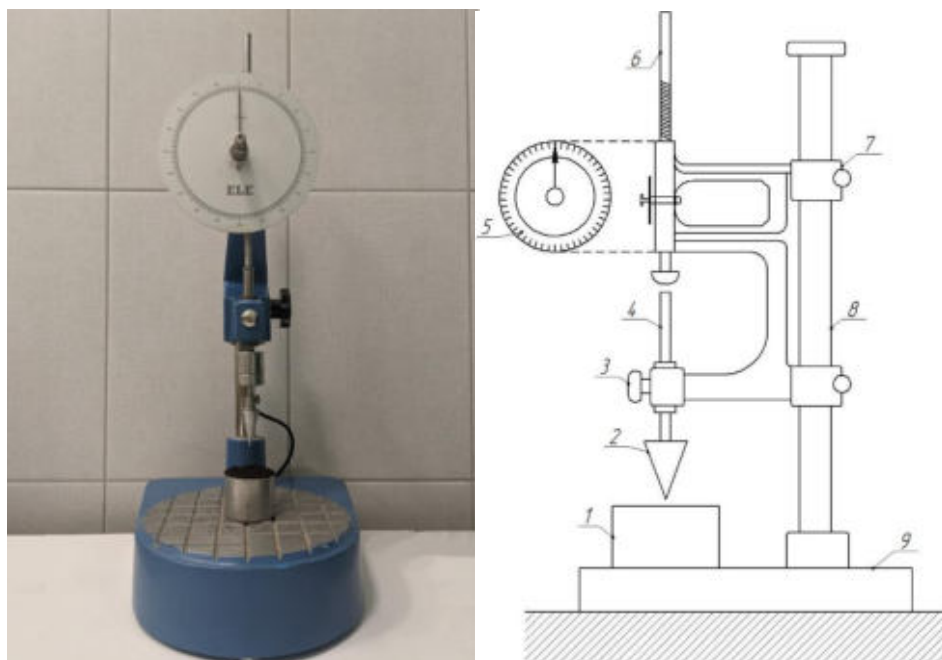


Рисунок 43 – Конусный полуавтоматический пенетрометр ELE International 24-054 и принципиальная схема: 1 – чаша; 2 – конус; 3 – пусковая кнопка; 4 – подвижный стержень; 5 – циферблат; 6 – кремальера; 7 – кронштейн; 8 – вертикальная колонна; 9 – подставка-основание

Пенетрометр состоит из подставки-основания 9 и вертикальной колонны 8, на которой при помощи кронштейнов 7 закреплена кремальера 6 и подвижный стержень 4. Подвижный стержень 4 приводится в движение при помощи пусковой кнопки 3. При нажатии на кнопку 3 стержень 4 с конусом 2 свободно опускается вниз и входит в чашу 1 с торфяной массой. Чаша располагается на основании пенетрометра и имеет цилиндрическую форму с диаметром 60 мм и высотой 50 мм. Объем чаши $0,00014 \text{ м}^3$, площадь поверхности чаши $0,01507 \text{ м}^2$, масса 90,45 г. Длина закрепленного к стержню конуса – 35 мм, с углом при вершине – 30° . Масса нагружаемой части конуса и груза равна 130 г.

При проведении исследований по определению предельного напряжения сдвига, учитываются значения классификации материалов, приведенных в таблице 25 [44].

Таблица 25 – Классификация материалов по значению предельного напряжения сдвига

Консистенция материала	$\tau_0 \cdot 10^{-2}, \text{ Па}$
Очень мягкий, почти текучий	< 50
Очень мягкий, но не размазывающийся	50...100
Мягкий, размазывающийся	100...200
Пластичный, размазывающийся	200...800
Твердый	800...1000
Слишком твердый	> 1000

Определение коэффициента консистенции органо-минеральных и минеральных грунтов производилось по формуле (41) [44]

$$B = \frac{W_{\text{пр}} - W_{\text{р}}}{W_{\text{п}}}, \quad (41)$$

где $W_{\text{пр}}$ – природная влажность грунта, %; $W_{\text{р}}$ – предел раскатывания, %; $W_{\text{п}}$ – число пластичности, %.

По величине коэффициента консистенции устанавливается консистенция грунта в соответствии со следующими данными (таблица 26).

Таблица 26 – Классификация материалов по значению влажности

Консистенция материала	Влажность, %
Полутвердая	0 – 0,25
Тугопластичная	0,25 – 0,50
Мягкопластичная	0,50 – 0,75
Текучепластичная	0,75 – 1,00
Текучая	1,0

Опытным путем определялся объемный вес влажного грунта. В случае расположения слоя грунта ниже горизонта грунтовых вод, допускается вычислять объемный вес грунта γ_w через значения влажности W и удельного веса γ_r по формуле (42)

$$\gamma_w = \frac{1 + \frac{W}{100}}{\frac{W}{100} + \frac{1}{\gamma_r}}. \quad (42)$$

Для связных грунтов по формуле (43)

$$\gamma_w^{взв} = \gamma_w - 1. \quad (43)$$

Определялся объемный вес грунта с учетом его взвешивания.

В процессе определения предельного напряжения сдвига предполагается, что исследуемая торфяная масса течет вдоль образующей поверхности конуса пенетрометра.

Условия равновесия сил на поверхности конуса определялись путем проектирования на образующую конуса l (рисунок 44) движущую силу P и приравняв её к силе сопротивления P' (44)

$$P' = P \cos(\alpha / 2). \quad (44)$$

Предельное напряжение сдвига τ_0 (Па) представляет собой отношение силы сопротивления P' вдоль боковой поверхности конуса к площади F этой поверхности (45)

$$\tau_0 = P' / F = \frac{P \cos(\alpha / 2)}{\pi r l} = K_\alpha m g / h^2, \quad (45)$$

где K_α – константа конуса; α – угол при вершине конуса, град; m – масса

конуса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; h – глубина погружения конуса в продукт, м.

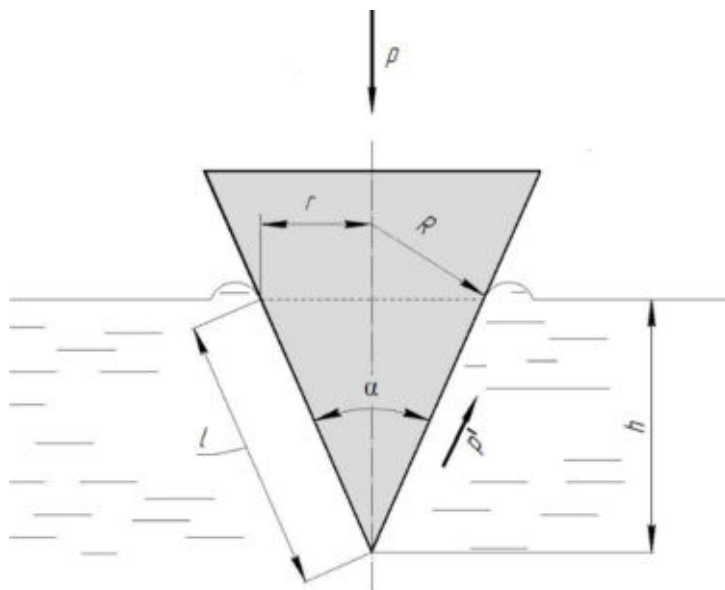


Рисунок 44 – Схема для расчета предельного напряжения сдвига

Для проведения эксперимента по данным проф. Воларовича М.П. для конуса с углом при вершине - 30° константа конуса принята $K_\alpha = 0,958$ [16].

На основе ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация [21], исследуемая торфяная масса относится ко второму классу природных дисперсных грунтов «дисперсные (с водно-коллоидными и механическими структурными связями)»; группе – связные; подгруппе – осадочные; типу – органические; виду – торфы.

Порядок выполнения эксперимента:

1. Из образцов торфяного сырья разной степени механической переработки были приготовлены по три исследуемых партии, массой 100 г;
2. Торфяное сырье загружалось в цилиндрическую чашу прибора с высоты 150 мм, с последующей подпрессовкой торфяного сырья (рисунок 45) при помощи груза массой 1 кг;

3. При соприкосновении груза с поверхностью торфяного сырья включался секундомер. В течении одной минуты груз спрессовывал торфяное сырье, и после снимался с исследуемой пробы. Поверхность исследуемого образца при помощи режущей металлической пластины срезалась параллельно опорной поверхности цилиндрической мерки на уровне ее краев (рисунок 45);



Рисунок 45– Процесс подготовки торфяного сырья

4. Приводили поверхность исследуемого образца в соприкосновение с нижним концом конуса (индентора) прибора. Данное положение принималось за начальную точку;

5. Отжималась пусковая кнопка. Конус при свободном падении погружался в торфяное сырье (рисунок 46). Кинетика погружения конуса в общем случае описывается кривой (рисунок 47) [34];

6. После остановки конуса в торфяной массе, погружение считается предельным, сила, действующая на конус, уравнивается пластичной прочностью структуры торфяного сырья;

7. Замерялась глубина погружения конуса в торфяную массу;

8. С целью повышения точности полученных результатов исследуемые образцы подвергались 3-х кратному измерению. Средний

показатель давал величину пенетрации ТС (торфяного сырья), при этом расхождение между результатами проведенных исследований не должно быть выше величины 5 % меньшего из них;



Рисунок 46 – Конус, погруженный в торфяное сырье

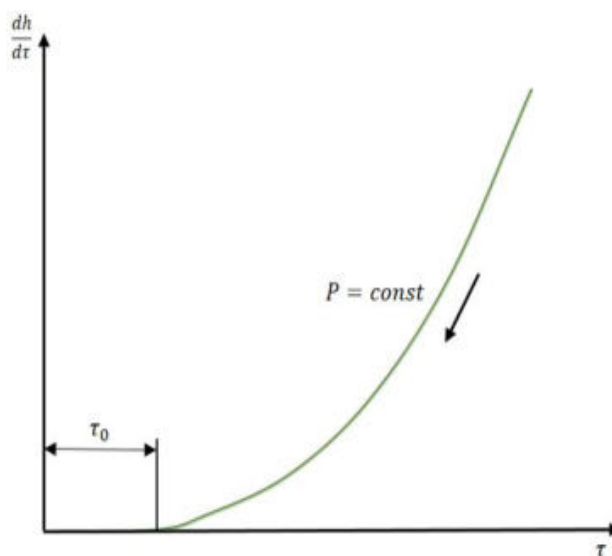


Рисунок 47 – Кривая кинетики погружения конуса

9. По величине погружения конуса h в торфяную массу проводилось определение предельного напряжения сдвига.

3.5.2 Формование физических моделей торфяного трубчатого куска

Эксперименты по формованию торфяного сырья в трубчатый кусок с целью подтверждения формуемости и вертикальной устойчивости куска трубчатой формы при сушке проводились с использованием сборной модельной формы (рисунок 48).

Уплотнение торфяной смеси является ответственной операцией формообразования, т.к. по её окончании модельный кусок приобретает требуемую форму и плотность. Экскавированное торфяное сырье представляет собой трехфазную систему (твердая, жидкая и газообразная) [70]. В процессе уплотнения наряду с компактной укладкой материала происходит удаление из него вовлеченного воздуха. Уплотнение происходит кратковременными нагрузками и связывается только с удалением части воздуха. Принятый способ уплотнения и формования в лабораторных условиях должен обеспечивать коэффициент уплотнения не менее 0,96 [36].



Рисунок 48 – Модель для формования торфяного сырья в трубчатую форму

Для формования полноразмерной модели куска форме толстостенной трубы наружным диаметром $D_s = 0,18$ м с отверстием $d_s = 0,10$ м, при толщине стенки $0,04$ м и высотой $L_s = 0,25$ м применялся ручной способ последовательной укладки и трамбовки торфяного сырья в форме.

Полученные модели высвобождались из формы и подвергались естественной сушке в лабораторных условиях в течении 14 дней.

3.5.3 Описание экспериментальной установки для формования торфяного сырья в куски трубчатой формы

Для проведения лабораторных исследований по формованию торфяного сырья в куски трубчатой формы на типовом шнековом формователе М-2 (рисунок 49, 50), была разработана насадка составного мундштука с пустотобразователем для формования торфяных кусков трубчатого типа (таблица 27).



Рисунок 49 – Экспериментальная установка

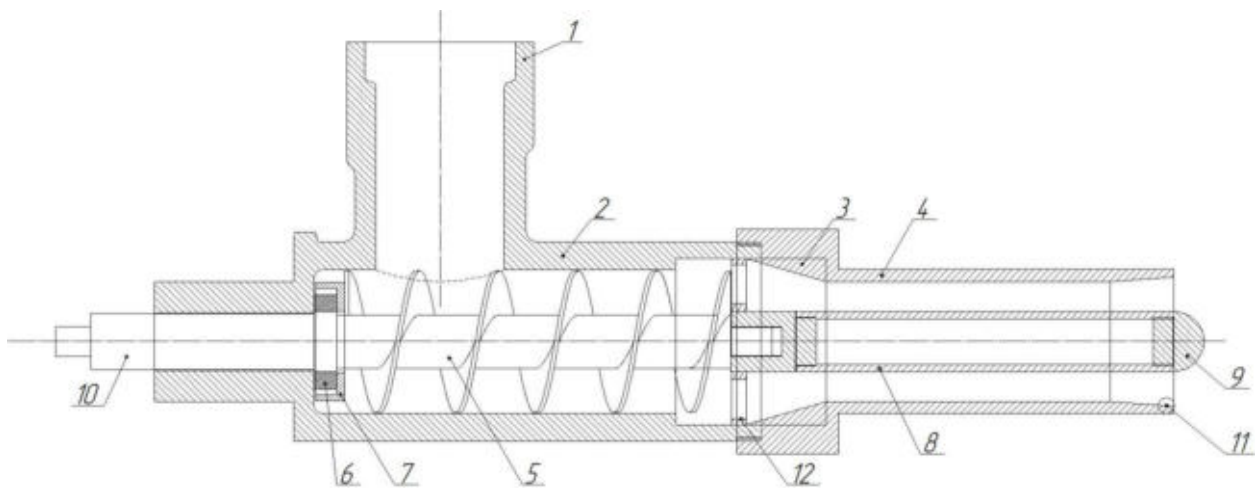


Рисунок 50 – Схема шнекового формователя М-2 в сборе с мундштуком и пустотообразователем:

1 – загрузочная горловина; 2 – секция нагнетания; 3 – секция сжатия; 4 – секция формования; 5 – шнек; 6 – упорный подшипник шнека; 7 – крышка упорного подшипника; 8 – пустотообразователь; 9 – шарообразная пробка; 10 – хвостовик шнека; 11 – обратный букель; 12 – промежуточная опора

Управление формователем осуществляется через частотный регулятор типа – Hyundai N100 plus.

Лабораторный стенд работает следующим образом: предварительно подготовленное торфяное сырье через горловину 1 загружается в секцию нагнетания 2 шнека 5, который приводится в движение электродвигателем через хвостовик 10.

В секции нагнетания 2 проходит перемешивание и уплотнение торфяного сырья. Затем оно подается в секцию сжатия 3, где происходит уплотнение торфяного сырья с последующим формованием в формующей секции 4 мундштука.

Таблица 27 – Техническая характеристика шнекового формователя М-2

Параметр	Значение
Тип электродвигателя	4А80А4У3
Напряжение, В	220/380
Частота вращения ротора, с ⁻¹	23,3
Частота вращения шнека, с ⁻¹	2,83
Мощность двигателя, кВт	1,1
Длина нагнетающей секции, м	0,22
Диаметр нагнетающей секции, м	0,08
Диаметр шнека, м	0,079
Диаметр вала шнека, м	0,035
Длина шнека, м	0,2
Шаг витков, м	0,055
Длина секции сжатия, м	0,038
Диаметр калибрующей секции, м	0,06
Длина калибрующей секции, м	0,132
Диаметр пустотообразователя, м	0,035
Длина пустотообразователя, м	0,17
Угол раскрытие обратного букеля, град	2
Радиус шарообразного наконечника, м	0,0175
Скорость формования, м/с	0,026

При помощи пустотообразователя 8 торфяное сырье формуется в кусок трубчатой формы, свободно выходящего из формователя за счет обратного букеля 11 выполненного в виде расширяющегося конуса с полным углом раскрытия 2 градуса. Обратный букель необходим для равномерного и плавного снятия напряжения в куске. На выходе из составного мундштука при

помощи обратного букеля происходит сглаживание колебаний сопротивления передвижения торфяного бруса внутри формирующего корпуса, вызванные изменением влажности, дисперсности и плотности торфяной массы [53]. Шарообразный наконечник 9 навинченный на пустотообразователь 8 не позволяет разрушаться внутренней поверхности куска при его отламывании. Для предотвращения биения, навинченного на шнек пустотообразователя, установлена промежуточная опора 12.

Вал в агрегате со шнеком и пустотообразователем является рабочим органом предлагаемого формователя и образует формирующее-стилочный механизм, который стал объектом исследования в настоящей работе.

3.5.4 Исследование структуры смесей двух видов торфяного сырья

При естественном залегании торфяные массивы имеют мощный верхний слой слаборазложившегося торфяного сырья. При использовании такого сырья окученная торфяная продукция имеет слабые показатели теплотворной способности и плотности. Выемка торфяного сырья высокой степени разложения наряду с торфяным сырьем низкой степени разложения с точки зрения процесса обогащения имеет практический интерес. В данных условиях выемка торфа выполняется при помощи ковша экскаватора со всей глубины залежи, срезанием стружки с откоса уступа карьера. При проведении смешивания до гомогенной массы и диспергирования в процессе обогащения торфяного сырья происходит изменение структуры торфяной массы. Эти отличия связаны с изменением содержания высокодисперсной составляющей как в обогащенном, так и в диспергированном торфе, а также особенностями распределения элементов таких композиций в смеси.

Изучение особенностей микроструктуры горных пород тесно связано с оценкой представительности рассматриваемых малых участков среды по отношению к представляющему интерес объему среды в целом [87].

При этом изучение геометрических, топологических и статистических свойств неоднородного порового пространства оправдано тесной связью этих характеристик с физико-механическими процессами, протекающими в поровом пространстве при механической переработке торфяного сырья [87].

Среди задач микроструктурного анализа пористых материалов важную роль играет исследование статистических геометрических свойств поверхности порового пространства [87].

Учитывая сложный и нерегулярный характер геометрии пор горных материалов, естественно, использовать фрактальную геометрию [91].

Понятие фрактальной (дробной) размерности D , известное под названием размерности Хаусдорфа-Безиковича, введено Мандельбротом для измерения объектов, получивших название фрактальных [91].

Тогда актуальной становится задача разработки и применения новых подходов в оценке свойств поверхности. Одним из возможных направлений поиска таких подходов является использование теории фракталов и разработанного на ее основе фрактального анализа, а в качестве оценочного количественного параметра – фрактальной размерности D . Фрактальный анализ может быть применен к изображениям природных объектов, демонстрирующим свойства самоподобия в относительно широком диапазоне характерных масштабов [62] (в частности, для описания и распознавания изображений измельчаемых материалов).

Исследования структуры и физико-механических свойств смесей торфяного сырья выполнены на основе шейхцериево-сфагнового ($R = 6 \%$) и пушицевого-сфагнового торфа ($R = 25 \%$). Образование смесей этих компонентов осуществлялось по схеме, приведенной в таблице 29.

Для образцов смесей торфяного сырья (рисунок 51) определяли пористость и фрактальную размерность поверхности.

Пористость (активная) образцов смесей торфяного сырья определялась по почвенному методу с [15] использованием мерной колбы объемом 1000 мл

по разнице суммы объемов торфа и воды, выраженной в процентах, что составляет величину объема пор смеси.

Таблица 29 – Состав смесей торфяного сырья

Степень разложения торфа, R, %	Содержание торфа в смеси, % (по объему) по номерам опытов				
	1	2	3	4	5
6	100	75	50	25	0
25	0	25	50	75	100



Рисунок 51 – Образцы смесей торфяного сырья

Для исследования морфологии поверхности смесей использованы методы фрактального анализа. Для получения фотограмм готовилась поверхность образцов смесей. Полученные фотограммы затем обрабатывались в программной среде Gwyddion 2.58 [102] с определением характеристик поверхности торфяного сырья и вычислением фрактальной размерности по методу подсчёта кубов.

3.5.5 Моделирование вертикальной стилки торфяного трубчатого куска

С точки зрения организованной укладки торфяной окускованной продукции трубчатого типа, для определения рациональных соотношений скорости движения машины и скорости выдавливания массы из составного мундштука шнекового пресса проводились лабораторные исследования по вертикальной стилке торфяного трубчатого куска.

Условия проведения эксперимента: температура воздуха в помещении $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$; давление атмосферное – 101,99 кПа.

Для проведения лабораторных исследований использовался наклонный желоб из ударопрочного пластика (ПВХ) (рисунок 52) с неподвижным основанием.



Рисунок 52 – Оборудование для лабораторного исследования по вертикальной стилки торфяных кусков

Для установки наклонного желоба под определенным углом служит штатив физический универсальный (рисунок 52) со стойкой на чугунной подставке.

Один конец наклонного желоба закрепляется на штативе в лапке-держателе. Для приема упавшего тела устанавливается поддон с увлажненным

песком, выполняющий роль модели поля для сушки (рисунок 54) торфяных трубчатых кусков.

Эксперимент проводился на двух моделях торфяного куска (рисунок 52), далее, как полый толстостенный цилиндр.

Полые толстостенные цилиндры (таблица 30) были заполнены композитом торфяного сырья высокой и низкой степенью разложения в соотношении 1:1.

Таблица 30 – Характеристика полых толстостенных цилиндров

Модель №	Внешний диаметр $D_{\text{внеш}}, \text{ м}$	Внутренний диаметр $d_{\text{внут}}, \text{ м}$	Высота цилиндра $h, \text{ м}$	Масса, кг
1	0,145	0,065	0,150	2,5
2	0,130	0,060	0,165	1,7

Торфяное сырье, отобранное в полевых условиях (рисунок 53), подвергалось процессу сепарации для удаления древесных включений.



Рисунок 53 – Торфяное сырье низкой и высокой степени разложения

Процесс сепарации проводился ручным способом. Далее под действием давления за счет сжатия между двумя фильтровальными тканевыми лентами выполнялось предварительное обезвоживание отсепарированной торфяной массы до влажности $W = 82 \%$.

Затем подготовленный композит торфяного сырья формовался в модель 1 и модель 2 ручным способом.

В ходе эксперимента модели торфяного куска скользят по наклонной плоскости и падают с высоты достаточной для вертикальной установки модели торфяного куска.

Эксперимент проводится из условия, что цилиндр при падении на горизонтальную плоскость устанавливается в вертикальном положении.

