

На правах рукописи

Гармаев Оюн Жаргалович



**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ
ШНЕКОВОГО ПРЕССА ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ
ЭКСКАВИРОВАННОГО ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ В
УСЛОВИЯХ КАРЬЕРА**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

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

Санкт-Петербург – 2022

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Михайлов Александр Викторович

Официальные оппоненты:

Горячев Валентин Иванович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», кафедра «Технология и автоматизация машиностроения», профессор;

Зверев Валерий Юрьевич

кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Горная электромеханика», доцент.

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

Защита диссертации состоится 29 сентября 2022 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, ауд. №1163.

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

Автореферат разослан 29 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основной отличительной особенностью торфяных месторождений по сравнению с другими полезными ископаемыми является высокое влагосодержание. В условиях естественного залегания в торфе содержится 86-95 % воды и, следовательно, лишь 5-14 % сухой массы, в состав которой входят органические и минеральные вещества. Повышенное начальное содержание влаги увеличивает расходы энергии при транспортировании, переработке влажного сырья и при его последующей сушке. При обезвоживании торфяного сырья возникают технологические трудности, т.к. такие материалы имеют высокоразвитую поверхность, активно взаимодействующую с водой. Обезвоживание торфяного сырья обычно выполняется путем процесс полевой сушки, которой требует значительных энергетических затрат и является длительным и невыгодным с точки зрения надежности производства.

Поэтому внимание ряда авторов направлено на совершенствование первой стадии обезвоживания – различных механических методов, одним из которых является шнековое обезвоживание, с целью снижения влажности торфяного сырья и затрат на последующую сушку. Торфяное сырье верхового типа малой степени разложения, содержат большое количество слабосвязанной воды, что позволяет вести процесс обезвоживания с высокими скоростями деформации при относительно малых давлениях прессования. Анализ известных технических решений свидетельствует о трудностях создания высокопроизводительных и эффективных машин для механического обезвоживания торфяного сырья в условиях карьера. От их решения во многом зависят перспективы промышленного применения искусственного обезвоживания торфяного сырья для снижения затрат на его транспортирование

Таким образом, поставленная задача поиска интенсификации методов механического обезвоживания торфяного сырья в условиях карьера является актуальной.

Степень разработанности темы исследования

Значительный вклад в развитие теории шнекового прессования широкого ряда органоматериалов внесли такие отечественные и зарубежные ученые как: Афанасьев В.Н., Гревцев Н.В.,

Зубкова Т.М., Коротков В.Г., Опейко Ф.А., Полищук В.Ю., Силин В.А., Суворов В.И., Терентьев А.А., Фомин В.К., Цветков В.И., Черняев Н.П., Чистый И.Н., Chen Z., Bouvier Jean-Marie, Lutz D., Zhou X., Li Z., Steffe J. F., Horrobin D.J., Джексон К., Маллок Р.С., Штруб Р.А. и др.

В направлении исследования процессов механического обезвоживания торфяного сырья и созданию средств механизации посвящены работы: Амаряна Л.С., Богатова Б.А., Булышко М.Г., Булычева В.Г., Горячева В.И., Корчунова С.С., Могилевского И.И., Наумовича В.М., Солопова С.Г., Чураева Н.В. и др. Результаты многочисленных исследований показывают, что около 80 % воды, содержащейся в естественном торфяном сырье, можно удалить прессованием при давлении до 2,0 МПа. Однако в современных экономических условиях отсутствуют средства для предварительного механического обезвоживания торфяного сырья в условиях карьера. Поэтому создание оборудования для механического обезвоживания торфяного сырья в условиях комплексно-механизированного карьера требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Содержание диссертации соответствует п. 3 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования и их элементов» области исследований паспорта научной специальности 05.05.06 – Горные машины.

Цель работы. Установление закономерностей процесса механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в шнековом прессе мобильного модуля для разработки научно-обоснованного технического решения, обеспечивающего в условиях комплексно-механизированного карьера предварительное механическое обезвоживание для повышения производительности внутри-карьерного транспортирования и последующей сушки торфяного сырья и торфяной продукции.

