

На правах рукописи

Федоров Александр Сергеевич



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВАТЕЛЯ
ШНЕКОВОГО ПРЕССА СТИЛОЧНОЙ МАШИНЫ ПО
ПРОИЗВОДСТВУ ОКУСКОВАННОГО ТОРФА
ТРУБЧАТОГО ТИПА**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Михайлов Александр Викторович

Официальные оппоненты:

Зюзин Борис Федорович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», кафедра «Технологические машины и оборудование», заведующий кафедрой;

Зверев Валерий Юрьевич

кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра горной электромеханики, доцент;

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Защита диссертации состоится 23 сентября 2021 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. №1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на веб-сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 23 июля 2021 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 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.

Окусование торфяного сырья в объемные крупноразмерные полые 3-D фигуры методом экструзии в шнековом прессе стилочной машины, для интенсификации последующей досушки, 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 прессы 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., Norrobin 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 формования объемных крупноразмерных полых фигур сушки требуется проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

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

Предмет исследования – закономерности механических процессов в формователе шнекового прессы.

Цель исследования. Установление закономерностей формования 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 прессы 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 формующих 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 формования торфяного сырья в куски трубчатой формы.

2. Минимизации степени механической переработки торфяного сырья при формовании 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 стирочной 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.

На защиту выносятся следующие положения:

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 формовании 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 Kolloquium junger 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.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, идея, задачи и научная новизна работы, раскрыты теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, соответствие паспорту специальности, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов работы, личный вклад соискателя, данные о публикациях автора.

В первой главе приведен обзор состояния изученности рассматриваемой темы диссертационного исследования. Выполнен анализ особенностей технологии экскаваторной добычи торфяного сырья, обоснована структура комплекта технологических машин по реализации технологии добычи окускованной торфяной продукции в полевых условиях.

Показан потенциал использования радиационно-конвективного теплоподвода для интенсификации полевой сушки окускованной продукции. Выполненный обзор и анализ технологического оборудования по окускованию торфяного сырья в условиях карьера показал, что необходимо совершенствование эксплуатационно-технологических показателей мундштука шнекового прессы стилочной машины для производства окускованной продукции трубчатого типа с повышенной способностью влагоотдачи в процессе сушки. По результатам проведенного анализа обоснован выбор объекта и предмета исследования, сформулирована его цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Во второй главе выполнен параметрический анализ размеров куска, его формы и расположения на поле для сушки на основе комплекса требований к окускованной продукции.

В полевых условиях эффективная сушка окускованной продукции происходит при предельном снижении влагосодержания и внутренних напряжений в теле куска при рациональной глубине зоны

испарения в материале. По Афанасьеву А.Е. оптимальным считается условие, когда толщина куска не превышает 30–40 мм, испарение влаги при этом происходит из всего объема материала куска с позиций эффективного протекания процесса сушки и процессов структурообразования. Обоснованы параметры мундштука шнекового пресса для формования кусков в виде полого толстостенного цилиндра 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 1), что позволит увеличить число сборов готовой продукции за время сезона добычи.

Вертикальная укладка кусков на поле сушки снижает зависимость от выпадающих осадков, увеличивается площадь поверхности фигуры для конвективного теплоподвода, а площадь поверхности контакта торфяного куска с влажным основанием сокращается.

В работе определено, что вертикальное расположение куска будет удовлетворять требованиям устойчивости при условии (1)

$$\sigma_p \leq \sigma_{кр}, \quad (1)$$

где $\sigma_p = G_s/F_s$; G_s – вес куска, Н; F_s – площадь поперечного сечения, м².

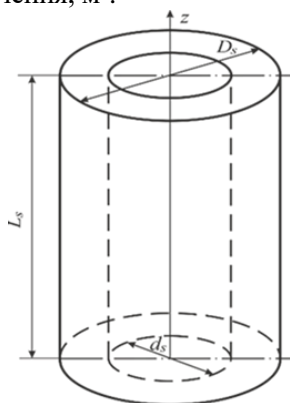


Рисунок 1 – Форма трубчатого торфяного куска

При этом критические сжимающие напряжения в сформованном торфяном куске (2)

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

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

На основе проведенного анализа конструктивного исполнения мундштуков шнековых прессов стирочных машин для производства окускованной торфяной продукции с учетом выполненного анализа форм и размеров окускованной продукции

выполнен патентный поиск и разработан патент № 195588 на полезную модель составного мундштука шнекового формователя стилочной машины (рисунок 2).