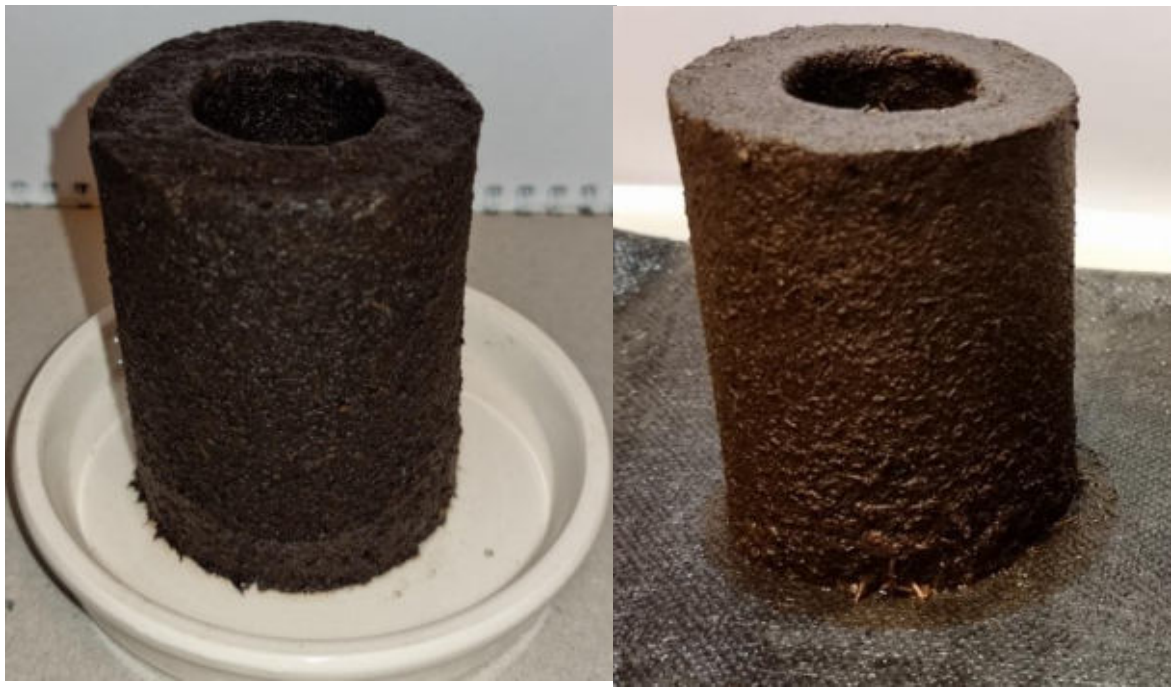
В ходе экспериментальных исследований определялась скорость, высота падения y и дальность полета моделей x с точностью до 1 мм.

3.5.6 Исследование по формованию и сушке торфяных трубчатых кусков

В ходе лабораторных исследований проверялись режимы формования торфяных трубчатых кусков, сушки при вертикальной стилке торфяных трубчатых кусков на залежи и вертикальной стилки трубчатых кусков на сетках. Формование торфяного сырья в трубчатые куски (рисунок 54) на типовом шнековом оборудовании М-2.

Стилка наработанной партии влажных торфяных трубчатых кусков проводилась ручным способом на сетку, и на поверхность из торфяного слоя, моделирующую поверхность торфяной залежи. Для поддержания постоянной влажности модель поверхности торфяной залежи была покрыта нетканым полотном из полипропилена (рисунок 54, б).

Сушка проводилась в естественных и лабораторных условиях до достижения торфяных кусков уборочной влажности $w=62\%$. В ходе проведения эксперимента велся архив изменения погодных условий.



а

б

Рисунок 54 – Сформованный трубчатый торфяной кусок: а - на сетках, б – на влажной поверхности

Проведены измерения объемной усадки исследуемых кусков, влажности, изменения массы.

3.6 Методика обработки результатов экспериментов

Для снижения энергозатрат при проведении исследований, с учетом сокращения времени и средств в процессе выполнения экспериментов путем сокращения количества опытов применялся методов теории планирования эксперимента [12, 13].

При обработке результатов экспериментальных исследований использован комплекс существующих базовых методов исследования реологических свойств торфяной массы на основе программной среды Gwyddion 2.51 с вычислением фрактальной размерности по методу подсчета кубов.

Расчет и обработка полученных данных проводились на персональном компьютере при помощи программного обеспечения Microsoft Excel,

инженерного математического программного обеспечения Mathcad, графического редактора CorelDRAW, а также при помощи системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D.

3.7 Выводы по Главе 3

Для подтверждения теоретических предположений и проверки полученных данных по размерам куска, в рамках темы диссертационного исследования, были намечены экспериментальные исследования, для чего была составлена программа экспериментальных исследований, разработана общая и частные методики проведения лабораторных исследований.

В соответствии с программой проведен анализ торфяных месторождений, составлен план выезда на торфяное месторождение и выполнена наработка опытных образцов торфяного сырья для проведения лабораторных исследований с камеральной обработкой торфяного сырья в лабораторных условиях ООО «ВНИИТП-Испытательный центр».

В ходе составления программы экспериментальных исследований на основе созданного патента (Приложение 4) разработана и создана конструкция составного мундштука с пустотообразователем для экспериментальной установки для моделирования процессов формирования торфяного сырья. Разработаны методики экспериментальных исследований для изучения процесса окусования различных композиций торфяного сырья, с определением конструктивных и энергосиловых параметров шнекового пресса.

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Исследование структуры смесей двух видов торфяного сырья

В торфяной залежи отмечено чередование слоев торфа с различной степенью разложения, что связано со стратиграфическими особенностями торфяной залежи. В таблице Приложения 2 приведены послойные показатели (стратиграфия) торфяной залежи месторождения Рогали одной из площадок опробования. Древесные включения в торфяной залежи представляют, в основном, пни сосны со средним размахом корневых лап до 1,5-3,0 м. Каждый вид торфяной залежи имеет осреднённый показатель глубины, степени разложения и влажности. Максимальная выемочная мощность пластов торфяной залежи определяется по зависимости между параметрами забоя и техническими характеристиками гидравлического экскаватора типа обратная лопата.

Добыча торфяного сырья карьерным способом, в настоящее время, выполняется путем выемки ковшем экскаватора торфа со всей глубины залежи. При срезании стружки со всех горизонтальных слоев торфяной залежи происходит усреднение торфяного сырья в ковше.

Анализируемая в работе торфяная смесь представляет из себя композиции торфяного сырья низкой степени разложения (наполнитель) и торфяного сырья высокой степени разложения (матрица). В процессе смешивания волокна торфа низкой степени разложения (магелланикум) связываются в матрице из торфа высокой степени разложения (пушицево-сфагновый). При данной композиции полимер-волокно торфяной смеси окускованная продукция получается необходимой заданной формы, а получаемые нагрузки на матрицу перераспределяются на наполнитель [108].

Анализ пористости торфяного сырья с разным составом компонентов смешиваемых видов торфа (высокой и низкой степени разложения) показал,

что образец № 1 (таблица 31) имеет сильно развитую пористость и крупные поровые пространства. Это типичная структура переплетения, в основе которой лежит упругий каркас, сложенный неразложившимися растительными остатками.

Таблица 31 – Пористость (активная) образцов смесей двух видов торфяного сырья

№ опыта	Состав смеси ($R=5/R=25$), %	Объем торфа, 10^{-4} м^3	Объем воды, 10^{-4} м^3	Объем смеси, 10^{-4} м^3	Пористость, %
1	100 / 0	6	5	7,0	67
2	75 / 25	6	5	7,5	58
3	50 / 50	6	5	7,9	52
4	25 / 75	6	5	8,3	45
5	0 / 100	6	5	8,8	42

Если для образца № 1 ответственными за прочность являются структуры переплетения, то для образца № 5, полученного из средне разложившегося торфа, прочность получаемой окускованной продукции определяется, в основном, взаимодействием частиц разложившейся массы. Сушка окускованной продукции из такого торфяного сырья сопровождается большими усадочными деформациями.

Введение в торфяное сырье тонкодисперсных частиц при смешивании позволяет изменять физико-механические свойства получаемой окускованной продукции. При этом снижается объем пор, что способствует более полному заполнению пространственного каркаса [78].

Можно заключить, что при соотношении компонентов смеси 1:3 (образец №4) прочность получаемой окускованной продукции будет максимальной. Если в образце № 3 пространственный каркас еще достаточно выражен, то уже для образца № 4 он раздроблен, и частицы слаборазложившегося торфа плотно сжаты средой высокоразложившегося торфа. Очевидно, что структура, отвечающая наилучшим физико-механическим характеристикам окускованной продукции, формируется в пределах 50:50, 25:75 процентов соотношения компонентов смеси. Если рассматривать в этой композиции торф низкой степени разложения (волокна)

как наполнитель, а торф высокой степени разложения – как матрицу которая связывает разнородные материалы, позволяет изготовить окускованную продукцию необходимой формы, воспринимает и перераспределяет нагрузки на наполнитель, прикладываемые к несущему упрочняющему компоненту. Прочностные характеристики материала матрицы являются определяющими при сдвиговых нагрузках. Поэтому материал матрицы должен быть пластичным и обладать высокой прочностью контактного взаимодействия (адгезионной прочностью) с поверхностью наполнителя. Известно, что упрочнение, трещиностойкость, сохранение формы окускованной продукции получается при соотношении связующего и наполнителя ~75:25 % [78].

Сочетание компонентов в торфяном композите позволяет осуществить комбинацию свойств компонентов – принцип сочетательного действия.

Компоненты торфяного композита:

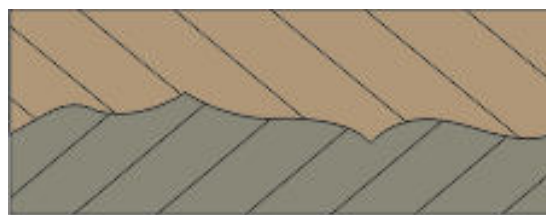
- непрерывная фаза – матрица (тонкодисперсные микрочастицы);
- дискретная фаза – наполнитель армирующий (макроструктуры);
- межфазная граница.

К механизмам межфазного взаимодействия (рисунок 55) основным требованием будет обеспечение монолитности композита, с фиксированием формы торфяного куска и взаимное расположение волокон, которые распределяют действующие напряжения по всему объему материала, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна.

Торфяные композиты по происхождению относятся к естественным, но в процессе усреднения, смешивания и диспергирования переходят в искусственные с упрочнением структуры, обеспечением трещиностойкости, сохранения формы компакта.



Переплетение макромолекул



Механическое сцепление

Рисунок 55 – Основные механизмы межфазного взаимодействия армирующий материал-матрица

Свойства компонентов в торфяных композитах с полимерной матрицей из тонкодисперсных микрочастиц:

- Матрица достаточно мягкая и пластичная (микроструктуры торфа, формирующиеся из надмолекулярных образований продуктов распада).
- Армирующий наполнитель (легкодеформируемые структуры переплетения).
- Адгезия на границе волокно – матрица.

Результаты определения активной пористости исходных образцов торфяного сырья по плотности и влажности представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Пористость (активная) исходных образцов торфяного сырья

Степень разложения R , %	Масса образца, кг	Плотность γ , кг/м ³	Пористость, %
6	0,0235	548	64
25	0,0356	829	45

Исследование статистических геометрических свойств поверхности порового пространства играет важную роль среди задач микроструктурного анализа пористых материалов. Предполагая сложный и нерегулярный характер геометрии пор горных материалов, необходимо использовать фрактальную геометрию [91].

Ниже представлены результаты анализа фрактальной размерности путем обработки фотоизображений поверхности торфяного сырья при помощи программного обеспечения Gwyddion [102].

Образец 1 – 100 % торфа малой степени разложения (рисунок 56-58, таблица 33).

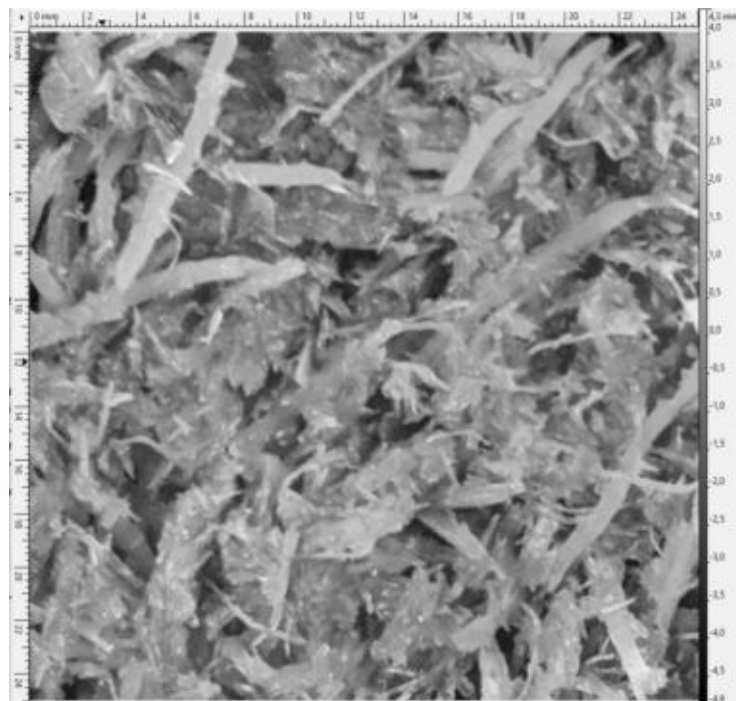


Рисунок 56 – Изображение поверхности образца 1 (1200x1200 px)

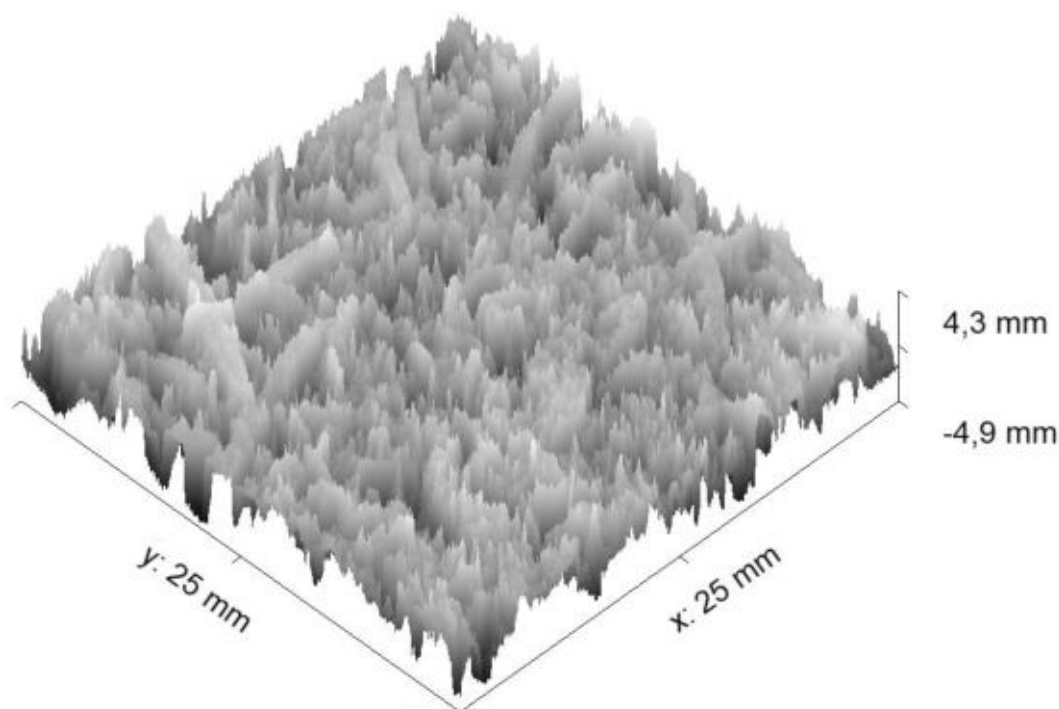
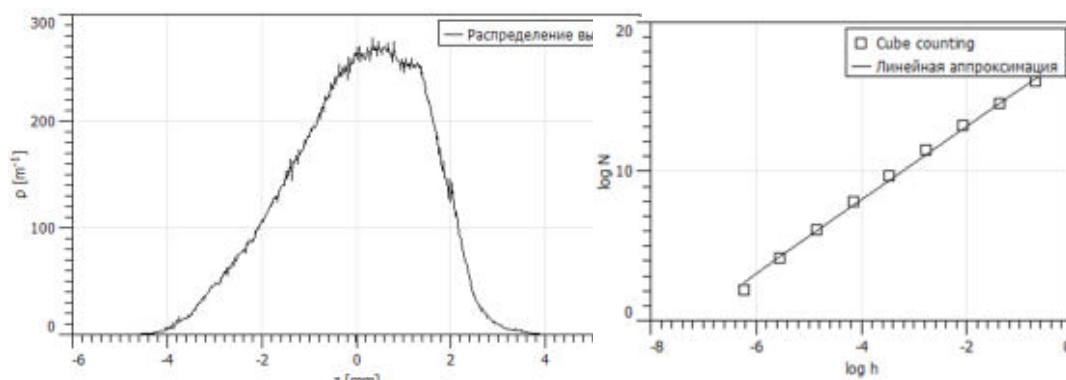


Рисунок 57 – Неровности поверхности образца 1 (трехмерный вид)

Таблица 33 – Статистические величины неровности поверхности образца 1

Величина	Значение
Минимум, мм	-4,891
Максимум, мм	4,324
Срединное, мм	0,123
Максимальная высота пика (S_p), мм	4,324
Максимальная глубина впадины (S_v), мм	4,891
Максимальная высота (S_z), мм	9,215

Рисунок 58 – Распределение высоты неровностей поверхности и фрактальная размерность поверхности $D=2,463$

Линейный наклон графика зависимости $\log N$ от $\log h$ говорит о фрактальности процесса. По наклону вышеприведённого графика (рисунок 60) определяется его фрактальная размерность. Значение $D=2,463$ находится в предполагаемом диапазоне от 2 до 3, где $D = 2$ соответствует плоской поверхности.

Образец 2 – 75 % торфа малой степени разложения; 25 % торфа степенью разложения 25 % (рисунок 59-61, таблица 34).

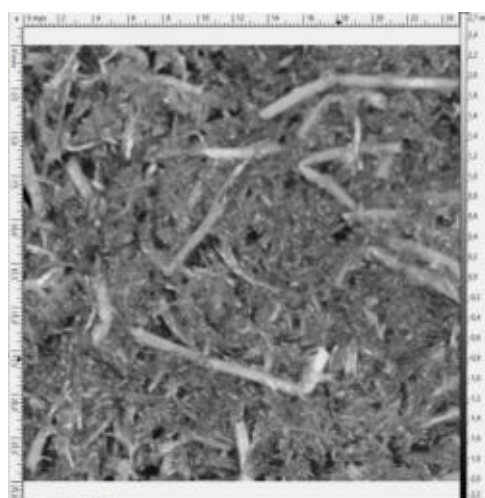


Рисунок 59 – Изображение поверхности образца 2 (1200x1200 px)

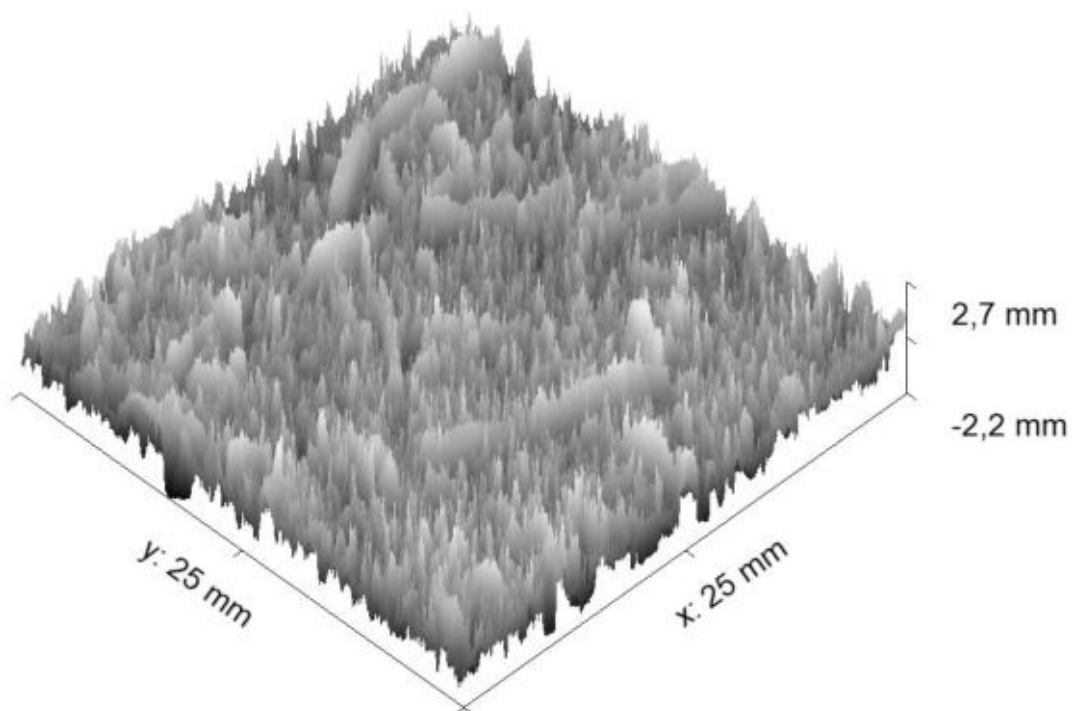
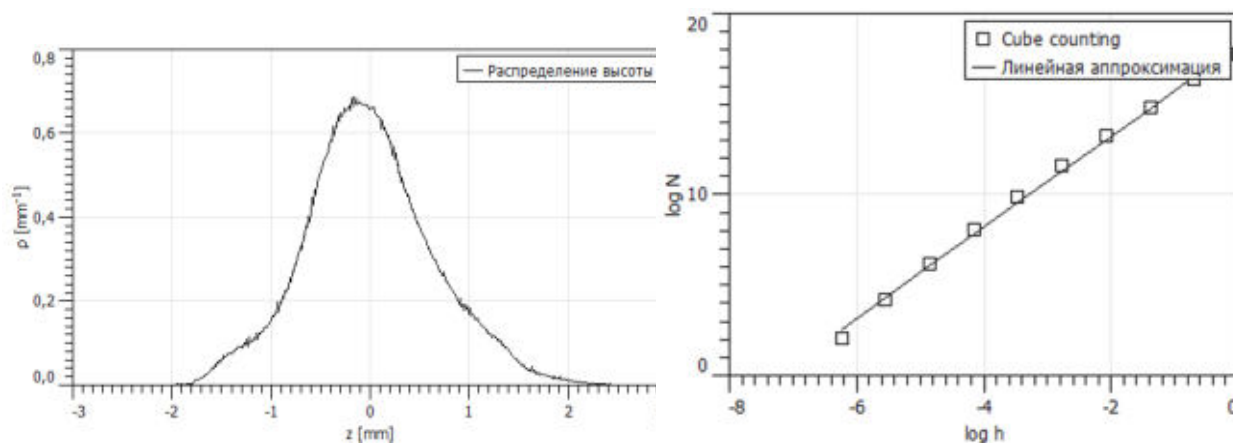


Рисунок 60 – Неровности поверхности образца 2 (трехмерный вид)

Таблица 34 – Статистические величины неровности поверхности образца 2

Величина	Значение
Минимум, мм	-2,163
Максимум, мм	2,674
Срединное, мм	-0,035
Максимальная высота пика (S_p), мм	2,674
Максимальная глубина впадины (S_v), мм	2,163
Максимальная высота (S_z), мм	4,837

Рисунок 61 – Распределение высоты неровностей поверхности образца 2 и фрактальная размерность поверхности ($D=2,574$)

Образец 3 – 50 % торфа малой степени разложения; 50 % торфа степенью разложения 25 % (рисунок 62-64, таблица 35).