Идея исследования заключается в оценке возможности механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в шнековом прессе мобильного модуля с учетом физико-механических параметров сырья, при этом структура модуля, конструктивные, размерно-массовые и функциональные параметры шне-

кового пресса мобильного модуля выбираются для условий предварительного обезвоживания торфяного сырья в комплексно-механизированном карьере.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы и оценить эффективность применения шнекового оборудования в смежных отраслях.

2. Провести анализ структуры и физико-механических характеристик экскавированного торфяного сырья и обосновать механическую модель процесса его деформирования при обезвоживании в шнековом прессе.

3. Провести параметрический анализ структуры шнекового пресса и обосновать форму шнека для механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья.

4. Установить основные закономерности процесса механического обезвоживания в лабораторных условиях на натуральных образцах экскавированного торфяного сырья.

5. Оценить эффективность механического обезвоживания смеси торфяного сырья с учетом геометрических параметров шнекового пресса с коническим шнеком и перфорированным экраном.

6. Разработать методику экспресс оценки структуры исходного композитного торфяного сырья перед механическим обезвоживанием.

7. Разработать практические рекомендации по результатам исследований.

Научная новизна работы:

1. Структура шнекового пресса мобильного модуля, включающая приемный бункер, шнековый пресс и выходной ленточный конвейер представлена в виде взаимосвязанных элементов механико-технологической системы обезвоживания экскавированного торфяного сырья.

2. Приведенный метод анализа с учетом постепенного уплотнения торфяного сырья в шнеке с коническим валом при постоянном шаге позволяет проводить оценку влияния параметров шнека на показатели механического обезвоживания и дает возможность про-

гнозировать процесс предварительного механического обезвоживания в условиях комплексно-механизированного карьера и разрабатывать практические рекомендации по повышению эффективности добычи торфяного сырья.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Теоретически обосновано и экспериментально установлено, что процесс механического обезвоживания усредненного торфяного сырья как упруго-вязко-пластичного капиллярно-пористого тела в шнековом прессе описывается трехзвенной реологической стандартной твердотельной моделью (тело Зинера).

2. Теоретически обосновано и экспериментально установлено, что интенсивность изменения влагосодержания торфяного сырья по длине шнекового пресса зависит от напряжения обезвоживания и определяется скоростью деформации, размерами перфорации экрана основных зон обезвоживания по длине шнека.

3. На основе проведенных исследований предложены технические решения и определены структура и параметры мобильного модуля, включающая приемный бункер, шнековый пресс и выходной ленточный конвейер, представлена в виде взаимосвязанных элементов механико-технологической системы обезвоживания экскавированного торфяного сырья.

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» в привязке к участку недр местного значения (торфяное месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491).

5. По теме работы получен патент РФ на полезную модель.

Методология и методы исследования. В ходе выполнения работы принят комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение научно-технической и патентной информации, положения теории машин и механизмов, теоретической механики, проведения экспериментальных исследований с помощью оригинального экспериментального оборудования на образцах натураль-

ного материала, использования при обработке экспериментальных данных методов математической статистики и регрессионного анализа, выполненных с помощью специального и стандартного программного обеспечения.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Обоснована структура шнекового пресса непрерывного действия для предварительного механического обезвоживания торфяного сырья, включающая конический напорный шнек длиной 1,6 м с конусностью 1:12 и постоянным шагом лопастей 0,2 м и переменным размером перфорации фильтрующего экрана вокруг шнека в зонах: уплотнения – 4 мм, фильтрации – 4 мм и отжатия – 3 мм.

2. Определено, что рациональному механическому обезвоживанию торфяного сырья в шнековом прессе соответствует вертикальное уплотнение торфяного сырья в уменьшающемся по высоте межлопастном пространстве по длине конического шнека с коэффициентом уплотнения 3 для снижения влагосодержания торфяного сырья от 9,0 кг/кг до 4,9 кг/кг при объемном соотношении компонентов торфяной смеси низкой и высокой степени разложения 50:50.