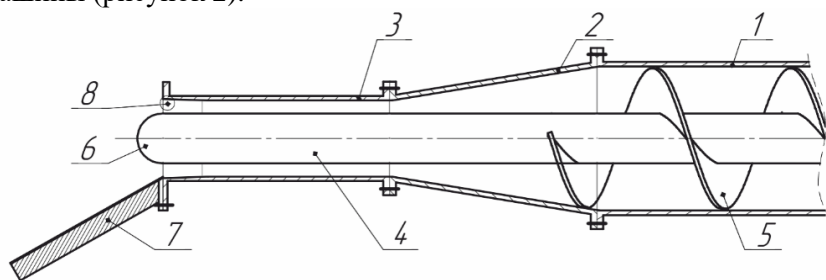


Рисунок 2 – Формующий мундштук шнекового пресса: 1 – нагнетательный корпус; 2 – корпус сжатия; 3 – калибрующий корпус; 4 – пустотообразователь; 5 – шнек; 6 – шарообразный наконечник; 7 – укладчик; 8 – обратный букель

Для обоснования геометрических параметров конструкции мундштука шнекового пресса по формированию торфяных кусков трубчатого типа, на основании выполненного выбора рациональной формы торфяного куска, а также анализа сортамента труб с целью создания конструкции мундштука шнекового пресса стилочной машины, предложены размеры, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические размеры формирующего мундштука пресса

Наименование	Размеры, м	
	диаметр	длина
Нагнетающий корпус шнека	0,309	1,60
Пустотообразователь	0,100	0,98
Конический кольцевой канал	0,309-0,180	0,49
Цилиндрический кольцевой канал	0,180	0,49

Для вертикальной укладки трубчатых кусков, предложено использовать схему расположения сдвоенных мундштуков параллельно вектору движения стилочной машины. Результирующая скорость падения куска на площадку определяется алгебраической суммой векторов переносной и относительной скоростей в зависимости от направления движения.

Оценка перерабатывающей способности пресса на стадии разработки конструктивной схемы выполнялась на основе метода, предложенного профессором Опейко Ф.А. с использованием 2-х инвариантов симметричного тензора деформаций и напряжений. Геометрия шнека (рисунок 3) обеспечивает достаточную степень уплотнения материала в мундштуке пресса, что позволяет получить компактный кусок требуемой плотности и прочности.

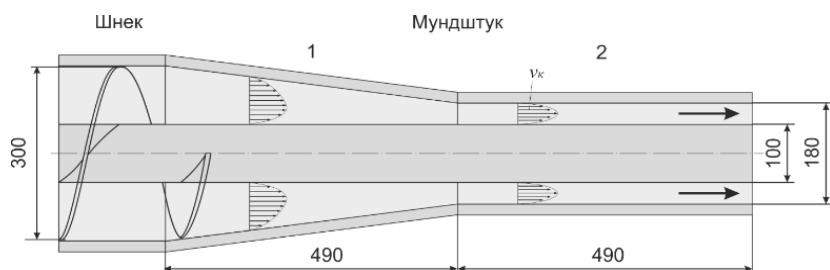


Рисунок 3 – Схема к анализу степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с распределением скоростей потока материала в коническом кольцевом канале – 1 и цилиндрическом кольцевом (коаксиальном) канале – 2

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. Труба шнека в мундштуке переходит в пустотообразователь того же диаметра.

Движение массы в коническом кольцевом канале 1 мундштука (рисунок 3) 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.

Обобщенная модель степени механической переработки торфяного сырья в шнековом прессе с учетом распределения скоростей потока материала в коническом кольцевом 1 и цилиндрическом кольцевом (коаксиальном) каналах составного мундштука шнекового пресса 2 определится как (3):

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \frac{\sqrt{2}}{2}(1 - \varepsilon)\left(\frac{\pi\omega l D_1^2}{2Q} + \frac{l_2}{D_3} + \frac{l_2}{d} + \frac{l_3}{D_3}\right) + \sqrt{6}\frac{D_2 - D_3}{D_3}. \quad (3)$$

С учетом модели степени механической переработки и проведенного 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) получены 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 4).