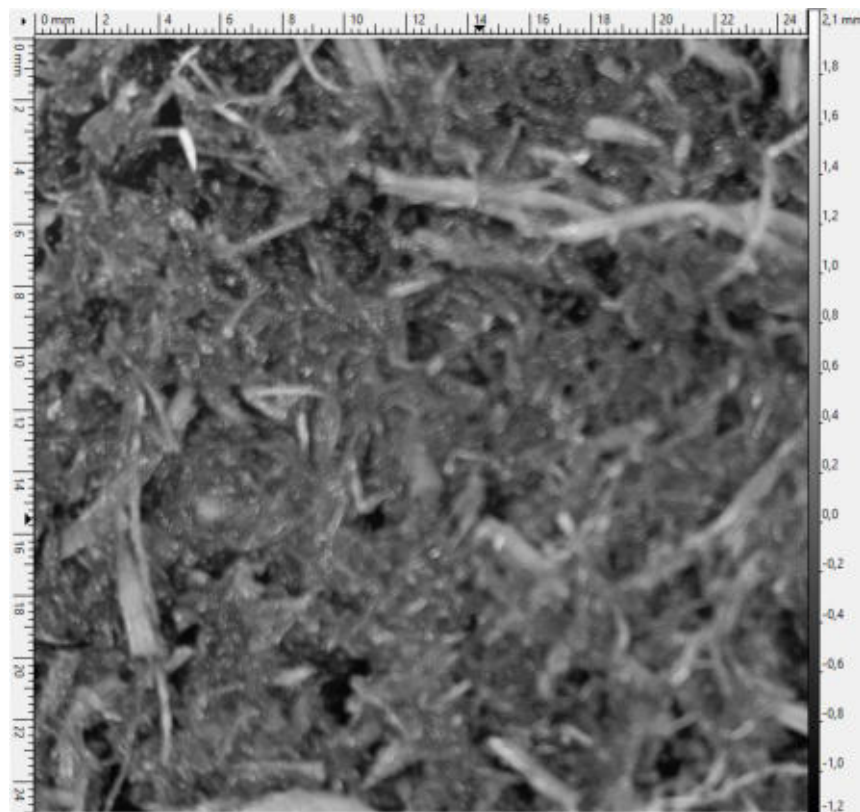


Рисунок 62 – Изображение поверхности образца 3 (1200x1200 px)

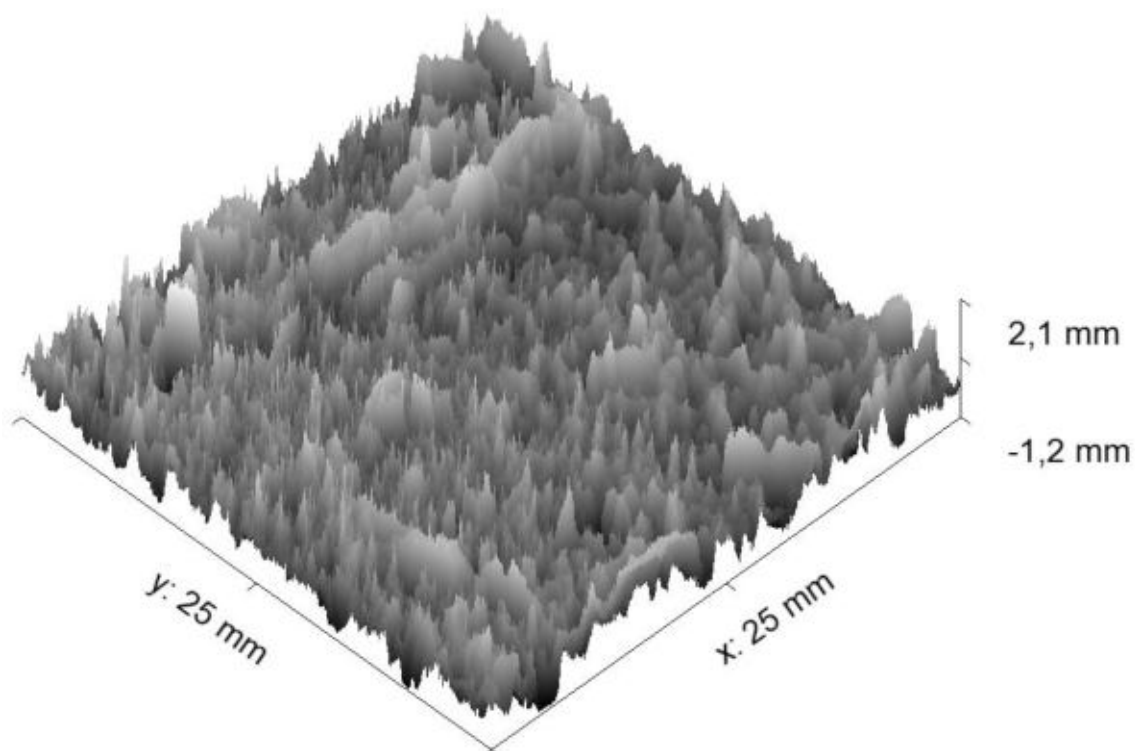
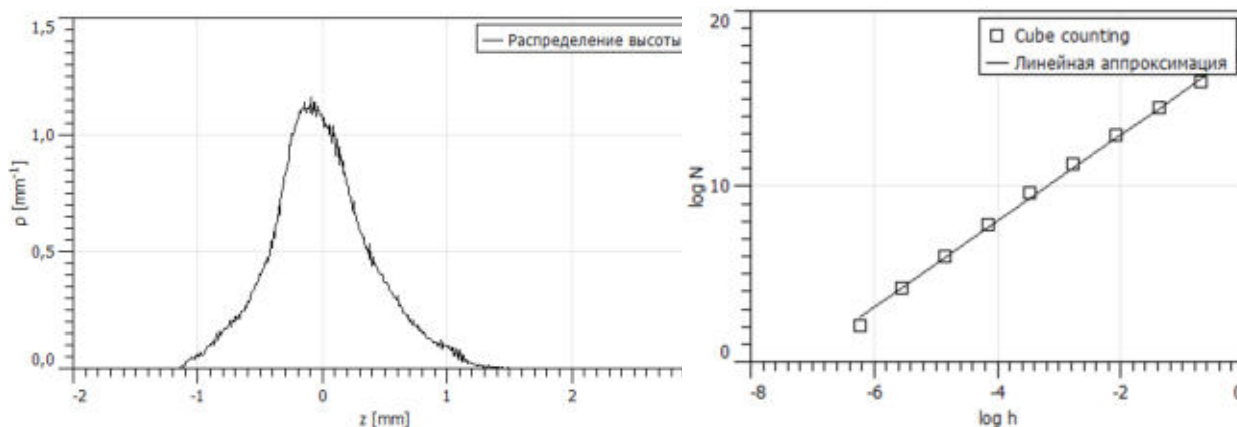


Рисунок 63 – Неровности поверхности образца 3 (трехмерный вид)

Таблица 35 – Статистические величины неровности поверхности образца 3

Величина	Значение
Минимум, мм	-1,176
Максимум, мм	2,065
Срединное, мм	-0,026
Максимальная высота пика (S_p), мм	2,065
Максимальная глубина впадины (S_v), мм	1,176
Максимальная высота (S_z), мм	3,241

Рисунок 64 – Распределение высоты неровностей поверхности образца 3 и фрактальная размерность поверхности образца 3 ($D=2,547$)

Образец 4 – 25 % торфа малой степени разложения; 75 % торфа степенью разложения 25 % (рисунок 65-67, таблица 36)

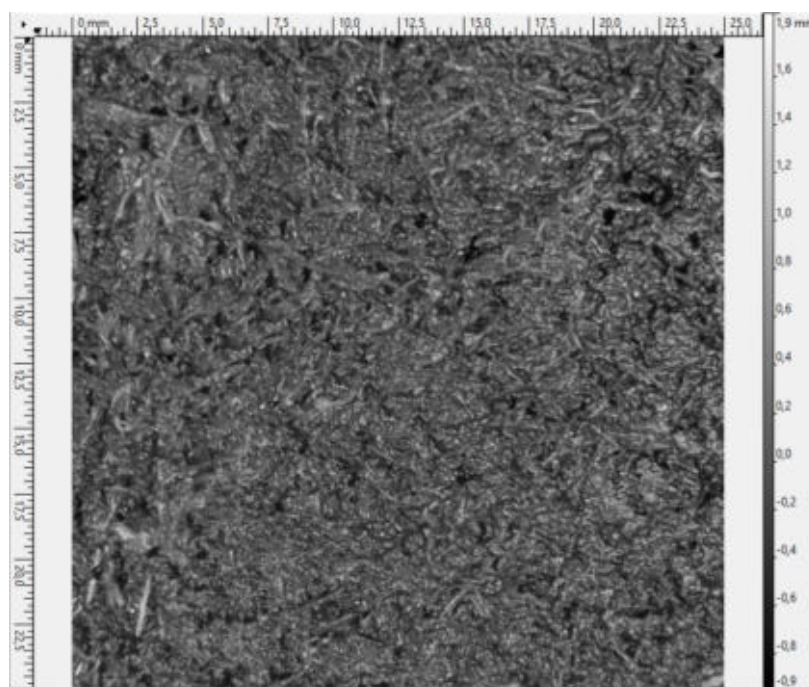


Рисунок 65 – Изображение поверхности образца 4 (1200x1200 px)

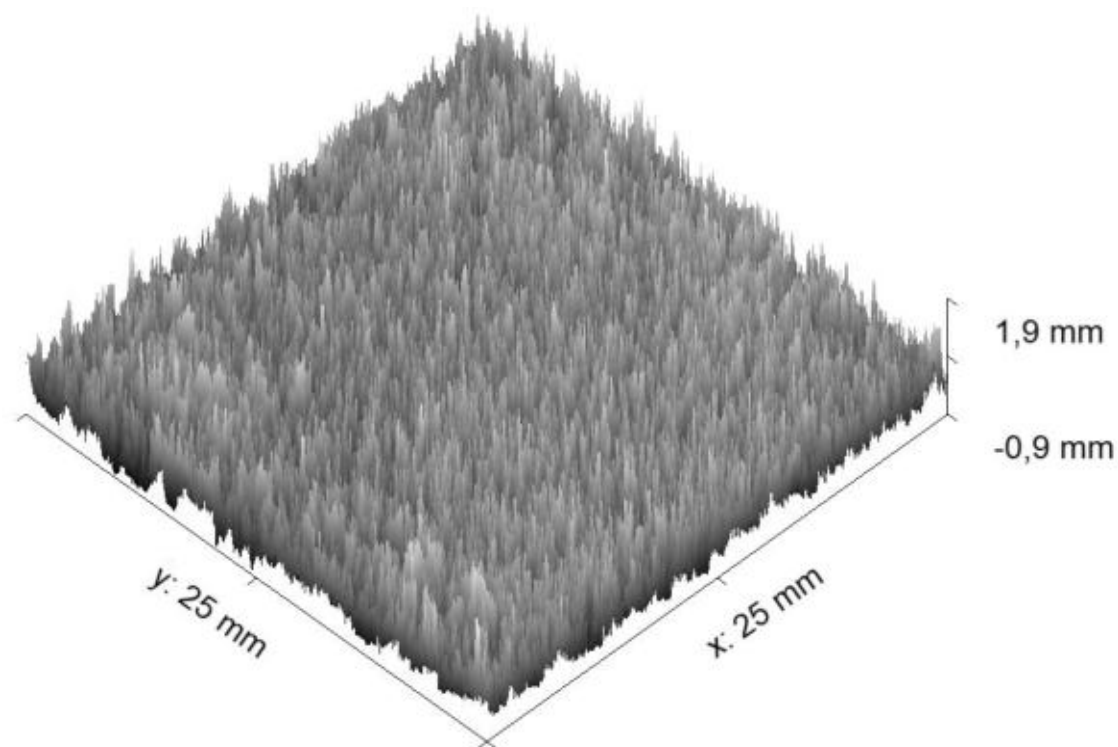


Рисунок 66 – Неровности поверхности образца 4 (трехмерный вид)

Таблица 36 – Статистические величины неровности поверхности образца 4

Величина	Значение
Минимум, мм	-0,948
Максимум, мм	1,864
Срединное, мм	-0,032
Максимальная высота пика (S_p), мм	1,864
Максимальная глубина впадины (S_v), мм	0,948
Максимальная высота (S_z), мм	2,812

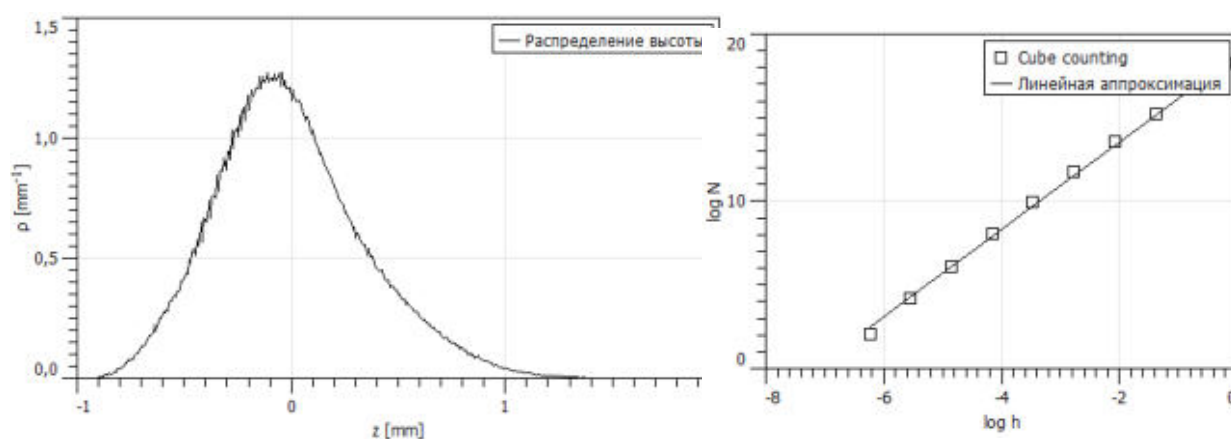


Рисунок 67 – Распределение высоты неровностей поверхности образца 4 и фрактальная размерность поверхности образца 4 ($D=2,601$)

Образец 5 – 100 % торфа степенью разложения 25 % (рисунок 68-70, таблица 37).

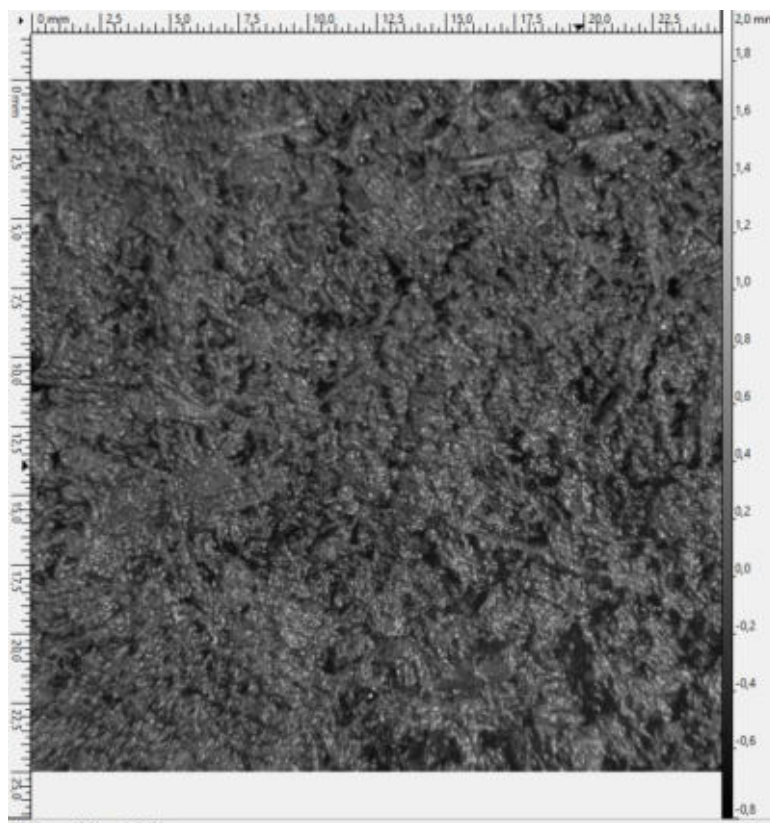


Рисунок 68 – Изображение поверхности образца 5 (1200x1200 px)

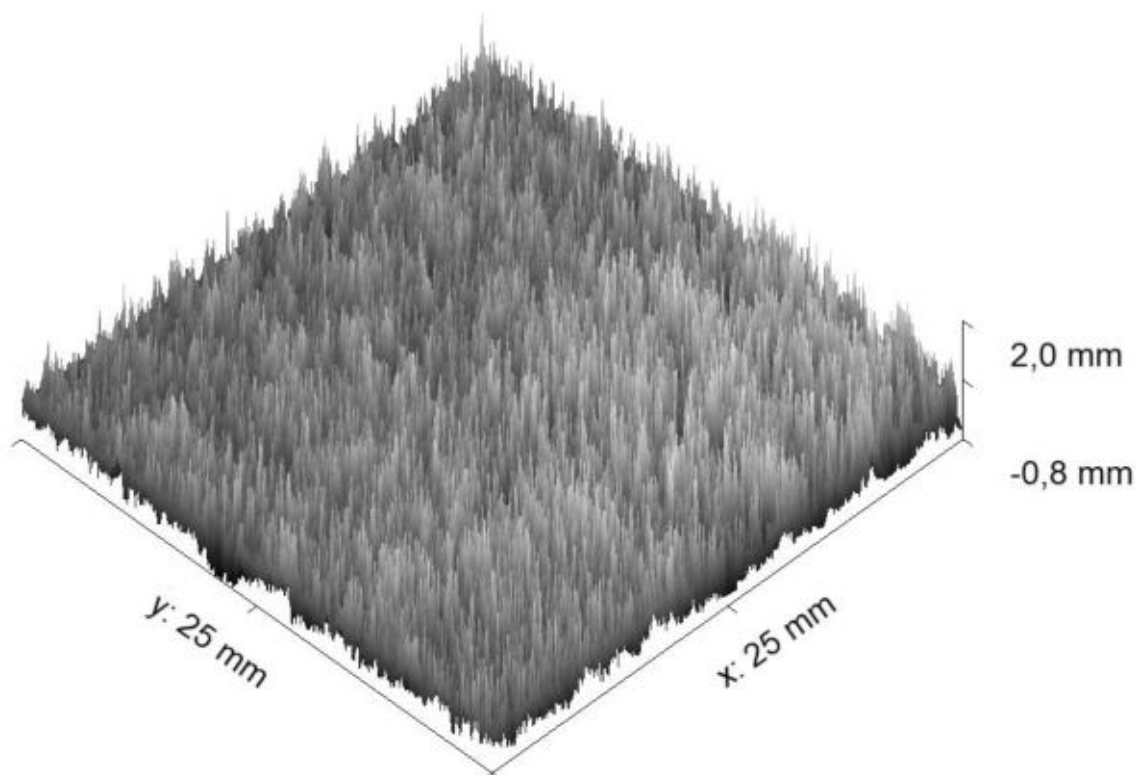
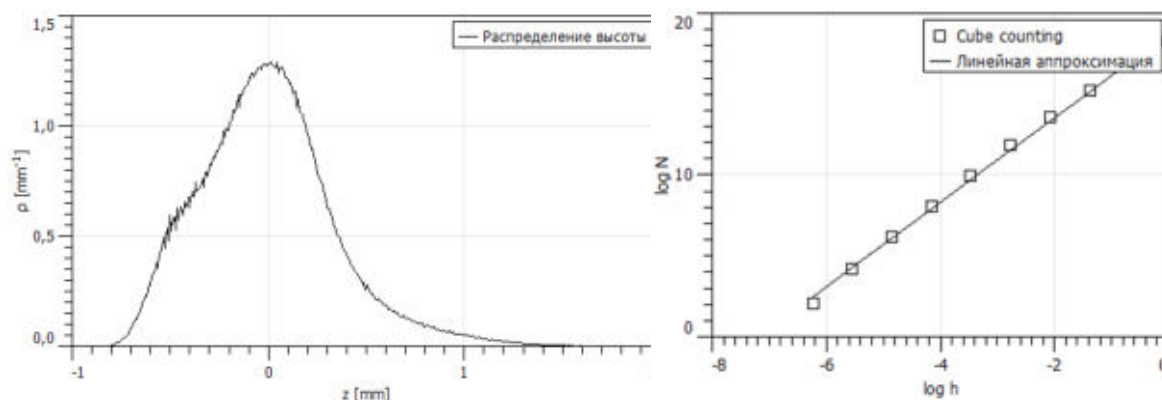


Рисунок 69 – Неровности поверхности образца 5 (трехмерный вид)

Таблица 37 – Статистические величины неровности поверхности образца 5

Величина	Значение
Минимум, мм	-0,845
Максимум, мм	1,982
Срединное, мм	-0,015
Максимальная высота пика (S_p), мм	1,982
Максимальная глубина впадины (S_v), мм	0,845
Максимальная высота (S_z), мм	2,827

Рисунок 70 – Распределение высоты неровностей поверхности образца 5 и фрактальная размерность поверхности образца 5 ($D=2,611$)

Фрактальный анализ морфологии поверхности торфяных смесей позволил установить, что поверхности имеют фрактальную структуру с мультифрактальной размерностью в диапазоне $D = 2,463...2,611$.

Исследования фрактальной морфологии поверхности торфяных смесей в зависимости от пористости выявили асимптотическую тенденцию роста фрактальной размерности по мере уменьшения волокнистой части и снижения пористости смеси до значения $D = 2,611$ (рисунок 70).

Проведенные эксперименты показали, что с помощью фрактальной геометрии возможно охарактеризовать поверхность порового пространства для образцов смесей торфяного сырья. В определенном приближении можно использовать одну фрактальную размерность для каждого образца из интервала $2 < D < 3$, причем фрактальные размерности разных образцов смесей торфяного сырья различны. Показана линейная зависимость (рисунок 71)

между пористостью и фрактальной размерностью поверхности материала с коэффициентом детерминации $R^2=0,9949$.

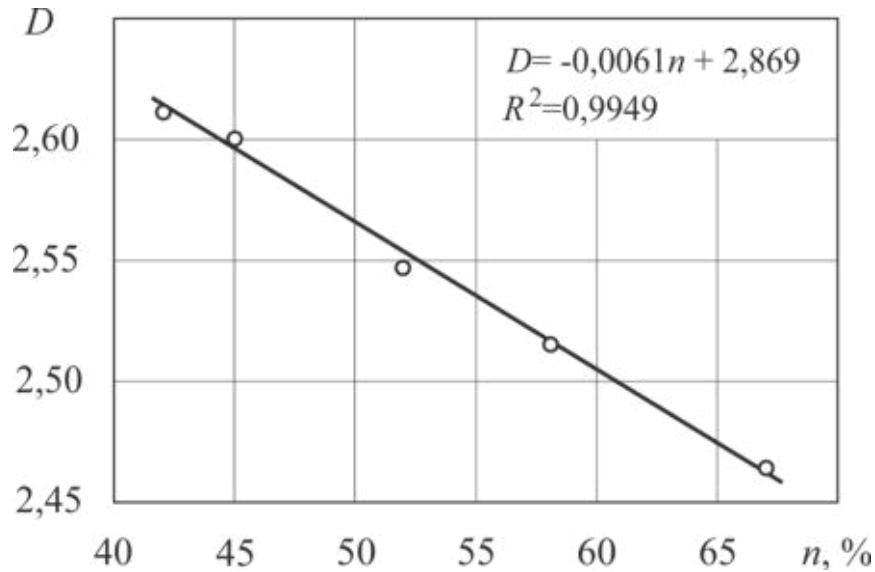


Рисунок 71 – Изменение фрактальной размерности поверхности торфяного сырья от пористости смесей из двух видов торфяного сырья

Фрактальная размерность D дополняет оценку качества поверхностного слоя материала, выступая численным критерием функциональных свойств (условная удельная поверхность, предел прочности на сдвиг, пористость и др.) которые взаимосвязаны с численным значением фрактальной размерности D .

Анализируя проведенные измерения фрактальной размерности поверхностей смесей торфяного сырья можно заключить, что при переходе от торфяного сырья низкой степени разложения к высокой степени разложения наблюдается рост фрактальной размерности с уменьшением неоднородности структуры агрегатов. Неоднородность структуры агрегатов сказывается на плотности и деформационно-прочностных свойствах торфяной массы, и, следовательно, на сформованную торфяную продукцию.

Анализ фрактальной размерности путем обработки фотоизображений поверхности подтвердил данные исследования структуры смесей двух видов торфяного сырья, прочность получаемой окускованной торфяной продукции будет максимальной для поверхностей с мультифрактальной размерностью

$D = 2,6$ при соотношении компонентов смеси 1:3 [109, 110]. Для такой смеси пространственный каркас раздроблен, и частицы макроструктуры слабо разложившегося торфа плотно сжаты средой микроструктуры высоко разложившегося торфа.