Степень достоверности результатов исследования 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. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.); Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экологии в природопользовании» (г. Тверь, 2018 г.);

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследований, разработке программы и методики лабораторных исследований, определении параметров при проектировании и реализации конструкции шнекового пресса, создании лабораторной установки, организации и проведении лабораторных исследований, в обработке данных и анализе полученных результатов.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и в систему цитирования Scopus. Получен 1 патент РФ на полезную модель.

Структура диссертации. Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 6 приложений с учетом справки о внедрении результатов диссертационной работы в производство. Материалы работы изложены на 153 страницах машинописного текста, включая 29 таблиц, 59 рисунков. Список цитируемой литературы включает 143 источника, из них 75 – 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 карьерной добычи торфяного сырья и систем внутрикарьерной переработки и транспортирования экскавированного торфяного сырья, обоснована структура комплекта технологических машин по реализации технологии.

Во второй главе проведен анализ оборудования для механического обезвоживания торфяного сырья, показывающий преимущества применения непрерывного обезвоживания на шнековом прессе в полевых условиях. Выполнен параметрический анализ размеров шнека, его формы на основе комплекса требований к предварительному обезвоживанию экскавированного торфяного сырья.

В третьей главе для подтверждения теоретических положений по выбору параметров шнекового пресса для предварительного обезвоживания экскавированного торфяного сырья приведена программа и методика проведения экспериментальных исследований в полевых и лабораторных условиях, приводится описание лабораторного оборудования.

В четвертой главе приведены результаты исследования текстуры смеси двух видов исходного торфяного сырья (высокой и низкой степени разложения) в соотношении компонентов 50:50 на основе анализа фотоизображений поверхности образцов и определения фрактальной размерности. Приведены результаты лабораторных исследований по механическому обезвоживанию экскавированного торфяного сырья.

В пятой главе по результатам диссертационного исследования приведены практические рекомендации по внедрению процесса предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в технологию карьерной добычи торфа.

Основные результаты работы отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Обоснована структура шнекового пресса непрерывного действия для предварительного механического обезвоживания торфяного сырья, включающая конический напорный шнек длиной 1,6 м с конусностью 1:12 и постоянным шагом лопастей 0,2 м и переменным размером перфорации фильтрующего экрана вокруг шнека в зонах: уплотнения – 4 мм, фильтрации – 4 мм и отжатия – 3 мм.

Выполнен анализ особенностей технологии карьерной добычи торфяного сырья и систем внутрикарьерной переработки и транспортирования экскавированного торфяного сырья, обоснована

структура комплекта технологических машин по реализации технологии (рисунок 1).

На основе анализа размерно-массовых и физико-механических параметров экскавированного торфяного сырья и анализа процессов и оборудования, применяемого для механического обезвоживания органомных видов сырья капиллярно-пористых материалов установлено, что одним из путей понижения влажности экскавированного торфяного сырья может быть его механическое обезвоживание в шнековом прессе непрерывного действия.

При экскавации торфа на всю глубину залежи происходит его первоначальное перемешивание. Тем самым происходит усреднение между грубодисперсной частью и продуктами распада, что позволяет достичь эффекта физического кондиционера в усредненной торфяной массе при механическом обезвоживании сырья, позволяя интенсифицировать процесс влагоотдачи (рисунок 2).

Механическим путем может быть удалена слабосвязанная или свободная вода. При этом энергия затрачивается на преодоление гидравлических сопротивлений движению воды в порах материала. Механическое обезвоживание требует меньших затрат энергии, чем тепловая сушка. В качестве оборудования рассматривается шнековый напорный пресс, который является перспективным в процессах обезвоживания органомных материалов. Процесс является непрерывным, управляемым и универсальным.