За счет изменения отношения шага винтовой лопасти шнека, к радиусу в зонах загрузки, транспортирования и сжатия можно изменять плотность экструдруемого материала.

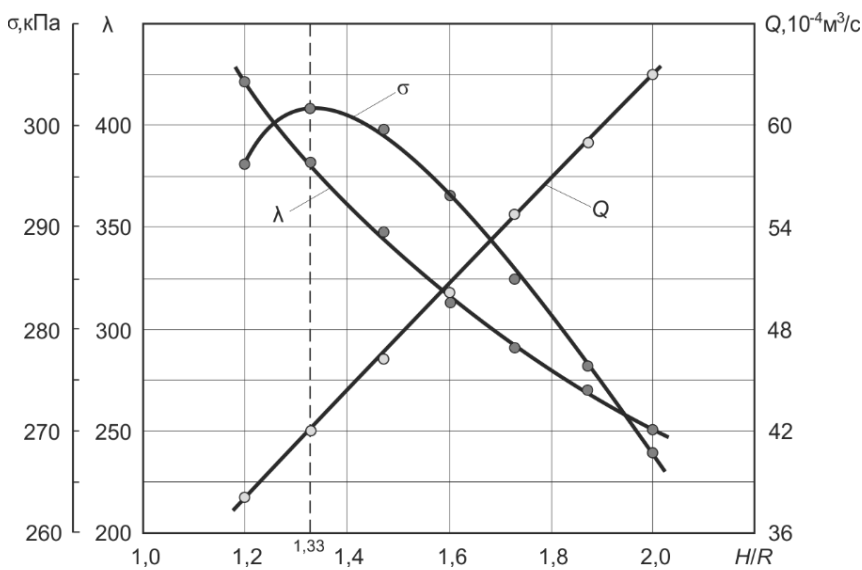


Рисунок 4 – Зависимости производительности шнека Q , степени механической переработки материала λ , давления в шнеке σ от его конструктивного параметра H/R

При оптимизации параметров шнека выявлено, что давление, развиваемое шнеком, достигает максимального значения при соотношении конструктивного параметра $H/R = 1,33$. Производительность шнекового пресса зависит от способности напорного шнека создавать необходимое давление, для преодоления сопротивления составного мундштука и зависит длины его частей.

Оптимальное давление шнека при формовании торфяного сырья соответствует диапазону 300–400 кПа. Мощность на переработку торфяного сырья в шнековом прессе с выбранными параметрами составила 13,44 кВт.

В третьей главе для подтверждения теоретических положений по форме и размерам куска приведена программа методики проведения экспериментальных исследований, проводимых в лабораторных условиях. На основе предложенных технических решений разработана и создана конструкция составного мундштука с пустотообразователем для экспериментальной установки по формованию торфяного сырья.

Разработаны методики экспериментальных исследований процесса окускования различных композиций торфяного сырья, с определением конструктивных и энергосиловых параметров шнекового пресса.

Разработана методика экспресс оценки структуры исходного торфяного сырья на основе обработки фотограмм текстуры поверхности и определения фрактальной размерности в программе Gwiddion 2.58.

В четвертой главе с целью интенсификации процесса полевой сушки торфяной окускованной продукции для эффективного применения трубчатой формы куска приведено исследование структуры смесей двух видов исходного торфяного сырья, пористости и фрактальной размерности на основе анализа фотоизображений образцов (рисунок 5) в программе Gwiddion, в результате которого 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 %:75 %.

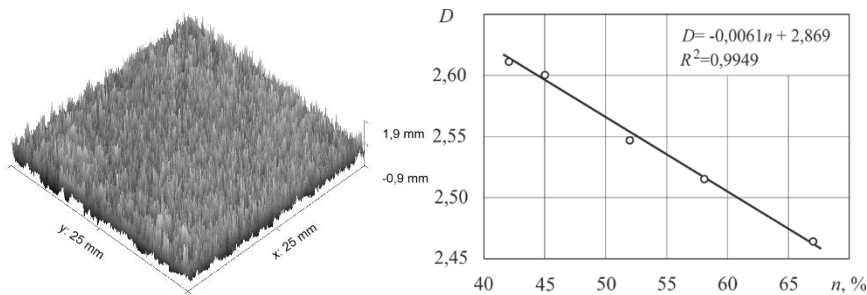


Рисунок 5 – Неровности поверхности образца (трехмерный вид) и изменение фрактальной размерности поверхности торфяного сырья от пористости композита из двух видов торфяного сырья