На основе проведенного анализа пористости и анализа фрактальной размерности определено, что структура, отвечающая наилучшим физико-механическим характеристикам окускованной продукции, формируется при соотношении компонентов смеси низкой к высокой степени разложения в пределах 25 к 75 %. Последующие лабораторные исследования по формированию торфяных кусков проводились при данном соотношении.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования предлагаемого подхода для определения фрактальной размерности поровой структуры поверхности смесей торфяного сырья.

Полученные результаты следует учитывать при теоретических и экспериментальных исследованиях, связанных с физико-механическими процессами на поверхностях пор при переработке торфяного сырья.

4.2 Результаты определения предельного напряжения сдвига торфяного сырья

Проведенные эксперименты по определению предельного напряжения сдвига, методом погружения конуса в торфяную массу, предложенным Ребиндером П.А. [64, 65], показали, что с ростом степени механической переработки влажного торфяного сырья величина предельного напряжения сдвига τ_0 снижается за счет разрушения растительных остатков и высвобождения внутриклеточной и внутриагрегатной воды.

Результаты исследований по определению предельного напряжения сдвига на конусном пенетрометре ELE International 24-054 представлены в таблице 38. Масса груза $m_{тр} = 130$ г; константа прибора $K = 1,1474$. Влияние подвижности и пластичности торфяного сырья (рисунок 72) показано в ходе эксперимента на поршневом реометре диаметром $D_0 = 32$ мм

и длиной 300 мм, установленном на универсальной машине Zwick/Roell Z100.

Таблица 38 – Результаты исследований на конусном пенетрометре ELE International 24-054

Переработка торфяного сырья	Повторность испытания	Глубина проникновения конуса, h мм	Среднее предельное напряжение сдвига τ_0 , кПа	Усилие формования, Н
Без переработки	1	15,3	6,21	251
	2	15,1		
	3	15,6		
Однократная переработка	1	20,1	3,62	194
	2	20,3		
	3	19,9		
Трехкратная переработка	1	21,8	3,10	171
	2	21,6		
	3	21,4		
Пятикратная переработка	1	23,2	2,76	160
	2	22,8		
	3	23,1		

Путем продавливания торфяной массы через фильеру с длиной формирующей части $l_{\Phi} = 60$ мм и диаметром $d_{\Phi} = 8$ мм при скорости движения поршня 0,0125 м/с и температуре окружающей среды 25 °С.

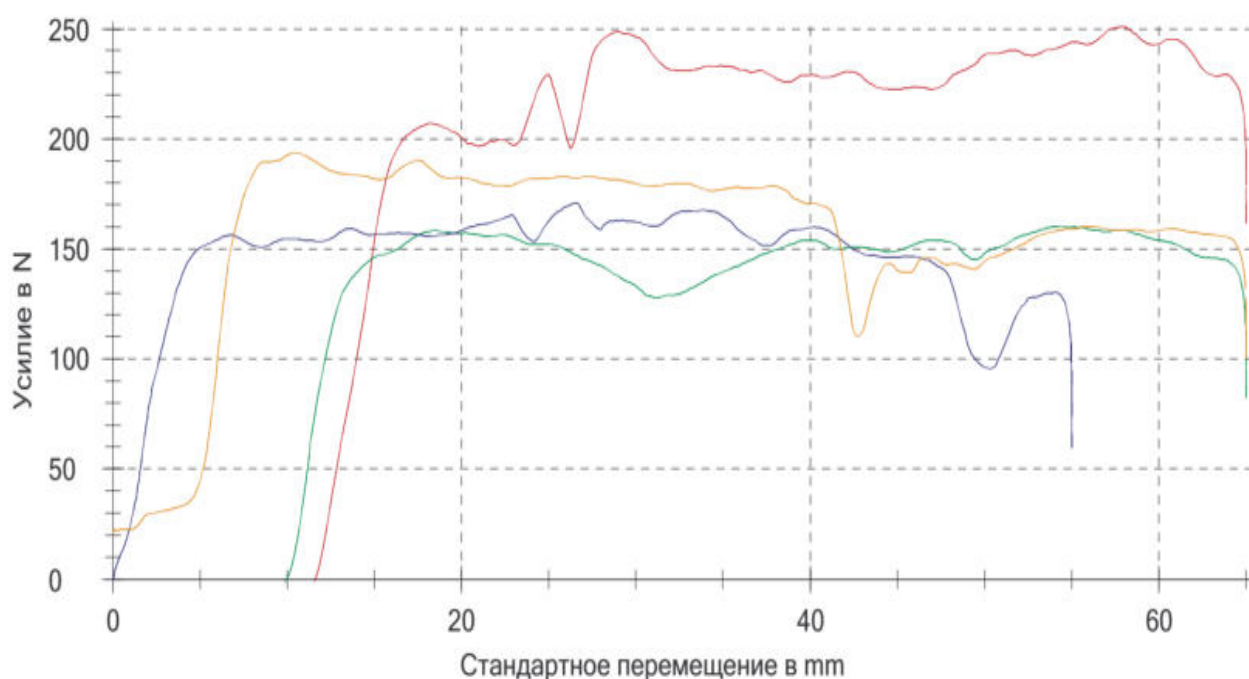


Рисунок 72 – Кривые нагрузки при формовании от смещения поршня

Совместив на одном графике зависимость изменения предельного напряжения сдвига τ_0 от количества измельчений торфяного сырья и зависимость изменения усилия формования от количества измельчений торфяного сырья, можно отметить их тесную корреляцию (рисунок 73). По мере интенсификации переработки, сопротивление передвижению торфяного сырья в формующем механизме падает.

Зависимость предельного напряжения сдвига τ_0 от количества измельчений торфяного сырья в составном мундштуке шнекового пресса показана на рисунке 73.

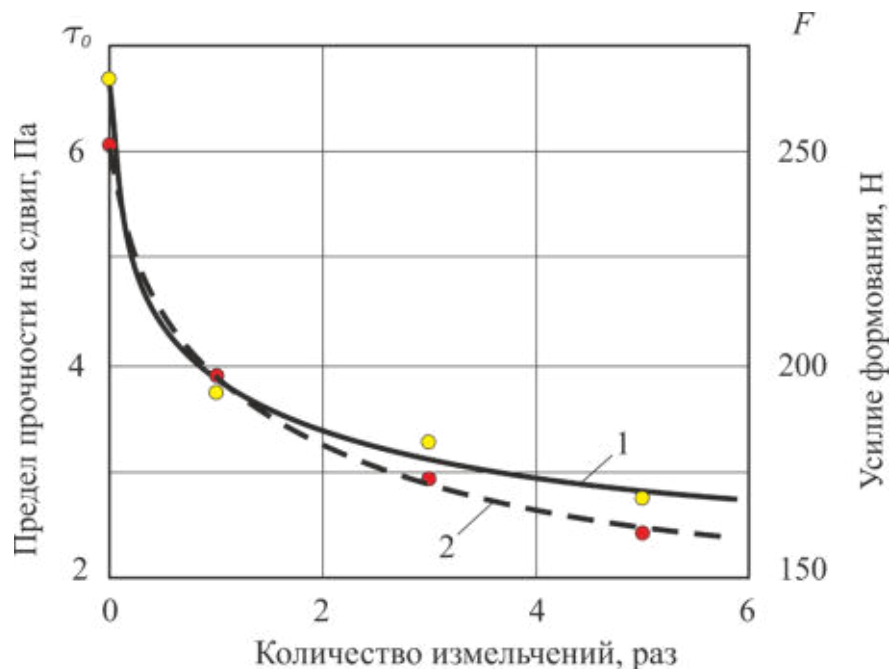


Рисунок 73 – Зависимость предела прочности на сдвиг от количества измельчений торфяного сырья

В исследованиях предельного напряжения сдвига ряда авторов [16] показано, что при 5-ти кратной переработке верхового торфяного сырья со степенью разложения $R=35\%$, при влажности 78% , предельное напряжение сдвига снижается в два раза, что согласуется с результатами проведенного эксперимента.

Значительное снижение величины предельного напряжения сдвига торфяного сырья отмечено уже при 1-кратной переработке.

Дальнейшее увеличение степени переработки торфяного сырья не приводит к резкому снижению величины предельного напряжения сдвига.

Учитывая тот факт, что в куске, сформованном из диспергированного торфяного сырья, расположена сеть мелких капилляров, по которым влага перемещается на поверхность в виде жидкости и там свободно испаряется, тем самым позволяя увеличить продолжительность периода постоянной интенсивности сушки куска при общем сокращении длительности процесса, необходимо в ходе технологических операций проводить 2-х кратную переработку торфяного сырья.

4.3 Исследования по формированию торфяного сырья

Продолжительность процесса сушки торфяной продукции, которая определяет величину сбора готовой продукции, зависит не только от комплекса метеорологических и почвенных факторов, но и от технологических. Технологические факторы изменяются с целью полного использования погодных условий для сушки окускованной торфяной продукции.

Проведены предварительные исследования по формированию торфяного куска в форме толстостенной трубы (рисунок 74) на предмет устойчивости формы к сушке при соотношении смеси торфяного сырья низкой к высокой степени разложения в пределах 25 % к 75 %.

Формование и сушка куска проводились в лабораторных условиях при комнатной температуре равной 22 °С.

При сушке, на торфяной трубчатый кусок (рисунок 75) в процессе сжатия (объемной усадки) действует только давление на внутренние и наружные стенки. Окружное давление на наружной стенке является расширяющим, а радиальное на внутренней – сжимающим.

В результате 7 дней сушки влажность торфяного трубчатого куска снизилась до 62 % (таблица 39) при значении объемной усадки 21,37 %.



Рисунок 74 – Сформованный торфяной трубчатый кусок



Рисунок 75 – Торфяной трубчатый кусок после сушки

Таблица 39 – Результаты сушки торфяного трубчатого куска

Время сушки, сут.	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Масса, кг	Влажность, %	Объемная усадка, %
Исходные показатели	200	110	160	3,636	82	-
3	193	106	155	3,083	75	9,97
5	187	103	150	2,190	70	18,23
7	185	100	145	1,836	62	21,37
9	180	95	135	1,495	48	29,35
12	170	94	130	1,097	32	41,60
14	165	93	120	0,900	27	48,43

Исходя из проведённого анализа формы и размеров окускованной торфяной продукции, анализа определения пористости и анализа фрактальной размерности проведенный опыт предварительного формования торфяного куска в форме толстостенной трубы и наблюдением за ним в процессе сушки, показал, что при сушке наблюдались мелкие растрескивания на внутренних и наружных стенках куска, но кусок не терял свою зафиксированную форму в процессе сушки.

4.4 Результаты исследования моделирования вертикальной стилки торфяного трубчатого куска

С целью подтверждения устойчивости куска на поле для сушки в вертикальном положении выполнено исследование по моделированию вертикальной стилки торфяного трубчатого куска путем скольжения модели куска по наклонной плоскости с углом α и вертикальной установки на песчаную подушку. Результаты исследования приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Результаты исследования по моделированию вертикальной стилки торфяного трубчатого куска

№ опыта	Угол наклона α , град	Высота штатива $h_{шт}$, м	Высота падения модели $h_{пад}$, м	Координата		Скорость, м/с	
				х, м	у, м	$v_{эксп}$	$v_{расч}$
Модель 1							
1	10	0,24	0,342	0,12	0,32	0,495	0,494
2			0,301	0,11	0,33	0,445	0,444
3			0,279	0,13	0,34	0,521	0,519
4			0,264	0,12	0,33	0,487	0,486
Модель 2							
1	13	0,23	0,342	0,10	0,27	0,686	0,448
2			0,322	0,11	0,25	0,869	0,515
3			0,281	0,12	0,24	0,990	0,577
4			0,301	0,11	0,24	0,885	0,527

Степень совпадения значений скорости, определенных расчетом и экспериментально, служит мерой качества проверки закона сохранения механической энергии при поступательном движении тела.

Было проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными. Численный расчет был проведен для условий эксперимента: диаметр падающего цилиндра $D_{\text{ц}} = 0,145$ м, его высота $H_{\text{ц}} = 0,150$ м, масса $m_{\text{ц}} = 2,5$ кг. Высота падения цилиндра $h_{\text{пад}} = 0,24$ м. Условная плотность цилиндра $\rho_{\text{ц}} = 0,80$ кг/м³. Положение центра тяжести цилиндра от его основания $h_{\text{ц.тяж}} = 0,24$ м.

Следует отметить, что наибольшие нагрузки испытывает цилиндр в начальной стадии удара о песчаную подушку. Цилиндр и ящик с песком (рисунок 76) можно рассматривать как систему двух неупруго взаимодействующих тел. Эта система замкнута, так как сумма внешних сил, действующих на систему сил тяжести m_1g и m_2g , и силы реакции N_2 равна нулю.

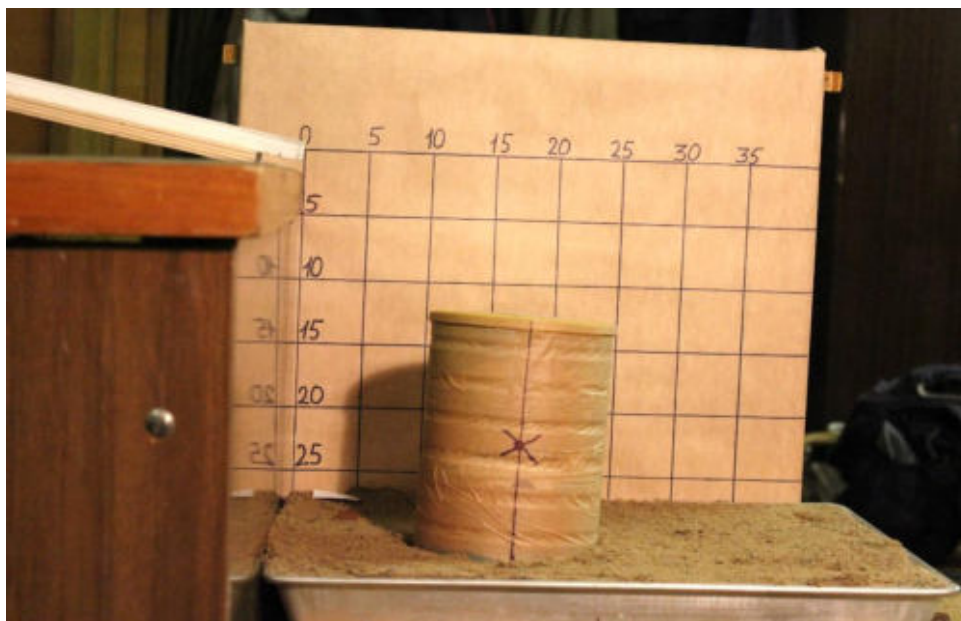


Рисунок 76 – Цилиндрическая модель торфяного куска

Исходя из расчетных результатов исследований определено, что для положения цилиндра в состоянии устойчивого равновесия в вертикальном положении начальная скорость падающего торфяного куска под углом $\alpha = 10^\circ \div 13^\circ$ к горизонту должна быть в диапазоне $v = 0,44 \div 0,52$ м/с.

Согласно проведенному анализу и теоретическому исследованию скорости выхода торфяного трубчатого куска из мундштука шнекового пресса под углом 13° , при скорости движения машины $0,42$ м/с для вертикального расположения куска на поле для сушки, необходимая скорость выхода куска из мундштука должна быть равна $v_k = 0,46$ м/с.

4.5 Результаты исследований по формированию и сушке торфяных трубчатых кусков

В результате исследований по формированию торфяных трубчатых кусков на лабораторной установке, выявлено что без предварительной переработки торфяного сырья перед процессом формирования при выходе из мундштука, поверхность торфяного куска имеет неоднородную структуру и трещины (рисунок 77).



Рисунок 77 – Сформованный торфяной кусок

Несмотря на это при отламывании и падении на горизонтальную поверхность кусок имеет достаточную прочность для сопротивления пластической деформации, т.е. кусок не разрушается и сохраняет заданную трубчатую форму. В ходе проведения экспериментов, определено, что на выходе из формователя, при сопровождении куска дополнительной

поддержкой, объем куска увеличивается на 15 %, что благоприятно повлияет на увеличения сборов готовой продукции с единицы поля для сушки.

В лабораторных условиях на шнековом формователе М-2 выполнена наработка образцов торфяных трубчатых кусков (рисунок 78).



Рисунок 78 – Лабораторные образцы торфяных трубчатых кусков

Исследования по сушке торфяных трубчатых кусков в горизонтальном и вертикальном положении проводились при относительной влажности воздуха в помещении $\varphi = 43 \%$ и температуре $T = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты исследования по сушке кусков представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Результаты исследования процесса сушки торфяных трубчатых кусков в вертикальном и горизонтальном положении

Сутки	Диаметр наруж. D , мм	Диаметр внутр. d , мм	Длина L , мм	Масса m , кг	Объем V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-4}$	Влажность w , %	Объемная усадка δ , %
Вертикальное положение кусков							
0	60	35	80	0,154	1,490	85,79	-
1	53	33	75	0,107	1,013	71,22	32,11
3	42	28	60	0,045	0,630	44,36	57,94
5	40	25	57	0,030	0,440	30,46	70,75
7	38	22	53	0,025	0,390	13,49	73,22
Горизонтальное положение кусков							
0	60	35	80	0,154	1,49	85,79	-
1	54	33	76	0,109	1,09	73,22	26,92
3	44	29	62	0,048	0,53	46,57	64,27
5	41	26	57	0,034	0,45	31,18	69,85
7	39	24	54	0,027	0,40	15,95	73,14

На основе полученных данных построен график изменения влажности торфяных трубчатых кусков в процессе сушки в вертикальном и горизонтальном положении (рисунок 79).

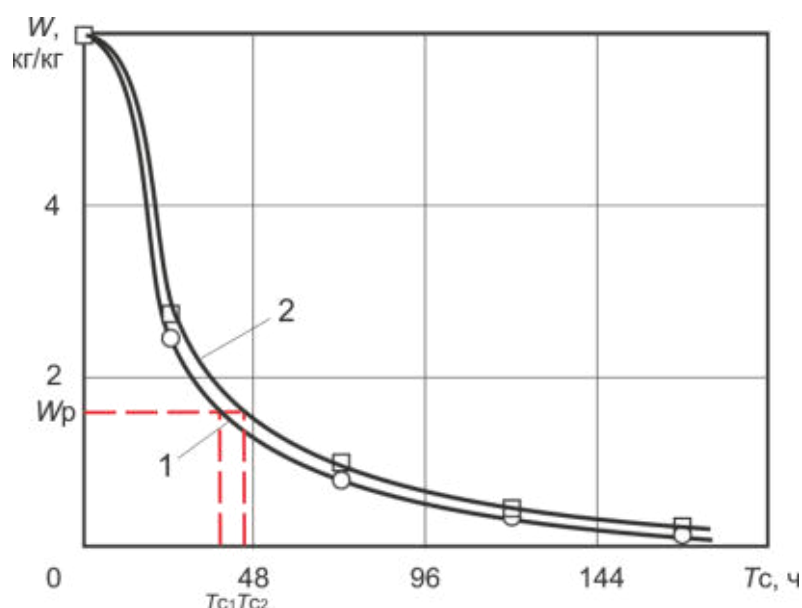


Рисунок 79 – Кривые сушки торфяных трубчатых кусков:
1 – вертикальное положение; 2 – горизонтальное положение

Из графика определено, что скорость сушки торфяных трубчатых кусков в вертикальном положении быстрее на 12,5 %, при условии, что кусок находился на сухой поверхности и при отсутствии конвективного теплообмена. Сравнительное исследование расположения куска на поле для сушки подтверждает перспективность использования вертикального расположения торфяного трубчатого куска для целей интенсификации процесса сушки торфяной окускованной продукции.

Также, были сформованы торфяные куски в виде сплошного цилиндра для проведения сравнительного исследования по сушке торфяной окускованной продукции трубчатого типа и торфяных кусков в виде сплошного цилиндра (рисунок 80). Сушка кусков в виде сплошного цилиндра проводилась при условиях относительной влажности воздуха в помещении $\varphi = 45 \%$ и температуре $T = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты сушки и размеры кусков представлены в таблице 42.



Рисунок 80 – Торфяные куски в виде сплошного цилиндра

Таблица 42 – Средние показатели сплошных торфяных цилиндрических кусков при сушке в вертикальном положении

Сутки	Диаметр куска D , мм	Длина L , мм	Масса m , кг	Объем V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-4}$	Влажность w , %	Объемная усадка δ , %
0	45	70	0,101	1,11	85,74	-
1	42	61	0,081	0,85	75,23	24,09
3	37	50	0,039	0,54	52,00	51,71
5	34	44	0,025	0,39	34,15	64,12
7	30	38	0,013	0,27	21,15	75,87

Построен график изменения влажности торфяных трубчатых кусков и сплошных торфяных цилиндрических кусков (рисунок 81) при сушке в вертикальном положении.

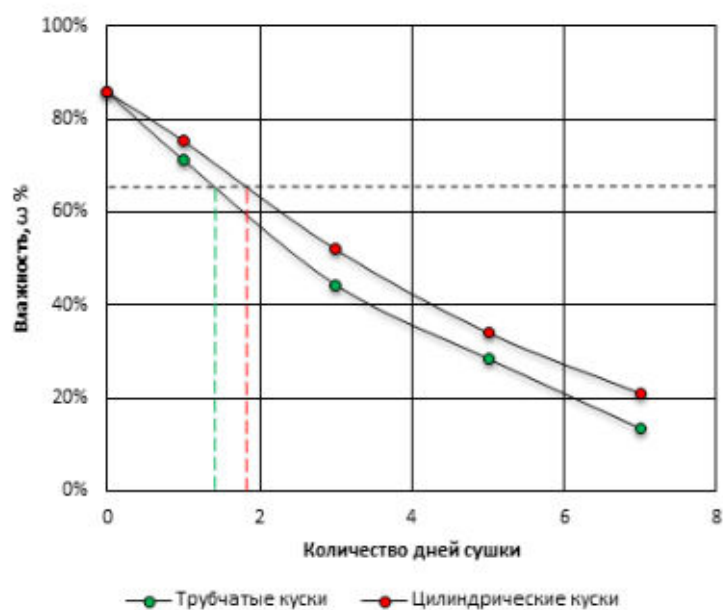


Рисунок 81 – Кривые сушки торфяных трубчатых кусков и сплошных цилиндрических кусков в вертикальном положении

Кривые сушки торфяных трубчатых кусков и сплошных цилиндрических кусков в вертикальном положении показывает, что скорость сушки торфяных трубчатых кусков в сравнении с сушкой сплошных цилиндрических кусков быстрее на 25 %.

4.6 Исследования сушки торфяных трубчатых кусков в естественных условиях

На основе проведенного анализа условий и поверхностей сушки торфяных кусков в полевых условиях [30-33], выполнен сравнительный анализ хода сушки торфяных трубчатых кусков с расположением на сетках и влажной поверхности (рисунок 82). Результаты исследований представлены в таблице Приложения 4.



Рисунок 82 – Сушка торфяных кусков на сетке и влажной поверхности

При проведении эксперимента велся дневник погоды (Приложение 4). Во время сушки образцов в естественных условиях осадков не наблюдалось. За период сушки торфяных трубчатых кусков, средняя температура сушки $T_{ср}$ составляла $8,46\text{ }^{\circ}\text{C}$, а скорость ветра v варьировалась в диапазоне от 0 до 3 м/с.

По результатам исследования построены кривые сушки торфяных трубчатых кусков на сетках и влажной поверхности (рисунок 83).