Показан энергетический потенциал использования механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в условиях карьера. При влагосодержании экскавированного торфяного сырья 9,0 кг/кг проведение предварительного механического обезвоживания снижает влагосодержание сырья до 4,9 кг/кг. Затраты энергии на последующую тепловую сушку до влагосодержания 1,66 кг/кг составляют 2,59 МДж/кг. Без предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья затраты энергии на последующую тепловую сушку до влагосодержания 1,66 кг/кг составляют 6,51 МДж/кг. Таким образом затраты энергии на последующую тепловую полевую сушку экскавированного торфяного сырья снижаются в 2,5 раза.

Проведенный анализ показал, что в технологию разработки торфяных месторождений карьерным способом целесообразно включить операцию предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья, что позволит снизить влагосодержание сырья примерно на 45 %. Отделившаяся вода возвращается в карьер по гибкому трубопроводу. Уменьшается требуемое время перевозки и количество транспортных средств. Сокращение количества часов работы горнотранспортных агрегатов связано со значительным сокращением объема перевозки воды. По результатам проведенного анализа обоснован выбор объекта и предмета исследования, сформулирована его цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Выполнен параметрический анализ размеров шнека, его формы на основе комплекса требований к предварительному обезвоживанию экскавированного торфяного сырья. По Горячеву В.И. рациональным считается условие, когда толщина слоя материала не превышает 30–40 мм. Обоснованы параметры конического напорного шнека длиной 1,6 м с начальным диаметром трубы 0,1 м и конечным 0,233 м, с постоянным шагом лопастей 0,2 м (рисунок 10).

После экскавации при влагосодержании около 9 кг/кг торфяное сырье представляет собой двухфазную систему и при деформации представляет собой упруго-вязкопластичное тело.

В процессе отжима при относительной деформации слоя 0,4 - 0,8 происходит уплотнение скелета твердой фазы. Для учета этого явления следует в качестве структурной основы использовать стандартную линейную твердотельную трехэлементную (E_1 ; E_2 и η) реологическую модель (рисунок 3), состоящую из последовательно соединенных упругого элемента Гука и тела Кельвина-Фойгта с переменным модулем упругости. Достаточно близкое приближение к опытным данным достигается при допущении линейной зависимости условно обобщенного модуля упругости от деформации слоя материала.

На стадии уплотнения материала в шнеке сопротивление оказывается элементами трехфазной системы. На схеме реологической модели напряжения воспринимаются упругим элементом Гука в соответствии с модулем упругости твердой фазы материала (мгновен-

ная упругая реакция). Происходит взаимное перемещение частиц твердой фазы с уплотнением и выделением воздуха из порового пространства ($\sigma_1, \varepsilon_1, E_1$). С ростом деформаций в торфяном сырье начинается движение воды в поровом пространстве с выжиманием жидкой фазы и проявляется вязкое сопротивление, отображаемое вязким элементом Ньютона ($\eta, \sigma_2, \varepsilon_2$). Отмечается медленная упругая деформация за счет узла Кельвина-Фойгта ($\sigma_2, \varepsilon_2, E_2$). При постоянной скорости приложения нагрузки давление, возникающее в жидкости, приводит к фильтрации ее через материал. С дальнейшим ростом деформаций уменьшается поровое пространство материала и при минимальной толщине фильтруемого слоя в межлопастном пространстве шнека происходит выжимание остатков жидкой фазы. Давление уплотнения падает на выходе материала из пресса.

Трехпараметрическая модель стандартного линейного тела отображает упругое последствие деформации при постоянном напряжении в материале.

Функция материала, связывающая напряжение, деформацию и их скорость для этой модели (1):

$$(E_1 + E_2)\sigma + \eta\dot{\sigma} = E_1E_2\varepsilon + E_1\eta\dot{\varepsilon}, \quad (1)$$

где σ – нагрузка, Н; E_1 – мгновенный модуль упругости, Па; E_2 – длительный модуль упругости, Па; ε – величина деформации, м; η – вязкость при сдвиге, Па·с; $\eta\dot{\varepsilon}$ – сопротивление упруговязкой деформации, Па; $\dot{\sigma} = d\sigma/dt$ – скорость напряжения, Н/с; $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt$ – скорость деформации, Па/с.