При исследовании предельного напряжения сдвига торфяного сырья выявлено, что для увеличения продолжительности периода постоянной сушки торфяных трубчатых кусков, рекомендовано в ходе технологических операций по подготовки торфяной массы к окускованию проводить 2-х кратную переработку торфяного сырья.

В ходе сравнительного эксперимента (рисунок б) по сушке полученных кусков в форме трубы и в форме выстилаемой ленты подтверждено снижение времени сушки на 62 %, что обосновано сокращением в 4 раза площади контакта трубчатого куска с влажным основанием, который негативно влияет на скорость сушки, увеличивая время на сушку кусков при их влагообмене с влажной поверхностью подстилающей залежью.

Влияние подвижности и пластичности торфяного сырья экспериментально определено на поршневом реометре диаметром $D_0 = 32$ мм и длиной 300 мм, установленном на статической испытательной машине Zwick/Roell Z100.

При сравнении зависимости изменения предельного напряжения сдвига τ_0 от количества измельчений торфяного сырья и зависимости изменения усилия формования от количества измельчений торфяного сырья отмечена их тесная корреляция.

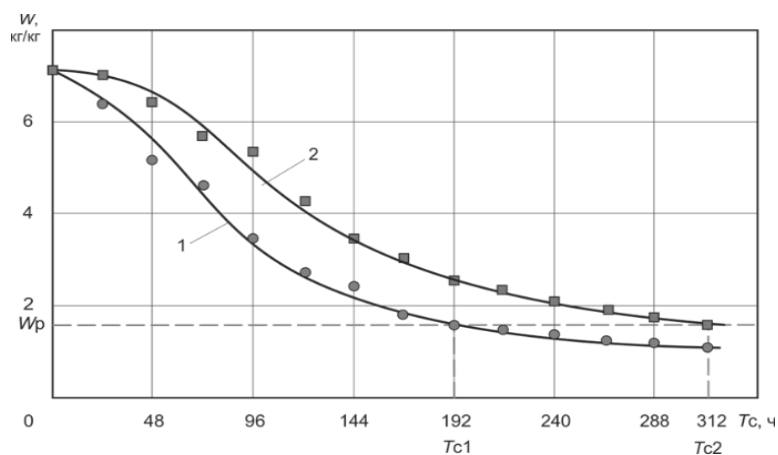


Рисунок 6 – Кривые конвективной сушки образцов кускового торфа на влажной поверхности: 1 – трубочатые куски; 2 – плоские куски

По мере интенсификации переработки, сопротивление передвижению торфяного сырья в формирующем механизме падает.

В пятой главе по результатам диссертационного исследования приведены практические рекомендации по определению технологических параметров стилочной машины: рабочей скорости движения 0,42 м/с, скорости выхода торфяного куска из мундштука пресса 0,46 м/с; расстояние укладки между кусками в ряду составляет 0,116 м.

С целью сопровождения укладки в вертикальном положении торфяных трубочатых кусков, на основе анализа формы и размеров куска, условий функционирования стилочной машины и патентного анализа, предложена конструкция (патент №201925) и рекомендуется к комплектации стилочной машины для формования торфяной окускованной продукции подпружиненный укладчик, выполненный в форме обратной брахистохроны с цилиндрическим профилем желоба.

Экспериментально подтверждена перспективность использования для сушки сеток, расположенных над поверхностью поля. Определено, что на сетках длительность сушки торфяных кусков трубочатой формы сократиться на 30 %.

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 формирования 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 $h = 0,5$ 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 (патент № 201925)

к комплектации стилочной машины для формования 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 ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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. - S9. - С. 3-15.

2. Федоров, А.С. Механическая переработка торфяного сырья при формовании 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.

3. Михайлов, А.В. Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов, 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.

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 15.02.2021). (Scopus).

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: 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 15.02.2021). (Scopus).

Патенты:

1. 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.

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.

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.