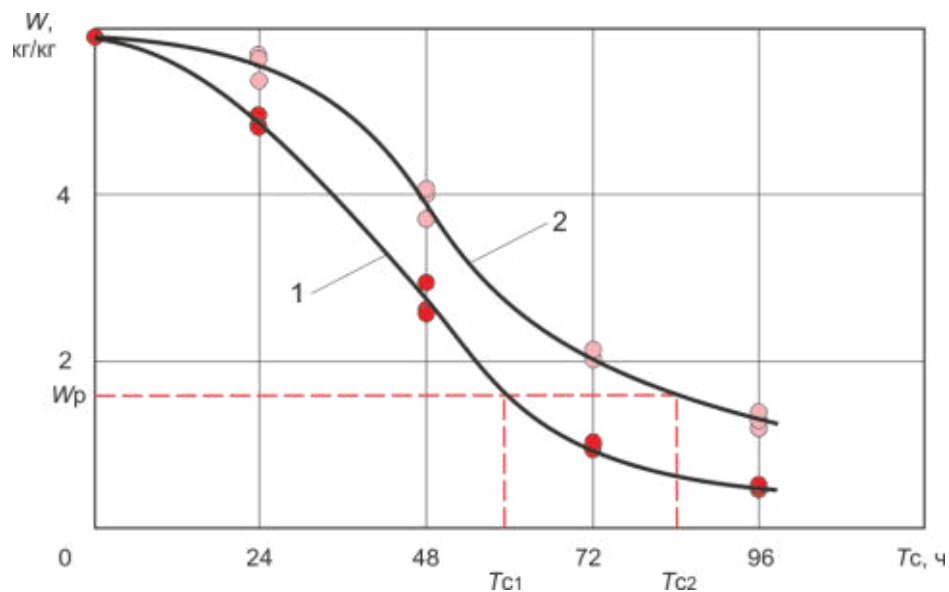


Рисунок 83 – Кривые сушки торфяных трубчатых кусков:

1 – на сетке; 2 – на влажной поверхности

Из графика следует, что длительность сушки кусков до влагосодержания соответствующего предельному мягкопластичному [28] равновесному напряженно-деформированному состоянию составляет $T_{c1} = 58,8$ ч для условий сушки на сетке, и $T_{c2} = 84,0$ ч для условий сушки на влажной поверхности.

В рамках сравнительного анализа и выбора перспективной поверхности поля для сушки торфяных трубчатых кусков определено, что длительность сушки кусков на сетке уменьшиться на 30 % в сравнении с сушкой кусков на влажной поверхности. Уменьшение площади контакта с влажным основанием уменьшает влагообмен с подстилающей залежью и сокращает время на сушку

окускованной торфяной продукции [3, 4], а расположение куска над поверхностью суши на высоте 0,5 м [32] позволяет увеличить объемы конвективного теплообмена, производимого под действием воздушных масс на поле сушки.

Все торфяное сырье из бункера стилочной машины выстилается в одну ленту с использованием ленточного мундштука, и отдельными трубчатыми кусками на поле сушки (рисунок 84).

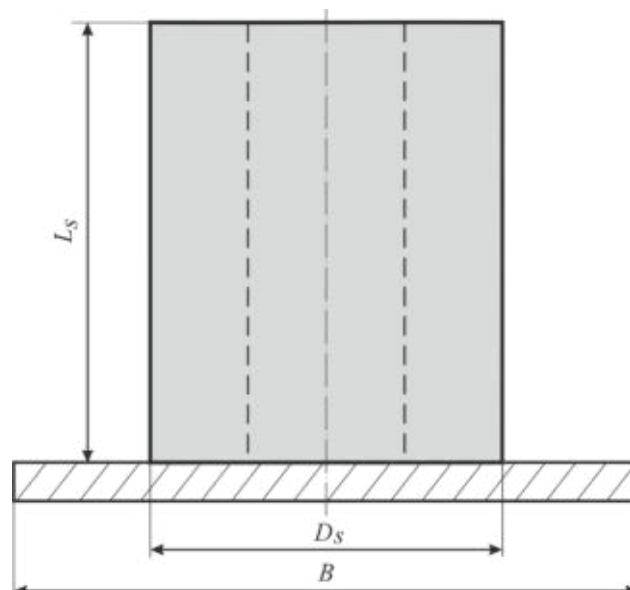


Рисунок 84 – Вертикальное расположение куска на поле сушки

На рисунке 85 показано сравнительное наложение проекций сформованной ленты и трубчатых кусков на площадке 1 м^2 поля сушки.

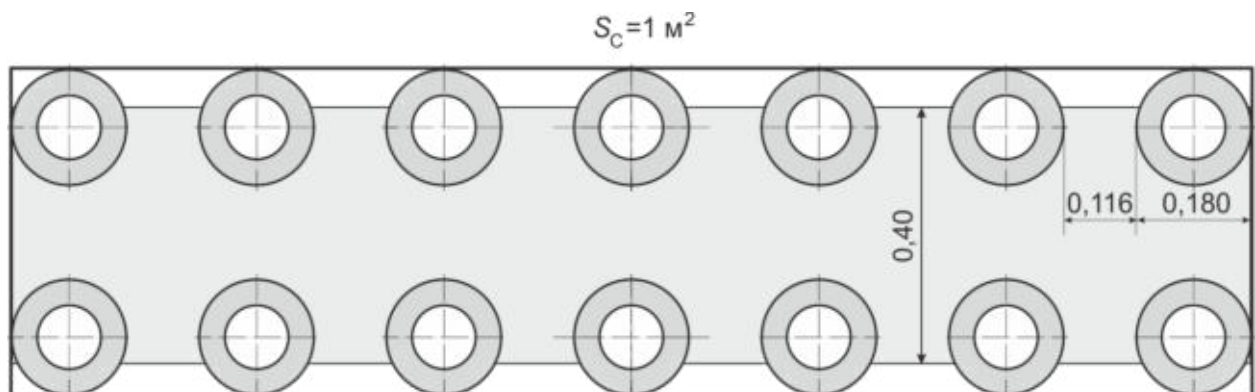


Рисунок 85 – Схема сравнительного расположения непрерывной торфяной ленты и трубчатых кусков на площадке 1 м^2 поля сушки

На площадке 1 м^2 поля сушки располагается 1 сформованная непрерывная торфяная лента шириной $0,4 \text{ м}$, рассеченная на отрезки по $0,4 \text{ м}$. При площади сечения ленты $0,048 \text{ м}^2$ ее объем составляет $0,0192 \text{ м}^3$. Суммарная поверхность куска ленты составляет $0,5184 \text{ м}^2$. Площадь основания куска ленты $F_{\text{тл}} = 0,16 \text{ м}^2$. Коэффициент контакта окускованного торфа с влажным основанием в этом случае составляет $0,31$.

Коэффициент контакта окускованного торфа с влажным основанием (46)

$$k_{\text{к}} = S_{\text{с}}/S_{\text{к}}, \quad (46)$$

где $S_{\text{с}}$ – площадь контакта куска с влажным основанием; $S_{\text{к}}$ – площадь поверхности куска.

На площадке 1 м^2 поля сушки располагается 14 сформованных трубчатых кусков. Объем одного трубчатого куска $V_{\text{тк}} = 0,0044 \text{ м}^3$. Суммарная поверхность трубчатого куска составляет $0,254 \text{ м}^2$. Площадь основания трубчатого куска $F_{\text{тк}} = 0,0176 \text{ м}^2$. Коэффициент контакта трубчатого куска с влажным основанием $0,069$. Снижение площади контакта куска с влажным основанием уменьшает отрицательный градиент влагопереноса при сушке куска на влажной поверхности торфяной залежи и сокращает время на сушку окускованной торфяной продукции.

В таблице 43 приведены параметры модельных образцов трубчатых и плоских кусков до и после сушки в лабораторных условиях на влажной поверхности (рисунок 86).



Рисунок 86 – Образцы кускового торфа на влажной поверхности до и после сушки

Таблица 43 – Параметры кускового торфа до и после сушки на влажной поверхности

Параметры куска	Трубчатый кусок		Плоский кусок	
	влажный $w_B=87,7\%$	сухой $w_B=62,0\%$	влажный $w_B=87,7\%$	сухой $w_B=62,0\%$
Диаметр наружный, мм	60	52	-	-
Диаметр внутренний, мм	32	29	-	-
Высота, мм	84	62	23,0	16,0
Длина, мм	-	-	108,0	94,0
Ширина, мм	-	-	75,0	64,0
Площадь контакта, мм ²	2023,2	1562,3	8100,0	6016,0
Масса, кг	168,08	55,52	170,70	57,0
Объем, мм ³	169947,59	91733,0	186300,0	96256,0
Плотность, кг/м ³	989	605	916	592
Объемная усадка, %	-	46,02	-	48,33

Площадь контакта модели трубчатого куска с влажным основанием в 4 раза меньше площади контакта модели плоского куска в виде ленты.

На рисунке 87 приведена характерная кривая конвективной сушки образцов кускового торфа, расположенного на влажной поверхности.

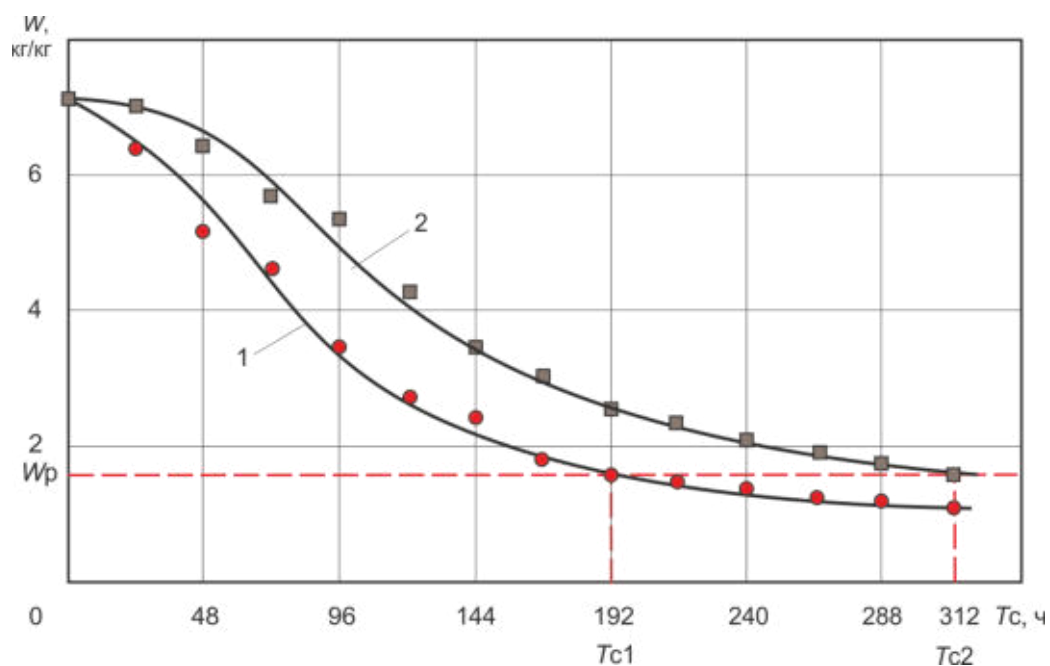


Рисунок 87 – Кривые конвективной сушки образцов кускового торфа на влажной поверхности: 1 – трубчатые куски; 2 – плоские куски

Из графика следует, что длительность сушки трубчатых кусков до значения влагосодержания, соответствующего предельному мягкопластичному [28] равновесному напряженно-деформированному

состоянию составляет $T_{c1} = 192$ ч и плоских кусков $T_{c2} = 336$ ч для условий сушки на влажной поверхности.

В рамках сравнительного анализа хода сушки определено, что длительность сушки трубчатых кусков на влажной поверхности меньше на 62,5 % в сравнении с временем сушки плоских кусков. Уменьшение площади контакта куска с влажным основанием уменьшает отрицательный влагообмен с подстилающей залежью и сокращает время на сушку окускованной торфяной продукции.

Сравнительный анализ загрузки поля окускованным материалом показывает, что загрузка поля окускованным торфом в виде непрерывных сформованных четырехручьевых лент, лежащих на влажной поверхности поля большой стороной параллелепипеда, больше почти в 1,5 раза, чем дискретная загрузка вертикальными трубчатыми кусками. Но площадь контакта трубчатого куска с влажным основанием в 4 раза меньше площади контакта плоского куска в виде ленты, и длительность сушки трубчатых кусков может быть меньше на 62,5 %, чем кусков в виде сформованных лент.

4.7 Выводы по Главе 4

Исследование структуры смесей двух видов исходного торфяного сырья было выполнено с целью интенсификации процесса полевой сушки торфяной окускованной продукции для дальнейшего применения трубчатой формы куска. В результате анализа пористости и фрактальной размерности на основе фотоизображений образцов определено, что максимальная механическая прочность куска соответствует мультифрактальной размерности $D = 2,6$ в композите полимер-волокно при соотношении компонентов торфяной смеси низкой и высокой степени разложения 25 к 75 %.

По результатам исследования определения предельного напряжения сдвига торфяного сырья определено, что при увеличении степени механической переработки торфяного сырья величина предельного

напряжения сдвига снижается. Выявлено, что для увеличения продолжительности периода постоянной интенсивности сушки торфяных трубчатых кусков с учетом уменьшения длительности процесса сушки, рекомендовано в ходе технологических операций по подготовки торфяной массы к окускованию проводить 2-х кратную переработку торфяного сырья.

Проведенные исследования предварительно формованию торфяных кусков в трубчатую форму показали, что после формования и в процессе сушки кусок не теряет заданную форму. Снаружи и внутри куска наблюдаются мелкие растрескивания, но они не сказываются на интенсивности процесса сушки и ими можно пренебречь.

В исследованиях по моделированию вертикальной стилки торфяного трубчатого куска определено, что для вертикальной установки куска на поле для сушки, со скоростью движения стилочной машины 0,42 м/с, кусок из мундштука шнекового пресса должен выходить со скоростью равной $v_k = 0,46$ м/с.

Определено, что при формовании торфяных трубчатых кусков с сопровождением куска дополнительной поддержкой, объем куска увеличивается на 15 %. Исследования по расположению кусков на поле сушки подтвердили перспективность использования вертикального расположения куска с целью интенсификации процесса сушки.

Лабораторные исследования сушки торфяных трубчатых кусков в естественных условиях подтвердили перспективность использования поверхности поля для сушки в виде сеток, расположенных над поверхностью поля. Определено, что на сетках длительность сушки торфяных кусков трубчатой формы сократится на 30 %. В ходе сравнительного анализа сушки трубчатых кусков и в форме ленты скорость сушки может быть меньше на 62,5 %, что определяется сокращением площади контакта куска с влажным основанием поля сушки.

ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Технологическое обоснование рабочего процесса стилочной машины

Торфяная стилочная машина выполняет заключительные операции технологического процесса: загрузка торфяного сырья в бункер; транспортирование торфяного сырья к месту выстилки торфяных кусков; перемешивание торфяного сырья в бункере; формование торфяного сырья при помощи шнекового пресса с составным мундштуком и пустотообразователем; укладку сформованных торфяных кусков на поле сушки.

Согласно схемного и конструктивного решения стилочная машина функционирует в составе машинно-тракторного агрегата (МТА), состоящего из энерго-тягового трактора и самой стилочной машины.

Выбор параметров МТА осуществляется исходя из объёма загрузки бункера, дальности перевозки торфяного сырья, горно-геологических условий торфяного карьера [47] с обеспечением энергоэффективной и безопасной работы на карьере.

При агрегатировании машин необходимо руководствоваться [50]:

- основным назначением базового тягово-приводного трактора и торфяного полуприцепа (стилочной машины) в составе МТА;
- способностью выбранного МТА обеспечивать выполнение технологической операции;
- возможностью достигнуть максимальных показателей использования агрегата в конкретных технологических условиях.

По условиям обеспечения проходимости колесного агрегата по поверхности торфяной залежи, в зависимости от состояния поверхности

торфяной залежи при неблагоприятных погодных условиях, принимаются МТА в составе: колесный трактор + полуприцеп.

Учитывая тот факт, что в работе используется схема экскаваторной добычи с транспортированием экскавированного торфяного сырья в навал на площадке сушки с последующим окускованием, то агрегатирование стилочной машины на площадке сушки может осуществляться с тракторами типа Беларусь (МТЗ) 1523.4 (рисунок 88) со сдвоенными колесами [96].



Рисунок 88 – Трактор Беларусь 1523.4 со сдвоенными колесами

Технические характеристики трактора БЕЛАРУС-1523.4 приведены в Приложении 1.

В качестве исходных данных для технологического обоснования рабочего процесса стилочной машины могут быть приняты количество торфяных кусков N_k , укладываемых на 1 м^2 площади поля, и схема размещения вертикальных кусков. Укладка кусков производится на ходу машины при ее поступательной скорости v_m .

С учетом расстояния между рядами установленных кусков m (расстояние между мундштуками пресса – 0,35 м) и шагом укладки $l_{ук}$ кусков

в каждом ряду количество торфяных кусков N_k , укладываемых на 1 м^2 площади поля (47)

$$N_k = 1/ml_{\text{ук}}. \quad (47)$$

Частота укладки кусков на поле (48)

$$\beta_k = v_m/l_{\text{ук}}. \quad (48)$$

При этом абсолютная скорость установки кусков на поле в вертикальном положении (49)

$$\overline{v_m} + \overline{v_k} = 0, \quad (49)$$

где v_k – линейная скорость торфяного куска при выходе из мундштука шнекового пресса.

В реальных условиях из-за буксования ведущих колес трактора поступательная скорость машины не является величиной постоянной и условие о равенстве скоростей не соблюдается. Учитывая, что шаг укладки $l_{\text{ук}}$ кусков не может уменьшаться по технологическим требованиям, то поступательная скорость машины должна быть больше скорости выхода торфяного куска из мундштука пресса.

Рабочая скорость движения трактора МТЗ-1523.4 – 1,9 км/ч. С учетом буксования трактора со сдвоенными колесами на торфяной залежи $\delta = 0,2$ скорость составит 1,52 км/ч (0,42 м/с) (Приложение 1).

После загрузки торфяного сырья в бункер стилочной машины, торфяное сырье подвергается механическому воздействию – перемешиванию и диспергированию шнековым смесителем с последующей подачей торфяной массы в шнековый пресс, расположенный на раме стилочной машины.

При выходе из мундштука шнекового пресса со скоростью v_k сформованный брус консольно изгибается под действием собственного веса на угол 13° , кусок отламывается от прессуемого бруса и падает на поверхность площадки сушки, устанавливаясь вертикально (рисунок 89).

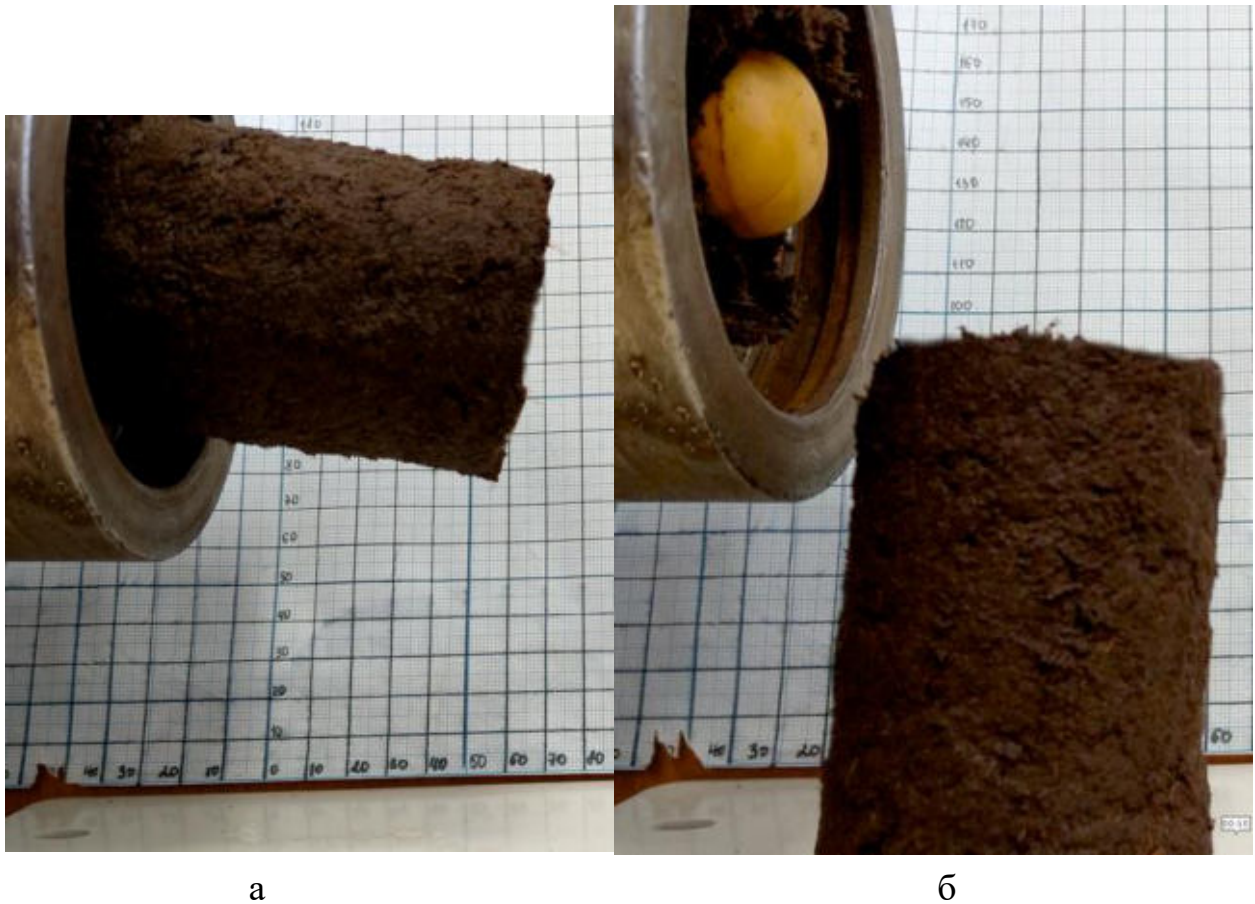


Рисунок 89 – Формование торфяного сырья на лабораторной установке: а – сформованный брус консольно изгибается под действием собственного веса на угол 13° ; б – кусок отламывается от сформованного бруса и падает на поверхность площадки, устанавливаясь вертикально

В шнековом прессе материал при производительности $Q = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$ движется со скоростью $v_{\text{кш}}$ (сечение А-А на рисунке 90).

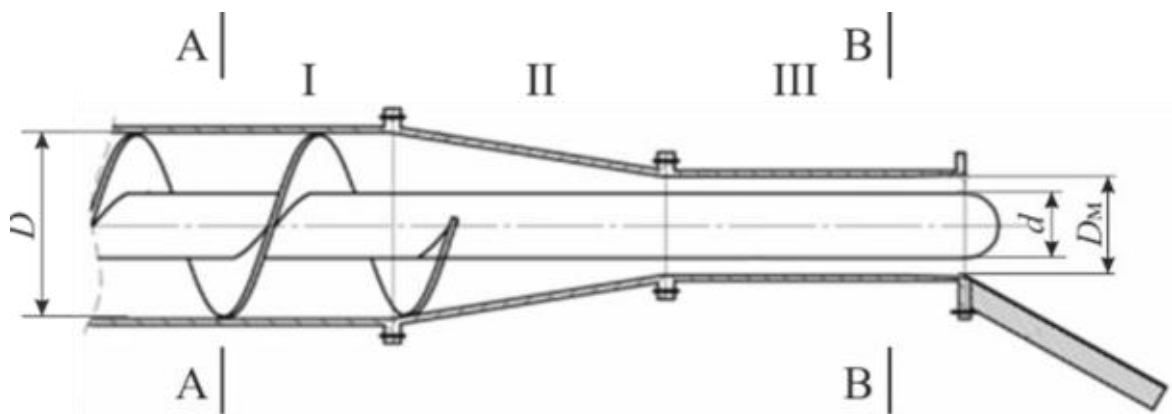


Рисунок 90 – Сечения участков шнекового пресса и мундштука

Сечение материала представляет собой кольцо площадью (50)

$$S_I = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2). \quad (50)$$

В калибрующей секции мундштука пресса III материал движется в зазоре между мундштуком и пустотообразователем. Сечение материала в секции III представляет собой кольцо площадью (51)

$$S_{III} = \frac{\pi}{4}(D_M^2 - d^2). \quad (51)$$

Таким образом, при постоянной производительности шнекового пресса скорость выхода куска из мундштука шнекового пресса (52)

$$v_k = \frac{v_{кш} S_I}{S_{III}}. \quad (53)$$

С учетом, что $S_I = 0,0628 \text{ м}^2$; $S_{III} = 0,0176 \text{ м}^2$ и $v_{кш} = 0,129 \text{ м/с}$ скорость выхода куска из мундштука в сечении В–В составит $v_k = 0,46 \text{ м/с}$.