Таким образом, приведенные математические зависимости позволяют описать поведение торфяного сырья при деформировании в межлопастном пространстве шнека при нормальных напряжениях.

Кинетика непрерывного обезвоживания в шнековом прессе определяется режимом уплотнения, т.е. толщиной слоя материала, его физико-механическими свойствами и соотношением между твердой и жидкой фазами в торфяном сырье. При уплотнении в слое материала происходит упаковка частиц твердой фазы. С уменьшением объема пор торфа происходит выжимание из них жидкой фазы.

Согласно обозначению на схеме (рисунок 4) при $z = 0$, $H(z) = H_1$, и при $z = Z_1$, $H(z) = H_2$, изменение высоты межлопастного канала с координатой z может быть представлено как (2):

$$H(z) = H_1 - \frac{H_1 - H_2}{Z_1} z. \quad (2)$$

На основании модели Tadmor и Gogos получено уравнение изменения давления в клиновидном шнеке (3):

$$p_1 = \frac{6\mu v_{bz} Z_1}{H_1 H_2} \left(1 - \frac{Q}{W H_2 v_{bz}} \cdot \frac{H_1 + H_2}{H_1} \right), \quad (3)$$

где Q – расход, м³/с; v_{bz} – скорость осевая, м/с; W – ширина канала, м; μ – вязкость материала, Па · с.

Основным параметром геометрии шнека является коэффициент уплотнения, который определен следующим уравнением для шнеков с постоянной длиной (4):

$$k_y = H_1 / H_2, \quad (4)$$

На основе анализа процесса механического обезвоживания в шнековом прессе и реологии капиллярно-пористого материала разработана методика проведения экспериментальных исследований на механическое обезвоживание образцов торфяного сырья: высокой и низкой степени разложения и их смеси в соотношении компонентов - 50:50. Которая позволит определить коэффициент уплотнения материала при изменении влагосодержания с 9 кг/кг до 4,9 кг/кг (влажности с 90 % до 83 %).

В результате сравнительного анализа характеристик оборудования установлено, что механическое обезвоживание торфяного сырья в полевых условиях возможно осуществить с применением шнекового пресса при сравнительно невысоком давлении. Шнековый пресс в сравнении с другими видами оборудования конструктивно прост, обеспечивает непрерывность процесса, имеет сравнительно небольшие габариты и массу.

Разработаны методики экспериментальных исследований процесса обезвоживания композиций торфяного сырья с моделью прессовой камеры на универсальной машине Zwick/Roell Z100 (Рисунок 5). Экспериментальная установка оборудована датчиками, позволяющими с определенной точностью задавать и контролировать усилие на плунжере и его перемещение с заданной скоростью. По измеренным параметрам вычисляется давление при деформации образца, которое сопоставимо с вертикальным давлением в межлопаточном пространстве последнего витка в шнековом прессе. Определя-

ется степень влагоотдачи образца от толщины отжатого слоя материала.

Проведена заготовка образцов экскавированного торфяного сырья и его двухкомпонентное смешивание: волокнистый шейхцериево-сфагновый торф малой степени разложения ($R = 5\%$) и гумифицированный пушицевого-сфагновый торф ($R = 25\%$). Экспериментальные исследования по обезвоживанию материала в слое ставили своей задачей максимальное приближение условий проведения испытаний к процессу механического обезвоживания в шнековом прессе.

Результаты исследования текстуры смеси двух видов исходного торфяного сырья (высокой и низкой степени разложения) в соотношении компонентов 50:50 на основе анализа фотоизображений поверхности образцов (рисунок 6) в программе Gwyddion-2.51 и определения фрактальной размерности.

На основе фрактального анализа морфологии поверхность композита имеет фрактальную структуру с мультифрактальной размерностью $D=2,579$. Установлено, что между пористостью и фрактальной размерностью поверхности материала существует линейная зависимость с коэффициентом детерминации $R^2=0,9489$. Фрактальная размерность D выступает численным критерием функциональных свойств (условная удельная поверхность, пористость и др.). Полученные результаты подтверждают перспективность использования предлагаемого метода экспресс-оценки текстуры композитного торфяного сырья перед механическим обезвоживанием.