Время падения куска (54) на площадку с высоты h_M и дальность отбрасывания по горизонтали от мундштука l_k (55)

$$t_{пк} = \sqrt{2h_M/g}, \quad (54)$$

$$l_k = v_k \cos \alpha \sqrt{2h_M/g}. \quad (55)$$

Подставляя в эти выражения значения параметров, получим, что время падения куска на площадку с высоты h_M составляет 0,319 с, а дальность отбрасывания куска по горизонтали от мундштука $l_k = 0,143 \text{ м}$.

Согласование скоростей движения машины и выхода куска из мундштука показало, что за время $t_{пк}$ машина преодолет расстояние

$$s_M = v_M t_{пк} = 0,42 \cdot 0,319 = 0,135 \text{ м}.$$

Таким образом, кусок, в момент контакта с поверхностью площадки окажется на расстоянии $s_M + l_{пк} = 0,135 + 0,143 = 0,278 \text{ м}$ от мундштука.

На схеме показано, что на момент отламывания куска от прессуемого бруса, брус успевает выдвинуться из мундштука на 0,02 м за время 0,043 с, и переместиться за это время вместе с машиной на расстояние 0,018 м.

После отламывания и падения куска брус выдвинется из мундштука на 0,252 м за время 0,548 с до момента отламывания следующего куска, и переместится за это время вместе с машиной на расстояние 0,230 м.

На момент контакта с поверхностью следующего куска машина переместится на $0,278 + 0,018 = 0,296$ м

На схеме (рисунок 91) показано, что кусок располагается вертикально, диаметр куска равен 0,18 м, расстояние между двумя кусками будет составлять $0,296 - 0,18 = 0,116$ м. Таким образом шаг стилки (расстояние между двумя кусками) составляет 0,116 м.

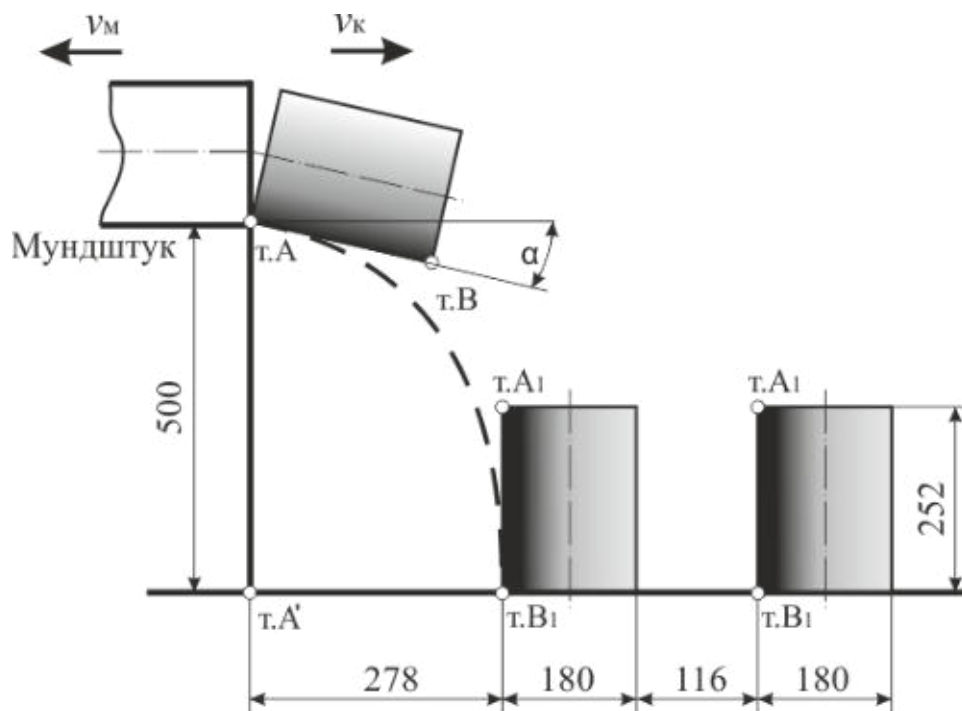


Рисунок 91 – Схема укладки торфяных кусков на поверхность поля сушки

Существенной особенностью рабочего процесса стилочной машины является то, что вертикальная укладка кусков производится на ходу при определенной скорости v_k . Для устойчивого расположения куска в вертикальном положении на поле сушки проведен анализ эпюр скоростей частей куска (рисунок 92).

Определено, что при сравнении трех возможных эпюр отношения линейной скорости движения куска к поступательной скорости машины, определяемой кинематическим показателем работы стилочной машины k .

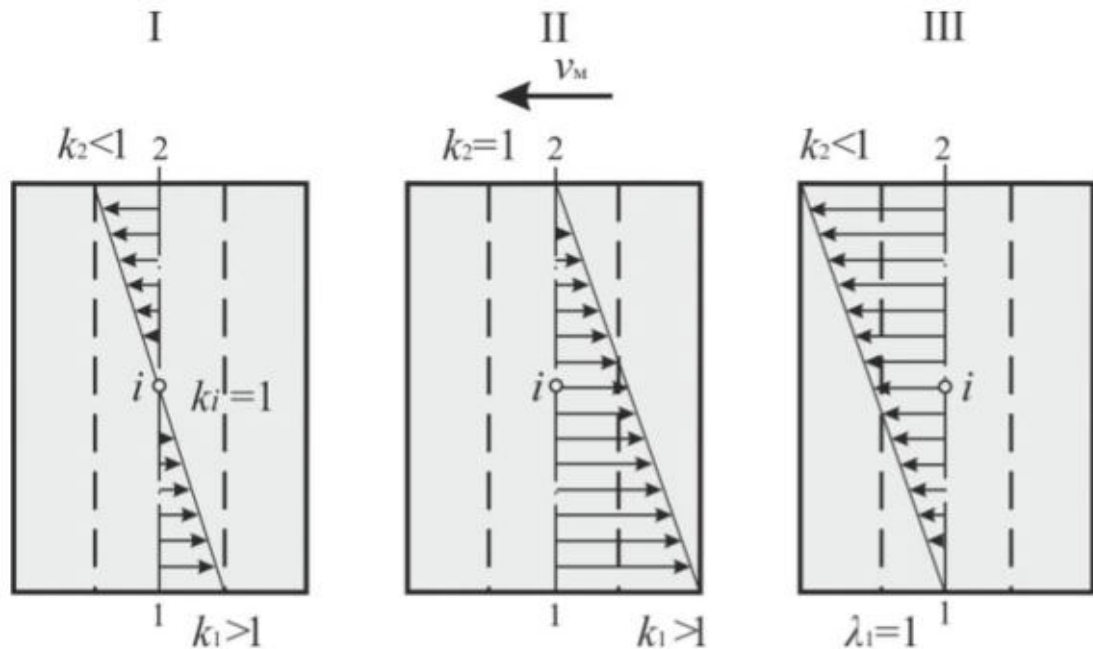


Рисунок 92 – Эпюры отношения линейной скорости движения куска к поступательной скорости машины

Кинематический параметр устанавливает отношение скорости выхода куска из мундштука к поступательной скорости стилочной машины, при которой обеспечивается вертикальность установки трубчатого куска на площадке сушки в пределах технологических требований ($\pm 30^\circ$). При данных условиях эпюра II с параметром $k = 1$ показывает устойчивое состояние куска в вертикальном положении на поле сушки.

5.2 Сопровождение укладки торфяных трубчатых кусков

Формование торфяной массы происходит в шнековых прессах стилочной машины через однопоточный или многопоточный мундштук. Силочные машины являются машинами непрерывного действия, у которых для первоначального пуска и вывода пресса на установившийся режим работы

требуется определенное количество времени и некоторое количество торфяного сырья.

Стилочные машины выстилают окускованный торф волнистыми линиями, прямыми линиями или внаброс для последующего процесса сушки.

При стилке волнистыми линиями торфяной окускованной продукции скорость выхода куска противоположна скорости движения машины по направлению и больше по величине в 1,5–2,0 раза. При таком виде стилки лента имеет форму волны, которая концами опирается на залежь, а формовочный мундштук установлен под определенным углом. Данный вид стилки не позволяет осуществить формование с последующей установкой куска в вертикальное положения, также к нему предъявляются жесткие требования к режимам формования по скорости и влаги.

Установка мундштука осуществляется под углом у самой поверхности стилки, в результате чего лента изгибается аркой, а концами опирается на залежь. Такой вариант стилки позволяет интенсифицировать процесс сушки, но предъявляет жесткие требования к режимам формования по скорости и влаге [94].

Стилка прямыми лентами осуществляется при условии, что скорость движения машины и выхода торфомассы равны по модулю. Допустимо несовпадение скорости по величине, но не более чем на 10 % [1, 2, 71].

С увеличением разности между скоростями машины и выхода торфомассы из мундштука шнекового пресса стилочной машины, снижается качество укладки торфяной ленты, увеличивается количество дефектов и разрывов в образованной структуре куска.

При стилке окускованной продукции внаброс скорость истечения торфяной массы из мундштуков шнекового пресса превышает поступательную скорость машины и мундштуки подняты над поверхностью залежи. Торфяные куски, отламываясь под действием собственной массы от торфяной трубы, выдавливаемой шнековым прессом, могут падать на

поверхность поля стилки, образуя слой кусков, уложенных организованно, вертикально на поверхности поля сушки. При такой организованной укладке куски расположены близко к друг другу, что позволяет максимально загрузить площадь поля окускованной торфяной продукцией.

При укладке кусков в массовом производстве широко применяются механизмы питания или же ориентирующие устройства сравнительно несложной конфигурации. Основным назначением таких устройств является прием продукции их ориентацией и выдача с укладкой на поле. Выборка трубчатых кусков из мундштука шнекового пресса производится за счет сил трения, без использования захватных органов. Загрузочные устройства, в которых заготовки перемещают по лоткам за счет сил инерции и трения, возникающих при скольжении куска по лотку. Методы захвата и ориентации заготовок являются наиболее типичными признаками, характеризующими работу лотково-ориентирующего устройства.

Существует ряд методов и средств ориентации, применение которых зависит от формы и размеров подаваемых кусков. Проектирование выгрузочных устройств связано с определением режимов движения заготовок по криволинейному лотку, и таких параметров устройства, как угол наклона подвесок (пружин) α , угол отклонения лотка, при котором возможно движение куска вниз, геометрические размеры подвесок (пружин), требуемое усилие пружин и др.

Исходя из условий работы стилочной машины, формы и размеров куска [88], проведенного патентного анализа [54, 57-60], разработан и запатентован подпружиненный укладчик [55] торфяных трубчатых кусков. Подпружиненный укладчик (рисунок 93) выполнен в форме обратной брахистохроны с цилиндрическим профилем желоба. Желоб покрыт антиадгезионным лаком, для снижения коэффициента трения торфяного куска о поверхность скольжения.

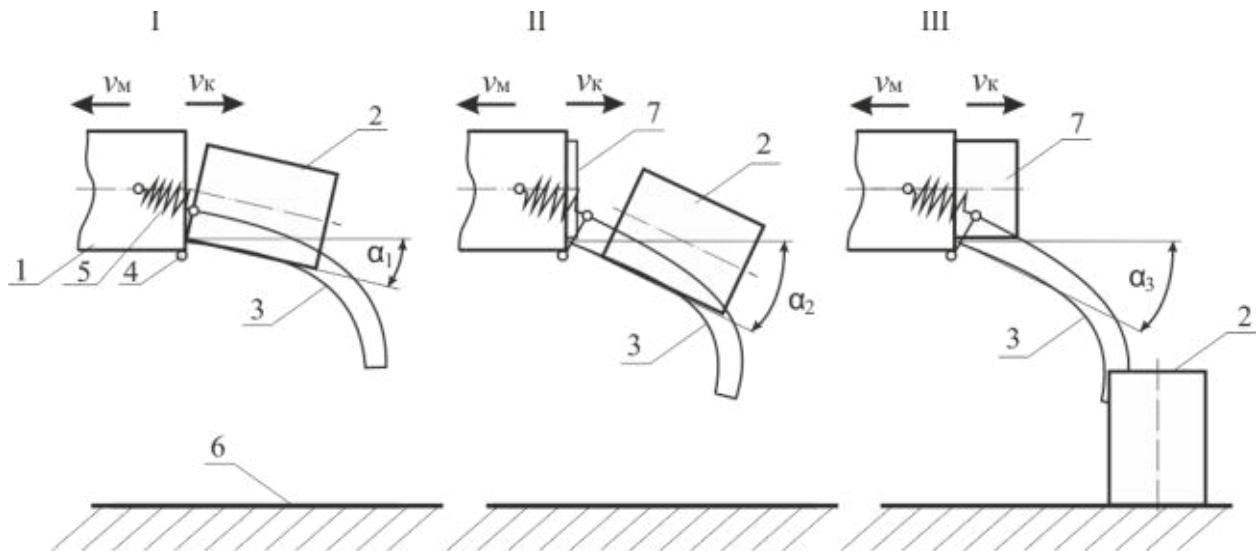


Рисунок 93 – Сопровождение движения торфяного трубчатого куска подпружиненным укладчиком: 1 – мундштук пресса; 2 – трубчатый кусок; 3 – подпружиненный укладчик; 4 – шарнир укладчика; 5 – пружина; 6 – поверхность поля; 7 – выход следующего куска из мундштука пресса

С помощью упругого, подпружиненного укладчика шнекового формователя, торфяные куски отламываются под действием собственной массы от торфяного бруса (трубы) выдавливаемого шнековым прессом, однородным, ровным изломом, с последующим сопровождением куска с низким коэффициентом трения по поверхности желоба куски соскальзывают и устанавливаются на поверхности поля, образуя слой кусков, уложенных ровно, организованно, в вертикальном положении на поверхности поля сушки.

Вертикальность установки трубчатого куска достигается при высоте его свободного падения на площадку не более 500 мм при установке ориентирующей поверхности лотка.

5.3 Выводы по Главе 5

В разработанных практических рекомендациях по результатам диссертационного исследования, обоснован рабочий процесс стилочной машины, даны рекомендации по определению рабочей скорости движения стилочной машины 0,42 м/с, скорости выхода торфяного куска из мундштука

0,46 м/с и расстояние между двумя торфяными трубчатыми кусками сушки, которое составляет 0,116 м.

На основе эюр отношения линейной скорости движения куска к поступательной скорости машины для вертикальной установки трубчатого куска в устойчивом состоянии на площадке сушки кинематический показатель работы стилочной машины должен быть $k = 1$.

С целью упрощения укладки в вертикальном положении торфяных трубчатых кусков, на основе анализа формы и размеров куска, условий работы стилочной машины и патентного анализа, предложен, запатентован и рекомендуем к комплектации стилочной машины для формования торфяной окускованной продукции подпружиненный укладчик [55] выполненный в форме обратной брахистохроны с цилиндрическим профилем желоба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основе результатов проведенных исследований изложены научно обоснованные технические решения по обоснованию структуры и параметров формователя шнекового пресса стилочной машины по производству окускованного торфа трубчатого типа. Реализация результатов исследований вносит существенный вклад в совершенствование процессов добычи торфяного сырья в условиях карьерного способа.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. В результате анализа и обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы определено, что для интенсификации процесса полевой сушки торфяных кусков необходимо выбрать рациональный размер формующего мундштука шнекового пресса для формирования торфяной окускованной продукции трубчатого типа в виде крупноразмерных полых 3-D фигур с учетом условий формирования, укладки и протекания процесса сушки.

2. На основе анализа сложившихся требований к окускованной торфяной продукции и параметрического анализа обоснованы форма (толстостенная труба) с отношением диаметра к длине $L = D\sqrt{2}$ и размеры (наружный диаметр $D_s = 0,18$ м, внутренний диаметр $d_s = 0,10$ м, толщина стенки $0,04$ м, длина $L_s = 0,25$ м) окускованной торфяной продукции для интенсификации процесса полевой сушки.

3. На основе проведенного параметрического анализа конструкций формующих органов стилочных машин, разработана и запатентована усовершенствованная конструктивная схема составного мундштука шнекового пресса, с пустотообразователем и подпружиненным укладчиком на конце мундштука (патенты № 195588; 201925).

4. На основе запатентованной полезной модели составного мундштука шнекового пресса разработана и создана лабораторная установка и модель-шнекового формователя для проведения лабораторных исследований процесса формования на натуральных образцах торфяного сырья.

5. Разработана модель степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с составным мундштуком и определена суммарная степень механической переработки $\lambda = 353$. Оптимизация параметров шнекового пресса по критерию соотношения радиуса и шага витков шнека H/R , показала, что максимальное давление, развиваемое шнеком в 301,6 кПа, достигается при величине его конструктивного параметра шаг/радиус = 1,33.

6. Определено, что объемная производительности шнекового пресса с составным трубчатым мундштуком зависит от изменения сопротивления формующего мундштука пресса, которая в свою очередь разделена на зоны в виде кольцевого конического и кольцевого цилиндрического каналов. Определен общий коэффициент сопротивления составного мундштука шнекового пресса $K = 2,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, от которого зависит давление в мундштуке, необходимое для проталкивания массы через мундштук.

7. Экспериментально определено соотношение скоростей выхода торфяного куска из мундштука и поступательной скорости движения стилочной машины $v_k \approx v_m$. Определена высота расположения мундштука над поверхностью поля сушки $h = 0,5 \text{ м}$ для вертикальной установки куска.

8. Разработана методика экспресс оценки структуры исходного торфяного сырья на основе обработки фотограмм текстуры поверхности и определения фрактальной размерности. В результате анализа пористости и фрактальной размерности на основе фотоизображений образцов определено, что максимальная механическая прочность куска соответствует мультифрактальной размерности $D = 2,6$ в композите полимер-волокно при соотношении компонентов торфяной смеси низкой и высокой степени разложения 25 % к 75%.

9. Экспериментально показано, что длительность сушки трубчатых кусков по сравнению с кусками в виде ленты до значения влагосодержания, $W = 1,63$ кг/кг соответствующего предельному мягкопластичному равновесному напряженно-деформированному состоянию на влажной поверхности происходит быстрее на 62,5%.

10. Разработаны практические рекомендации по расчету и проектированию формователя окускованного торфа трубчатого типа шнекового пресса стилочной машины. Рекомендован запатентованный (патент № 201925) к комплектации стилочной машины для формирования торфяной окускованной продукции подпружиненный укладчик, выполненный в форме обратной брахистохроны с цилиндрическим профилем желоба для вертикальной укладки торфяных трубчатых кусков.

11. Результаты диссертационной работы заложены ООО «ПолиТорф» в «Проект по созданию производства кипованного торфа, торфяных субстратов и мелиорантов» в привязке к участку недр местного значения (торфяное месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491) (справка о внедрении от 29.03.2021).

12. Полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы в дальнейшем на стадии проектирования комплекса технологического оборудования, для карьерной добычи торфяного сырья и получения окускованной продукции. Направления исследований в этой области могут быть направлены на выбор и обоснование рациональной формы входной части мундштука по кривой наименьшего трения с целью уменьшения не только энергоемкости окускования торфяного сырья мобильной стилочной машиной, но и снижения износа элементов шнекового механизма путем использования пластиковой футеровки внутренних поверхностей и предотвращения заштыбовывания в зонах уплотнения формователя шнекового пресса при флуктуации исходных характеристик торфяного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, В.Я. Технология полевой сушки торфа / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов // М.: Наука, 1981. – 239 с.
2. Афанасьев, А.Е. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов / А.Е. Афанасьев [и др.]. – М.: Недра, 1987. – 311 с.
3. Афанасьев, А.Е. Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке // Монография – Тверь: ТГТУ. 2003. – 190 с.
4. Афанасьев, А.Е. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства / А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев // – М.: Недра, 1992. – 288 с.
5. Базин, Е.Т. Торф и торфяные месторождения: проблемы изучения, осушения, добычи, переработки, комплексного использования, ресурсосбережения и экологии. – СПб.: ВНИИТП, 1993. – 123 с.
6. Бернштейн, С.А. Сопротивление материалов: Учебник для машиностроит. специальностей вузов. – М.: Высш. школа, 1961. – 464 с.
7. Беляков, В.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие / В.А. Беляков, О.С. Мисников. – Тверь: ТвГТУ, 2016. – 168 с.
8. Биргер, И. А., Сопротивление материалов: Учебное пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов // – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.
9. Богатов, Б.А., Никифоров В.А. Технология и комплексная механизация торфяного производства. – Минск: Изд. Университетское, 1988. – 463 с.
10. Богатов, Б.А. Управление процессом разработки торфяных месторождений. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 168 с.

11. Борщевский, А.А., Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий / А.А. Борщевский, А.С. Ильин // – М.: ПрофиКС, 2009. 368 с.
12. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - 3-е изд. - М.: Колос, 1973. – 199 с.
13. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. / М.С. Винарский, М.В. Лурье // - Киев: Техника, 1975. – 168 с.
14. Воронков, Б.Б. Формуемость торфомассы, ее нижний теоретический и практический пределы по влажности // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства». Тверь: ТГТУ, 1996. – С. 56-57.
15. Гилев, В.Ю. Физика почв. Учебно – методические указания полевой практики. – Пермь, 2012 – 37 с.
16. Горячкин А.Г., Предельное напряжение сдвига для некоторых видов торфа БССР. / А.Г. Горячкин, А.Б. Дубов // Труды Института торфа АН БССР, Т. 6. Минск, 1957. С. 365-372.
17. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент: утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 15.11.91 N 1743: дата введения 1993-01-01. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001409> (дата обращения 12.01.2020).
18. ГОСТ 17378-2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Переходы. Конструкция: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 20 от 1 ноября 2001 г.): дата введения 2003-01-01. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-17378-2001> (дата обращения 12.01.2020).

19. ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний (с Изменениями N 1): утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 апреля 1983 г. № 1682: дата введения 01-07-1984. - URL <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=145152> (дата обращения 12.01.2020).

20. ГОСТ 23409.7-78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Методы определения прочности при сжатии, растяжении, изгибе и срезе (с Изменениями N 1, 2): утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 01-01-1980. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200025318> (дата обращения 15.01.2020).

21. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 апреля 2020 г. № 129-П): дата введения 01-01-2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302> (дата обращения 16.01.2021).

22. ГОСТ 33162-2014 Торф низкой степени разложения. Технические условия: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 5 декабря 2014 г. № 46): дата введения 01-04-2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200120563> (дата обращения 20.01.2020).

23. ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел: утверждён постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 9 августа 1984 г. № 2828: дата введения 01-07-1985 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-8032-84> (дата обращения 12.01.2020).

24. ГОСТ Р 51062-2011. Торф кусковой топливный для коммунально-бытовых нужд. Технические условия: утвержден и введен в действие

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июня 2011 г. № 138-ст: дата введения 01-01-2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085775> (дата обращения 16.01.2020).

25. ГОСТ Р 54332-2011 Торф. Методы отбора проб: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 июня 2011 г. №132-ст: дата введения 01-01-2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085580> (дата обращения 22.01.2020).

26. Данилевич, С.Н. Машина МТК – 1,6 для добычи кускового торфа / С. Н. Данилевич [и др.] // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых : сборник трудов Междунар. научно-техн. конфер., посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кислова Николая Владимировича, 17-20 апреля 2012 года / Белорусский национальный технический университет ; гл. ред. Романюк Ф.А. [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – С. 138-142.

27. Доннел, Л. Г. Балки, пластины и оболочки. М.: Наука, 1982. – 568 с.

28. Епифанцев, К.В. Выбор рациональных параметров наборной матрицы торфяной формующей машины для получения энергоплотного окускованного топлива: СПб, 2012, 146 с.

29. Журавлев, А.Г., К вопросу обоснования производительности экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования / А.Г. Журавлев, А.В. Скороходов // Проблемы недропользования № 2, 2015. С. 53-60.

30. Зюзин, Б.Ф. Влияние механической переработки на качество кускового торфа / Б.Ф. Зюзин // Труды Инсторфа. – 2010. – № 1 (54). – С. 52-55.

31. Зюзин, Б.Ф., Добыча кускового торфа с естественной сушкой на сетках и высокими сезонными сборами / Б.Ф. Зюзин, О.В. Шамбер // Тверь,

«Вестник тверского государственного технического университета» №2, 2016. С. 68-75.

32. Зюзин, Б.Ф. Основные показатели технологии добычи кускового торфа с сушкой на сетках / Б.Ф. Зюзин, О.В. Шамбер // Тр. Инсторфа, 13 (66), 2016. – С.33-39.

33. Зюзин, Б. Ф., Применение ресурсосберегающих технологий в производстве кускового торфа / Б.Ф. Зюзин, О.В. Шамбер, А.И. Жигульская, С.А. Оганесян // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. IV междунар. научно-практ. конфер. Том II– СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 97-100.

34. Ильиных В.В. Инженерная реология: учебно-методический комплекс – Кемерово: КемТИПП, 2005. – 138 с.

35. Инишева, Л. И. Болотообразовательный процесс. Проведение полевых работ на болотных стационарах / Л.И. Инишева, О.А. Голубина, А.Б. Бубина // ГОУ ВПО Томский государственный педагогический университет. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. 67 с.

36. Казарновский, В.Д., Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог / В.Д. Казарновский, И.В. Лейтланд, А.К. Мирошкин // М.: ФГУП «СОЮЗДОРНИИ», 2002. – 55 с.

37. Кислов, Н.В. Механика торфа и торфяной залежи: механическая переработка торфа – Минск: БНТУ, 2011. – 48 с.

38. Кислов, Н.В. Определение напряжений сдвига по стали переработанной торфяной массы / Н.В. Кислов, В.М. Слыш, Г.И. Лютко // Горная механика и машиностроение, № 1, 2012. С. 16-21.

39. Король, Н.Т., Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. ГОСТ-17644-83. / Н.Т. Король, В.М. Петрович, Н.С. Якобсон // М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1983. –14 с

40. Корчевский, А.Н., Окускование полезных ископаемых и продуктов обогащения: учебное пособие / А.Н. Корчевский, Л.И. Серафимова // – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2016. – 140 с
41. Костюк, Н.С. Производство мелкокускового торфа / Н.С. Костюк, Ф.С. Яцевич. – Минск: Наука и техника, 1975. – 136 с.
42. Костюк, Н.С. Физика торфа. Под ред. Кислова Н.В. – Минск: Вышэйшая школа, 1967. – 214 с.
43. Литвинец, Ю.И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. – 56 с.
44. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. – М.: ФГУП Информавтодор, 2004. – 252 с.
45. Микаэли, В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / Пер. с англ. яз.; Под. ред. В.П. Володина. – СПб.: Профессия, 2007. – 472 с.
46. Мисников, О.С. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие // О.С. Мисников, В.А. Беляков, О.В. Шамбер. – Тверь: ТвГТУ, 2011. – 168 с.
47. Михайлов, А. В. Анализ парка машин при карьерной добыче торфа / А.В. Михайлов, Ю.А. Казаков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – № 7 (специальный выпуск 20). 2019. – 16 с.
48. Михайлов, А.В. Анализ условий полевого производства окускованной торфяной продукции / А.В. Михайлов, А.С. Федоров // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы межд. научно-практ. конфер. – СПб.: СПбФ НИЦ МС. – 2018. – №1. – С. 146-147.
49. Михайлов, А.В. Направления интенсификации сушки торфяной окускованной продукции в полевых условиях / А.В. Михайлов, А.С. Федоров

// Автоматизированное проектирование в машиностроении. Санкт-Петербург. – 2018. – №6. – С. 6-8.

50. 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.

51. Михайлов, А.В. Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов А.В., О.Ж. Гармаев, А.С. Федоров, Д.Р. Гарифуллин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 30-41. DOI: 10.25018/0236-1493-2019- 07-0-30-41.

52. Новиков, В.В. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата: Дисс. ...к.т.н. – Саратов: СИМСХ, 1981. – 157 с.

53. Опейко, Ф.А. Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.

54. Патент №195588 Российская Федерация, МПК C10F 7/04 (2006.01). Устройство для формования торфяного сырья в трубчатые куски : № 2019134141 : заявл. 23.10.2019 : опубликовано 31.01.2020 / Федоров А.С., Михайлов А.В., Гарифуллин Д.Р. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – с.7.

55. Патент №201925 Российская Федерация, МПК E21C 49/00 (2006.01). Укладчик торфяных трубчатых кусков шнекового формователя : № 2020136252 : заявл. 05.11.2020 : опубликовано 21.01.2021 / Федоров А.С., Михайлов А.В. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – с.7.

56. Патент №202336 Российская Федерация, МПК E21C 49/00 (2006.01), E02F (2006/01), B65G 29/00 (2006.01), B65G 31/04 (2006.01), A01C 3/06 (2006.01). Устройство для подбора и метания торфяного сырья :

№ 2020134469 : заявл. 21.10.2020 : опубликовано 11.02.2021 / Федоров А.С., Михайлов А.В. ; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – с. 6.

57. Патент ВУ 12515 Республика Беларусь, МПК E21C 49/00 (2006). Способ добычи торфа и устройство для его осуществления : № а 20060025 : заявл. 12.01.2006 : опубликовано 30.10.2007 / Слыш В.В., Казаченко Г.В., Слыш В.М. ; заявитель Белорусский национальный технический университет. – с. 6 : ил.

58. Патент ВУ 9033 Республика Беларусь, МПК E21C 49/00 (2006.01). Машина для добычи кускового торфа : № и 20120746 : заявл. 13.08.2012 : опубликовано 28.02.2013 / Васьков В.Б., Дьячков Ю.Ю., Коханский В.В., Макаренко А.В. ; заявитель Могилевское республиканское унитарное предприятие электроэнергетики «Могилевэнерго». – с. 3 : ил.

59. Патент SU №128339 A1 Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий, МПК E21C 49/04. Машина для добычи кускового торфа: № 3875833 : заявл. 01.04.1985 : опубликовано 15.01.1987 / Хозяев В.А., Нашкевич И.С., Терентьев А.А., Омельченко А.П. ; заявитель Центральное конструкторское бюро с опытным производством АН БССР и Институт торфа АН БССР. – с.6 : ил.

60. Патент SU №66915A1. 21.07.1943 Бюро изобретений Госплана СССР, МПК C10F 5/02 (1995.01), C10F 7/04 (1995.01). Передвижная формовочно-стилочая торфяная машина: №494 : заявл. 21.07.1943 : опубликовано 01.01.1946 / Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности. – 3 с. : ил.

61. Песков, В.Г. Экспериментальное исследование торфоперерабатывающих спирально-конусных прессов: автореф. дис. канд. техн. наук: – М: МТИ, 1958. – 17 с.

62. Потапов, А.А. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, А.А. Пахомов, С.А. Никитин, Ю.В. Гуляев // М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

63. Пятов, В.В. Методика проектирования шнековых машин для экструзии пластичных сред / В.В. Пятов, А.Н. Голубев, П.С. Ширяев // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2017. – № 2 (33). – С. 45-52.
64. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. В сб. Физ.-хим. механика дисперсных структур. – М.: Знание, 1966. – С. 3-6;
65. Ребиндер, П.А. Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления физико-химии коллоидов. Тр. совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методов их изучения / П.А. Ребиндер. – М.: Стройиздат. – 1956. – 52 с.
66. Рябинин, Д.Д., Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач // – М.: Машиностроение, 1965. – 364 с.
67. Самсонов, Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. – М.:Недра, 1985. – 211 с.
68. Святский, В.М. Получение волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом из вторичных термопластов / В.М. Святский, М.В. Соколов, Б.А. Сентяков // Вестник ТГТУ. 2018. Том 24. № 2. С. 307-317. DOI: 10.17277/vestnik.2018.02. pp.307-317.
69. Селеннов, В.Г., Нереализованные разработки института / В.Г. Селеннов, Ю.О. Петров, В.М. Юрков // Торф и бизнес 2006. № 3(5). – С. 23-27.
70. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. – 760 с.
71. Соколов, Б.Н. Справочник механика торфяного предприятия / Б.Н. Соколов [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 365 с.
72. Соколов, М. В. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин: монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 248 с.

73. Соколов, М.В., Определение оптимальных технологических и конструктивных параметров экструзионного оборудования / М.В. Соколов, В.И. Кочетов // V научная конференция ТГТУ: Тез. докл. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2000. С. 58-59.

74. Солопов, С.Г. Аэродинамический метод оценки конструкций формовальных аппаратов для пластичного торфа / С.Г. Солопов // Торфяная промышленность. – 1946. – № 1. – С. 30-32.

75. Солопов, С.Г. Торфяные машины и комплексы: учебное пособие для вузов / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. – М.: Недра. – 1981. – 416 с.

76. Сопротивление материалов: Учебник / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник, 5-е изд. – М.: Дашков и К°. – 2016. – 432 с.

77. Старшов Г.И. Основы проектирования и расчет технологического оборудования пищевых предприятий: учеб. пособие / Г.И. Старшов, С.Н. Никоноров, А.И. Никитин. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. – 2008. – 187 с.

78. Терентьев, А.А., Структура и свойства формованной торфяной продукции: Монография. / А.А. Терентьев, В.И. Суворов // Тверь: Созвездие. – 2004. – 136 с.

79. Терехин, Е.П. Методика инженерного расчета гранулирующего шнекового пресса для активации бентонитовых глин // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013., Отд. Вып. – № 5. – С. 215-218.

80. Технический анализ торфа / Е.Т. Базин, В.Д. Копенкин, В.И. Косов и др. Под общ. ред. Е.Т. Базины. – М.: Недра, 1992. – 431 с.

81. Технологическая карта на разработку грунта I - II группы в котловане экскаваторами, оборудованными ковшом обратной лопата, с погрузкой в автосамосвалы. 62-04 ТК. – М.: ОАО «ПКТИпромстрой», 2004. – 22 с.

82. Тимофеева, Д.В. Разработка конструкции шнека типового пресс-экструдера / Д.В. Тимофеева, В.П. Попов, С.В. Антимонов, А.Г. Зинюхина // Вестник ОГУ. – 2014. – № 9 (170). – С. 220-225.

83. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р.В. Торнер, М.С. Акутин. – М.: Химия, 1986. – 400 с.

84. Федоров, А.С. Анализ расположения мундштука шнекового пресса торфяной стилочной машины / А.С. Федоров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск. – Т.1. – 2020. – С. 112.

85. Федоров, А.С. Анализ укладки торфяных кусков для интенсификации процесса сушки / А.С. Федоров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сб. тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Под ред. В.В. Максарева – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет. – 2018. – С. 159.

86. Федоров, А.С. Анализ условий полевой сушки окускованной продукции / А.С. Федоров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Сб. тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Под ред. В.В. Максарева. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет. – 2019. – С. 45.

87. Федоров, А.С. Механическая переработка торфяного сырья при формировании в составном мундштуке шнекового пресса / А.С. Федоров, А.В Михайлов, Д.Р. Гарифуллин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12 (спец. вып. 44). – С. 3-13. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-44-3-13.

88. Федоров, А.С. Параметры мундштука шнекового пресса с учетом требований к торфяной формованной продукции / А.С. Федоров, Ю.В. Казаков, Д.В. Фадеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – S9. – 2020. – 15 с.

89. Федоров, А.С. Перспективы распределенной энергетики на торфяном топливе / А.С. Федоров // Проблемы разработки перспективных технологических систем: сборник статей Межд. научно-практ. конфер. – Уфа: АЭТЕРНА. – 2017. – С. 125-128.

90. Федоров, А.С. Применение составного мундштука шнекового пресса стилочной машины для производства торфяной окускованной продукции / А.С. Федоров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск. – Т.1. – 2021. – С. 76.

91. Хлюпин, А.Н., Фрактальный анализ трехмерной микроструктуры пористых материалов / А.Н. Хлюпин, О.Ю. Динариев // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 6. – С. 17-22.

92. Цветков, В.И. Исследование процесса уплотнения торфяной массы в зависимости от давления // В сб.: «Машины и технологии торфяного производства». Межвузовский сб. научн. тр.– Калинин: КГУ / – 1988. – С. 70-73.

93. Чистяков, В.И. Машины экскаваторного способа добычи торфа. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1957. – 256 с.

94. Яблонев, А.Л. Проектирование торфодобывающих предприятий: учебное пособие / А.Л. Яблонев. – Тверь: ТвГТУ, 2016.– 164 с.

95. Aleksandr Mikhailov. Peat surface mining methods and equipment selection. Mine Planning and Equipment Selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th – 19th October 2013. Drebenstedt, Carsten, Singhal, Raj (Eds.) 2014, XXVII, Volum 2, – pp.1243-1249.

96. Belarus Minsk Tractor Works – URL: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/belarus-1523/belarus-1523-4/> / (дата доступа 01.02.2021).

97. Erkkilä A, Leinonen A, Niemiaho J. Development of new sod peat production technology in Finland. In Savolainen M, editor, International Nordic

Bioenergy 2011: Book of Proceedings. 2011. – p. 173. (Finbio publications; No. 51).

98. DIFCO Pro 14 (Sod Peat Extruder)
 URL:<https://www.difcoequipment.com/difco-product-range/difco-pro-14-sod-peat-extruder/> (дата обращения 12.03.2021).

99. DIFCO Mini Track
 URL:<https://www.difcoequipment.com/difco-product-range/difco-mini-track/> (дата обращения 12.03.2021).

100. GARMIN Russia – URL: www.garmin.ru / (дата обращения 12.03.2021).

101. Google maps – URL: <https://www.google.ru/maps/> / (дата обращения 12.03.2021).

102. Gwyddion – Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM) data analysis software. – URL:<http://gwyddion.net> / (дата обращения 03.02.2021)

103. Hopmann C. Extrusion Dies for Plastics and Rubber Design and Engineering Computations 4th Edition Carl Hanser Verlag / C. Hopmann C, W. Michaeli // Munich 2016 Pages: 469. <https://doi.org/10.3139/9781569906248>.

104. Irish Fire Logs – URL: <http://irishfirelogs.com/peat/> / (дата обращения 03.02.2021).

105. Jean-Marie Bouvier. Food and Non-Food Biomaterials. John Wiley & Sons / Jean-Marie Bouvier, Osvaldo H. Campanella // Extrusion Processing Technology, 2014. John Wiley & Sons, Ltd. Pp. 530. DOI:10.1002/9781118541685].

106. Kocserha I. Effects of Extruder Head's Geometry on the Properties of Extruded Ceramic Products / I. Kocserha, F. Kristály // Materials Science Forum Vol. 659 (2010) pp. 499-504. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.659.499.

107. Добыча кускового торфа Meripeat - URL: <https://www.meripeat.com/ru/products-ru/sod-peat-production-ru/> / (дата обращения 03.02.2021).

108. Mikhailov, A.V. Preliminary study of tubular peat extrusion / A.V. Mikhailov, O.Z. Garmaev, A.S. Fedorov – DOI: 10.1088 / 1757-899X/560/1/012061 – Text electronic // IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. - 2019. - Vol. 560: 012061. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012061> (date of request 30.07.2019). (Scopus).
109. Mikhailov A.V. The Relationship between Fractal Properties and Active Porosity of Peat Compositions / A.V. Mikhailov, O.Z. Garmaev, A.S. Fedorov // Key Engineering Materials 836. – 2020. – pp. 58-62. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.836.58.
110. Miloš B., Bensa A. Fractal approach in characterization of spatial pattern of soil properties / B. Miloš, A. Bensa // Eurasian J Soil Sci 2017, 6 (1) pp. 20-27. DOI:10.18393/ejss.284260.
111. Orisaleye, J.I., Ojolo, S.J., 2019. Parametric analysis and design of straight screw extruder for solids compaction. J. King Saud Univ. Eng. Sci. 41, 86-96. DOI:10.1016/j.jksues.2017.03.004.
112. Orisaleye, J.I., Ojolo, S.J., 2019. Mathematical Modelling of Pressure Distribution along the Die of a Biomass Briquetting Machine // International Journal of Design Engineering, 2019 Vol.9 No.1, pp.36 – 50. DOI:10.1504/IJDE.2019.104125
113. PEAT MAX. Sod Peat Screen PKS-9 – URL: <http://www.peatmax.com/en/products/loaders/sod%2bpeat%2bscreen%2bps-9.html> / (дата обращения 12.03.2021).
114. Thrillist – URL: <https://www.thrillist.com/culture/what-is-peat> / (дата обращения 12.03.2021)].

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технические характеристики машин парка технологического оборудования по производству кускового торфа

Таблица А.1 – Технические характеристики многоковшового экскаватора МТК-14

Тип двигателя	АМ-01
Мощность двигателя, кВт	110
Экскавирующее устройство:	
геометрическая вместимость ковша, м ³	0,106
число ковшей, шт.	13
шаг ковшей, м	1,68
предельная ширина забоя, м	10,0
максимальная глубина экскавации, м	4,5
Скорость движения ковшей цепи, м/с	0,65
Угол поворота ковшовой рамы, градус	60
Вместимость бункера, м ³	8
Промежуточный шнек:	
диаметр, м	0,50
шаг витков, м	0,45
Частота вращения шнека, с ⁻¹	3,52
Разгрузочный шнек бункера:	
диаметр, м	0,495
шаг витков, м	0,450
Угол наклона шнека, градус	30
Гусеничный ход:	
продольная база, м	5,09
колея (по центрам гусениц), м	2,47
длина трака, м	1,2
Скорость передвижения, м/с	0,168
Масса, кг	26500
Среднее удельное давление на грунт, кПа	21,4
То же, с торфом в бункере, кПа	27,0
Производительность за 1 ч чистой работы, м ³	124

Таблица А.2 –Технические характеристики валкователей кускового торфа

	КА-4.0 Т	PSK-4
Трактор	колесный (сдвоенные колеса)	
Мощность двигателя трактора, кВт	100-250	60-80
Тип	полунавесная	
Тип навески	трехточечное навесное устройство CAT-2	
Ход машины	колесный	
Рабочая скорость, км/ч	2,6	1,6
Ширина захвата, м	4,2	4,45
Ширина подъемного устройства W1, м	1,5	2,78
Ширина рабочей зоны W2, м	4,2	4,45
Общая ширина W, м	4,3	5,03
Общая длина L, м	3,65	5,01
Общая высота h, м	1,3	1,2
Ширина конвейера L1, м	0,585	0,72
Вал отбора мощности		
скорость вращения, мин ⁻¹	1000	1000
диаметр, мм	45	45
число шлицов, шт.	6	6
Гидравлическая система трактора	2 точки подсоединения, одностороннего действия	
Производительность насоса, л/мин	130	130
Давление, МПа	21	21
Объем масляного бака, м ³	150	150
Система смазки	централизованная автоматическая	
Масса машины, кг	2400	1700

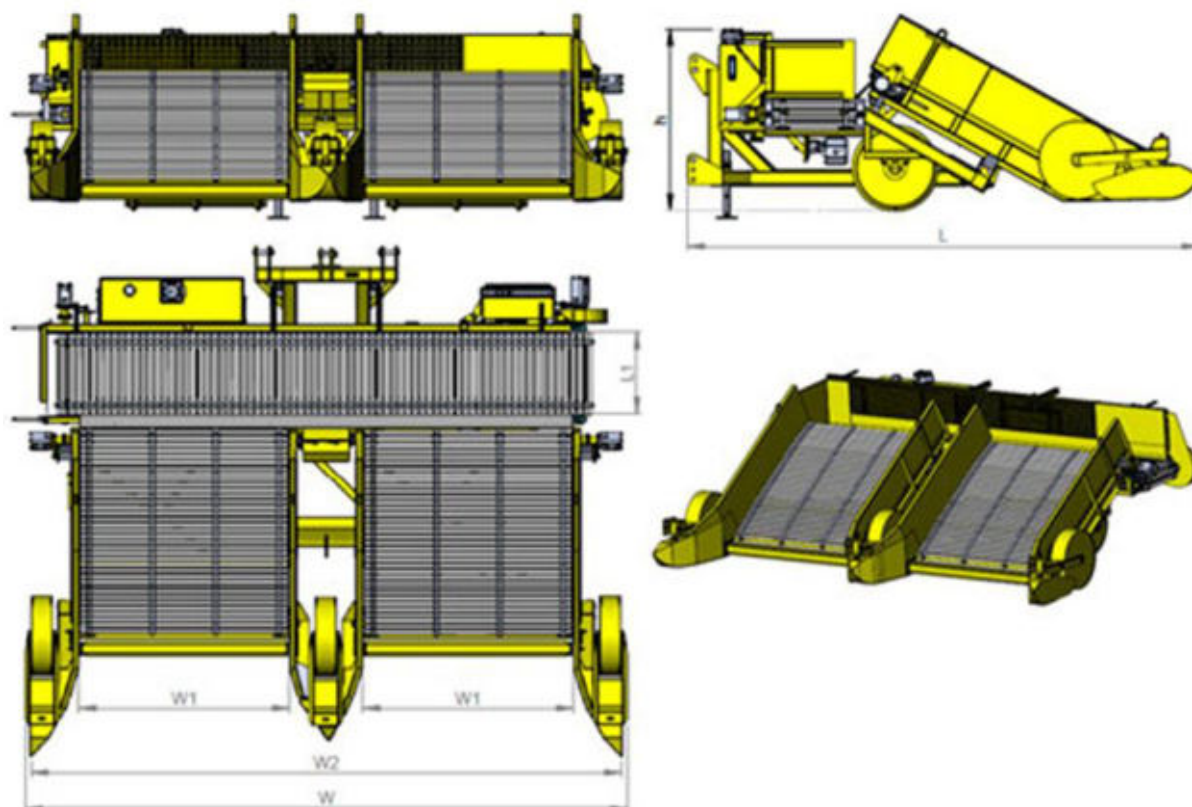


Рисунок А.1 – Основные размеры валкователя кускового торфа КА-4.0 Т

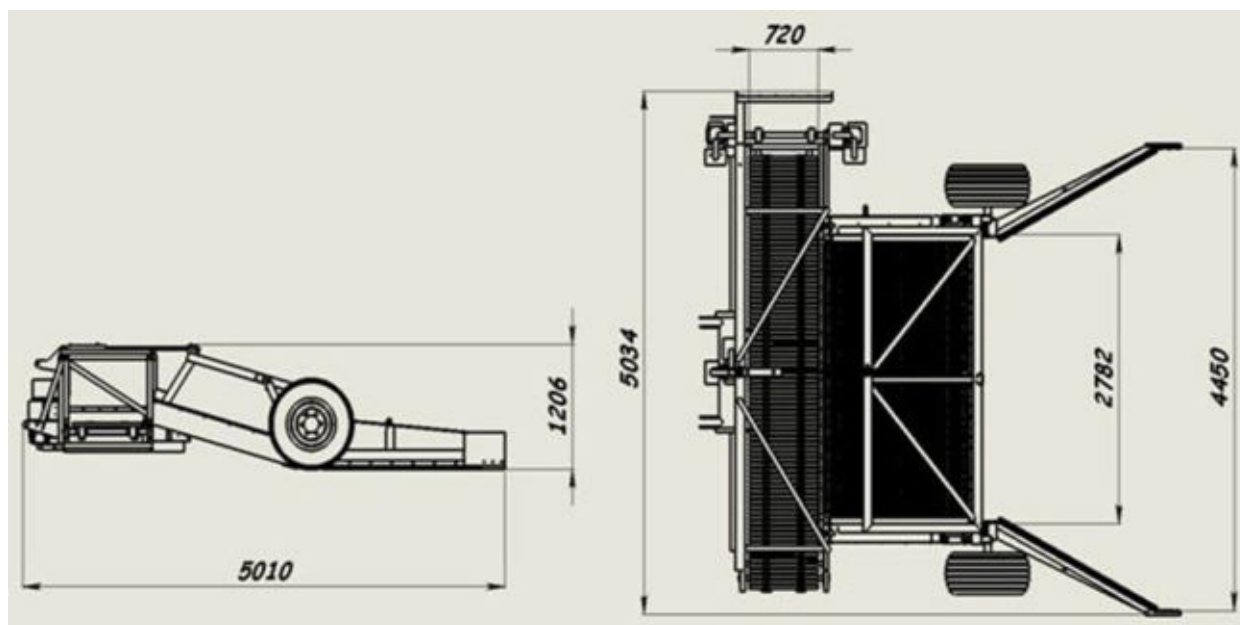


Рисунок А.2. – Основные размеры валкователя кускового торфа PSK-4

Таблица А.3 – Технические характеристики погрузчика отсепарированного кускового торфа КНТ-2.0

Трактор	колесный (сдвоенные колеса)
Диапазон мощности двигателя трактора, л. с.	70-150
Рабочая скорость, км/ч	1,5-6,0
Ширина захвата, м	4,2
Производительность на погрузке, м ³ /ч	150-350
Ширина погрузочной части, мм	8600
Масса	3400, кг
Крепление	сзади к тягово-сцепному устройству трактора
Скорость вращения ВОМ, мин ⁻¹	1000
Размер вала, мм	45
Число шлицов, шт.	6
Трансмиссия	механическая с редукторами
Предохранительная муфта	FT-44 с фрикционным диском
Ширина погрузочной части f , мм	2180
Ширина подъемного устройства b , мм	1500
Расстояние до сцепного устройства, мм	295+585
Ширина ленточного конвейера a , мм	650
Ширина погрузочной части e , мм	8600
Высота погрузочной части h , мм	4500
Общая ширина заднего катка, мм	4880
Общая ширина T , мм	9700
Общая высота H , мм	5000
Общая длина L , мм	4450

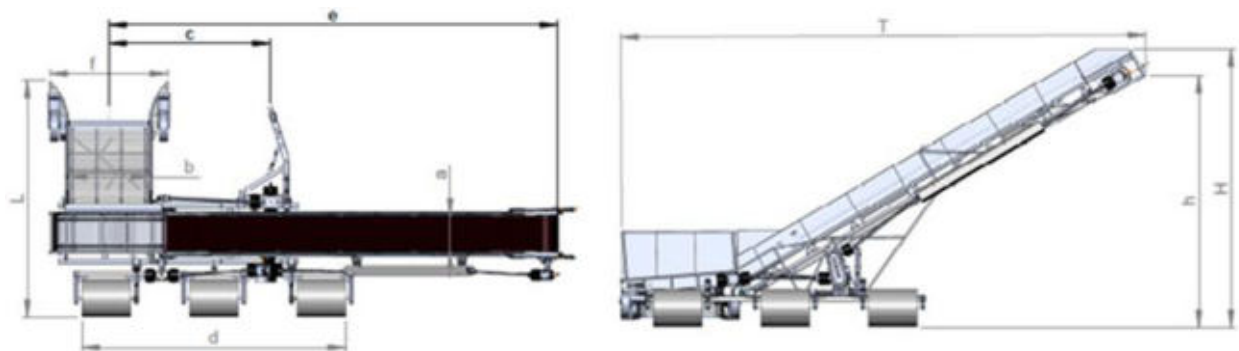


Рисунок А.3 – Основные размеры погрузчика кускового торфа КНТ-2.0

Таблица А.4 –Технические характеристики погрузчика PKS-9

Трактор	колесный (сдвоенные колеса)
Диапазон мощности двигателя трактора, кВт	100
Скорость, км/ч	1,5-3,0
Производительность, м ³ /ч	500-600
Скорость вращения ВОМ, мин ⁻¹	1000
Диаметр вала, мм	45
Система смазки	централизованная автоматическая
Колеса (2 шт.)	400/60 15,5
Масса, кг	8900
Гидравлическая система трактора	2 точки подсоединения, одностороннего действия

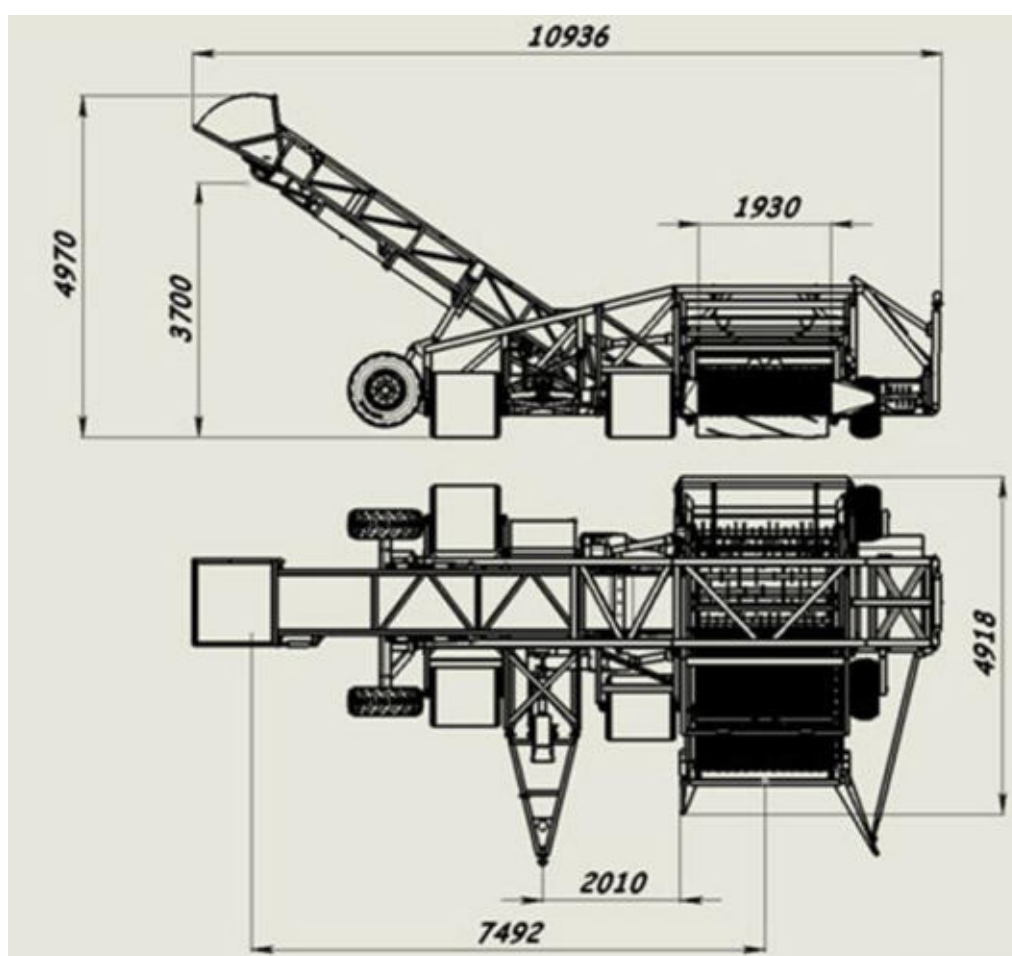


Рисунок А.5. Габаритные размеры погрузчика кускового торфа PKS-9

Таблица А.5 – Технические характеристики колесного полуприцепа TRL-30 F

Трактор колесный	сдвоенные колеса
Мощность двигателя трактора, л.с.	150
Тип	Полуприцепной сзади к тягово-сцепному устройству трактора
Объем кузова, м ³	28
Масса без груза, кг	5900
Допустимая масса груза, кг	10500
Общая допустимая масса, кг	16400
Колеса, шт.	8
Шины	21,3-R24
диаметр, мм	1400
ширина, мм	540
Общая высота h , мм	2900
Общая ширина, Т мм	3450
Общая длина, L мм	8750
Высота кузова, a мм	1250
Ширина кузова b , мм	3350
Длина кузова c , мм	6700

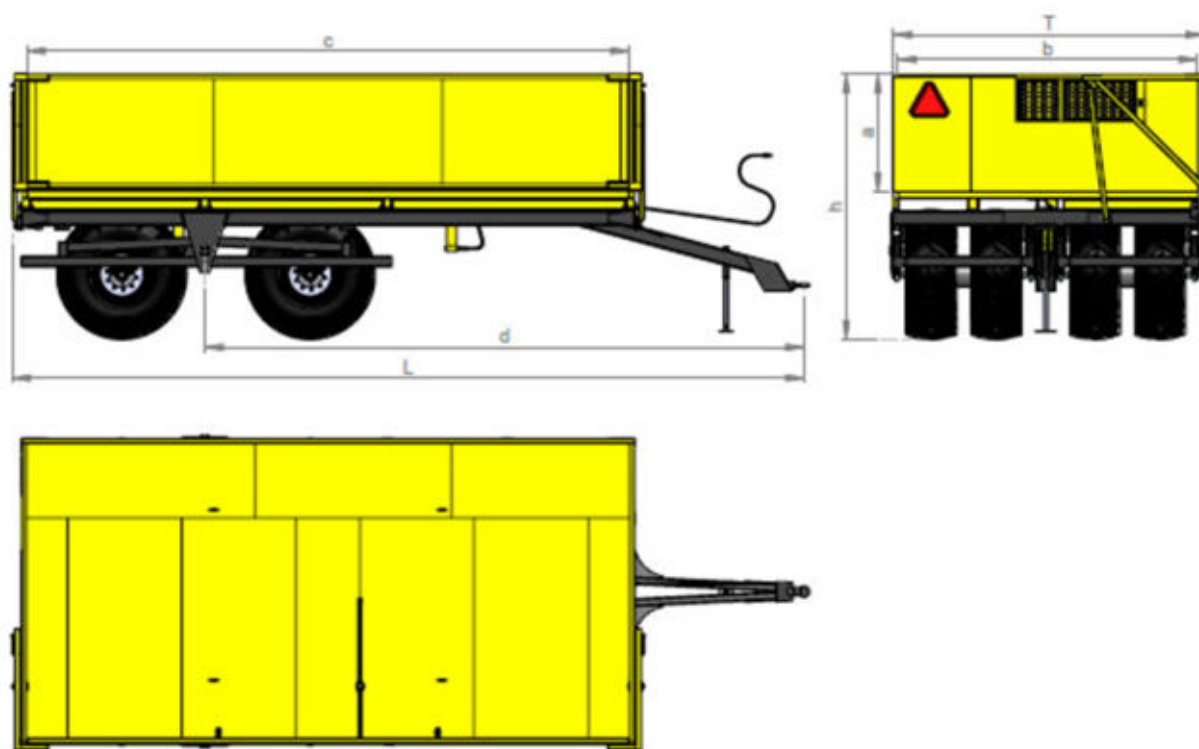


Рисунок А. 7 – Основные размеры колесного полуприцепа TRL-30 F

Таблица А.6 – Технические характеристики Трактора Беларусь (МТЗ) 1523.4-10/91

Масса эксплуатационная, кг	6000
База, мм	2760
Габаритные, размеры, мм	4710x2250x3000
Колея по передним колесам (<u>min</u>), мм	1540
Колея по передним колесам (<u>max</u>), мм	2115
Колея по задним колесам (<u>min</u>), мм	1520
Колея по задним колесам (<u>max</u>), мм	2435
Наименьший радиус поворота, м	5,5
Дорожный просвет, мм	380
Размеры шин передних колес	420/70R24
Размеры шин задних колес	520/70R38
Скорость движения: транспортная, км/ч <u>max</u>	32.38
Скорость движения: рабочая, км/ч <u>max</u>	14.92
Двигатель	
Модель	Д-260.1S3A
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2100
Мощность номинальная, кВт (л. с.)	116 (158)
Крутящий момент при номинальной мощности, Н·м	527
Максимальный крутящий момент, Н·м	660
Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности, г/кВт·ч	250
Вал отбора мощности	
Задний ВОМ	+
- задний ВОМ независимый I (при номинальной частоте двигателя), мин ⁻¹	540
- задний ВОМ независимый II (при номинальной частоте двигателя), мин ⁻¹	1000
Гидронавесная система (ГНС)	
Тип задней ГНС	Раздельно-агрегатная
- грузоподъемность на оси шарниров нижних тяг задней ГНС, т	6,5
Гидросистема	
Тип насоса	Шестеренный
Рабочий объем насоса, см ³ /об	32
Максимальное давление, МПа	20
Производительность насоса, л/мин	55
Емкость гидросистемы, л	35
Ходовая система	
Тип	Колесная
Колесная формула	4К4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Основные характеристики торфяной залежи

Таблица Б.1 – Детальная разведка торфяного месторождения «Рогали» Фировского района Калининской области.

№	Наименование показателей	Ед. изм	Рекогносцировочная разведка	Детальная разведка
1	Площадь в нулевой границе	га	721	705
2	Площадь в границах промзалежи	га	627	620
3	Средняя глубина	м	6,05	4,38
4	Общий объем торфа	тыс. м ³	31538	27172
5	Запас в/с торфа при 40% условной влажности	тыс. т	4762	3574
6	Степень разложения	%	27	22
7	Зольность	%	3,6	3
8	Естественная влажность	%	-	92,2
<u>Торф малой степени разложения</u>				
9	Площадь в границах по глубине 0,5 м	га	286	404
10	Средняя глубина	м	1,12	1,20
11	Объем торфяной залежи	тыс. м ³	3203	4851
12	Запас в/с торфа при 40% условной влажности	тыс. т	320	433
13	Степень разложения	%	13	9
14	Зольность	%	-	2
15	Естественная влажность	%	-	93,7
16	Категория запасов		С	А
17	Запас сапропеля	тыс. т	-	74
18	Средняя глубина	м	-	0,46

Наименование участков	Пл-Т ₁			Пл-Т ₂		
№ пунктов опробования Глубина слоя, м	14 В-21 ПК 1	17 В-26 ПК 3	Среднее по слою	12 В-17 ПК23	16 В-24 ПК 1	Среднее по слою
			Общий запаса-топливный торф			Общий запаса-топливный торф
0,25	89,6	90,0	89,8	93,9	89,0	91,5
0,50	90,4	91,4	90,9	90,1	91,0	90,5
0,75	91,9	91,3	91,6	87,4	88,9	88,2
1,00	93,0	91,8	92,4	82,6	92,1	87,4
1,25	94,1	91,0	92,6	78,4	93,3	93,3
1,50	93,7	92,4	93,1		89,2	89,2
1,75	92,8	92,0	92,4		86,6	86,6
2,00	91,7	93,0	92,4		90,5	90,5
2,25	90,7	92,0	91,4		90,6	90,6
2,50	89,9	90,0	90,0		91,0	91,0
2,75	91,2	90,1	90,7		84,7	
3,00	91,2	88,8	90,0			
3,25	93,1	86,4	89,8			
3,50	91,5	90,6	91,1			
3,75	90,3	90,1	90,2			
4,0	90,4	88,5				
Среднее по участку			91,2			89,7
<u>По всему торфяному месторождению:</u>						
среднее для общего запаса - балансового						92,2 %
торфа малой степени разложения						93,7 %
с зольностью до 23% и степенью разложения более 20% - топливный торф						91,7 %
в т.ч. запас внутризалежных слоев торфа малой степени разложения						94,0 %
Среднее по типам залежи:						
верховой						92,6 %
смешанной						92,2 %
переходной						90,8 %

Таблица Б.2 – Запасы торфяного сырья месторождения Рогали

Таблица Б.3. –Стратиграфия месторождения Рогали
Площадка опробования 11 Виз.16 ПК 13

Глубина, м	Вид торфа	Степень разложения, %	Пнистость, %
0,25	Магелланикум	5	-
0,50	Магелланикум	9	0,3
0,75	Магелланикум	19	-
1,00	Магелланикум	15	1,4
1,25	Пуш. сфагновый	30	-
1,50	Шейхцериевый	26	0,7
1,75	Сф. переходный	18	-
2,00	Сф. переходный	18	1,4
2,25	Сф. переходный	12	-
2,50	Сф. переходный	18	0,3
2,75	Шейхцер- сф. перех	17	-
3,00	Шейхцер переходный	21	0,7
3,25	Шейхцер переходный	26	-
3,50	Шейхцер переходный	34	0,5
3,75	Травяной перех	35	-
4,00	Травяной перех	34	1,4
4,25	Травяной перех	28	-
4,50	Древес. перех	32	1,4
4,75	Осоковый перех	25	-
5,00	Осоковый перех	26	0,4
5,25	Осок сф перех	22	-
5,50	Сфагновый низинный	22	-
5,75	Сапропель	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Условия проведения экспериментов

Таблица В.1 – Дневник погоды при проведении исследования процесса сушки торфяных трубчатых кусков

Дата	Время суток t , час	Температура T , °C	Атмосферное давление P_a мм. рт. ст	Влажность воздуха φ , %	Скорость ветра, v м/с	Облачность, %
16.04. 2019	12	12,00	775,8	39	2	-
	15	11,70	776,2	38	3	-
	18	10,10	775,7	39	2	-
	21	7,70	775,3	48	1	-
17.04. 2019	0	5,40	776,1	61	1	-
	3	3,60	776,2	68	1	-
	6	1,60	776,7	79	-	30
	9	6,40	776,8	55	-	-
	12	11,20	776,2	38	1	30
	15	11,30	775,1	40	2	40
	18	10,30	774,1	49	2	90
	21	7,90	773,9	61	1	1
18.04. 2019	0	5,80	773,8	76	-	100
	3	5,10	773,5	75	1	100
	6	4,50	773,5	70	1	90
	9	9,00	774,4	50	1	-
	12	12,50	775,1	35	2	-
	15	13,60	775,1	32	2	-
	18	12,50	775	33	2	-
	21	8,40	775,1	43	1	-
19.04. 2019	0	4,80	775,3	60	-	-
	3	2,70	775,3	74	-	-
	6	3,60	774,6	65	-	30
	9	8,40	774	52	1	80
	12	12,40	773,1	39	3	100
	15	11,50	772,1	48	3	100
	18	11,40	771,2	48	2	100
	21	11,40	771,1	42	2	100

Таблица В.2 – Сушка торфяных трубчатых кусков

Показатели	Расположение					
	на сетках			на влажной поверхности		
	1	2	3	1	2	3
Исходное состояние						
D , мм	60	60	60	60	60	60
d , мм	35	35	35	35	35	35
L , мм	81	78	90	85	87	77
m , гр	148,24	141,2	165,35	150,01	156,15	140,57
V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-5}$	15,101	14,542	16,779	15,847	16,220	14,356
Влажность w , %	85,6	85,6	85,6	85,6	85,6	85,6
Объемная усадка δ , %	0	0	0	0	0	0
Через 24 ч						
D , мм	59	59	58	60	59	60
d , мм	34	34	34	34,5	34	34,5
L , мм	76	72	87	77	82	75,6
m , гр	127,26	120,85	138,99	146,05	144,56	135,8
V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-5}$	13,87	13,14	15,08	14,57	14,97	14,30
Влажность w , %	83,2	83,2	82,9	85,2	84,4	85,1
Объемная усадка δ , %	14,48	18,98	7,03	10,20	7,73	11,83
Через 48 ч						
D , мм	51,5	52	52	55	54	54
d , мм	30	30	30	31	29	32,5
L , мм	70	65	78	72,5	76	72
m , гр	77,72	80,28	85,74	107,45	106,87	103,14
V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-5}$	9,63	9,20	11,05	11,75	12,38	10,51
Влажность w , %	72,5	74,7	72,2	79,9	79,0	80,4
Объемная усадка δ , %	40,64	43,25	31,90	27,58	23,68	35,20
Через 72 ч						
D , мм	45	45	45	50	49	50
d , мм	27	25	26	28	27	29
L , мм	62	58	67	65	70	65
m , гр	42,73	41,46	44,97	68,26	68,08	64,33
V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-5}$	6,308	6,374	7,095	8,756	9,188	8,465
Влажность w , %	50,0	51,0	47,1	68,4	67,0	68,4
Объемная усадка δ , %	61,11	60,70	56,26	46,02	43,36	47,81
Через 96 ч						
D , мм	42	43	43	47	45	48
d , мм	25	25	24	27	27	29
L , мм	55	51	66	64	62	62
m , гр	31,84	30,69	34,35	50,21	49,42	45,97
V , $\text{м}^3 \cdot 10^{-5}$	4,918	4,900	6,595	7,436	6,308	7,120
Влажность w , %	33,0	33,7	30,7	57,0	54,5	56,0
Объемная усадка δ , %	69,68	69,79	59,34	54,16	61,11	56,10

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Документы, подтверждающие техническую новизну разработки

Свидетельство о государственной регистрации патента на полезную модель «УКЛАДЧИК ТОРФЯНЫХ ТРУБЧАТЫХ КУСКОВ ШНЕКОВОГО ФОРМОВАТЕЛЯ»



Свидетельство о государственной регистрации патента на полезную модель «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ В ТРУБЧАТЫЕ КУСКИ»



Свидетельство о государственной регистрации патента на полезную
модель «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДБОРА И МЕТАНИЯ ТОРФЯНОГО
СЫРЬЯ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 202336

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДБОРА И МЕТАНИЯ
ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Санкт-
Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Федоров Александр Сергеевич (RU),
Михайлов Александр Викторович (RU)*

Заявка № 2020134469

Приоритет полезной модели 21 октября 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 11 февраля 2021 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 21 октября 2030 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Извеков Г.П. Извеков



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Документы о внедрении результатов



СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы
Федорова Александра Сергеевича
«Обоснование параметров формователя шнекового пресса стилочной машины
по производству окускованного торфа трубчатого типа»**

Справка дана Федорову А.С. в том, что разработанное в диссертационной работе техническое решение по составному формующему мундштуку с пустотообразователем шнекового пресса стилочной машины для получения в полевых условиях окускованной торфяной продукции трубчатого типа, использовано на стадии проектирования комплекса технологического оборудования для карьерной добычи торфяной окускованной продукции.

Определенные в работе конструктивные и геометрические параметры составного формующего мундштука шнекового пресса стилочной машины позволяют получать из композиции торфяного сырья низкой и высокой степени разложения торфяной кусок в форме толстостенной трубы, устанавливаемый вертикально на поле сушки, что способствует ускорению продолжительности сушки в полевых условиях.

Полученные аналитические выражения для определения степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с мундштуком и метод оценки состава исходной сырьевой композиции на основе фрактального анализа фотоизображений поверхности материала позволяют планировать качество готовой продукции в зависимости от изменяющихся горно-геологических условий и стратиграфии месторождения.

В настоящее время данные по предлагаемой технологии и конструктивному оформлению технологического оборудования для производства торфяной окускованной продукции трубчатого типа заложены в исходные данные «Проекта по созданию предприятия по добыче и последующей переработке торфяного сырья для производства кипованного торфа, торфяных субстратов и мелиорантов» в привязке к участку недр местного значения (торфяное месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491).

Генеральный директор,
канд. техн. наук
29.03.2021



С.Н. Горохов

ООО «ПолиТорф»
170004, г. Тверь, ул. 1-я За линией Октябрьской железной дороги, д. 2, РФ
+7 495 960-69-21
info@polytorf.com