Уплотненная поверхность брикета смеси торфяного сырья при соотношении компонентов 50:50 показывает наличие торфяных волокон в качестве физического кондиционера для повышения эффективности обезвоживания (рисунок 7).

Результатом проведения экспериментальных исследований на универсальной машине Zwick Z100 является определение усилия необходимого для сжатия образца смеси торфяного сырья ($V=262500\text{ мм}^3$) в соотношении компонентов 50:50 при деформации образца в 60% (рисунок 8).

Следует полагать, что максимальное давление, полученное при экспериментальном исследовании на универсальной машине

Zwick Z100 приблизительно равно вертикальному давлению в межлопастном пространстве последнего витка шнека в прессе (5):

$$P = \frac{F}{S} = \frac{305 \text{ Н}}{0,002625} = 116 \text{ кПа}, \quad (5)$$

Для реальных условий производства можно принять давление в межлопастном пространстве шнека с учетом флуктуации физико-механических свойств торфяного сырья – 0,2 МПа.

2. Определено, что рациональному механическому обезвоживанию торфяного сырья в шнековом прессе соответствует вертикальное уплотнение торфяного сырья в уменьшающемся по высоте межлопастном пространстве по длине конического шнека с коэффициентом уплотнения 3 для снижения влагосодержания торфяного сырья от 9,0 кг/кг до 4,9 кг/кг при объемном соотношении компонентов торфяной смеси низкой и высокой степени разложения 50:50.

С учетом наличия гидростатического давления в шнеке (рисунок 9), выход воды сверху шнека почти в 1,4 раза меньше, чем снизу, что следует учитывать при проектировании перфорированного экрана шнекового пресса. С учетом этого факта, рациональным решением следует считать установку перфорированного фильтрующего экрана в нижнем секторе кожуха пресса равном 270 град.

Шнековый пресс с коническим шнеком и цилиндрической обечайкой с перфорированным фильтрующим экраном условно состоит из трех зон: зона загрузки и уплотнения материала, зона фильтрации, зона отжатия (рисунок 10).

В первой зоне усредненный материал подается на первый виток шнека, где с утолщением вала шнека происходит сдавливание порового пространства материала и первоначальное разделение твердой и жидкой фаз. За счет воздействия силового поля со стороны шнекового вала происходит упаковка частиц твердой фазы, что связано с уменьшением объема пор массы и с выжиманием жидкой фазы из них. Давление, возникающее в жидкости, приводит к ее фильтрации. Перфорация фильтрующего экрана в первой зоне составляет 4 мм.

Во второй зоне происходит дальнейшее уменьшение толщины сжимаемого слоя торфяного сырья. Поровое пространство уменьшается, что приводит к оттоку воды по фильтрующим каналам, роль

которых играют волокна торфяного сырья низкой степени разложения (физический кондиционер). Перфорация фильтрующего экрана во второй зоне составляет 4 мм.

В третьей зоне шнека остаточная вода отжимается при минимальной толщине фильтруемого слоя, так как до максимума увеличивается нормальное давление в материале при уменьшенной перфорации фильтрующего экрана – 3 мм.

Для обоснования геометрических параметров конструкции шнекового пресса по обезвоживанию торфяного сырья, на основании выполненного выбора рациональной формы предложены размеры конусного шнека пресса, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики конусного шнека пресса

Наименование параметра	Величина
Диаметр шнека, м	0,3
Начальный диаметр трубы шнека, м	0,1
Конечный диаметр трубы шнека, м	0,233
Конусность (по ГОСТ 8593 – 81)	1:12
Длина шнека, м	1,6
Шаг витков шнека, м	0,2

Перспективный мобильный модуль обезвоживания состоит из приемного бункера экскавированного торфяного сырья с решеткой для сепарации древесных включений, пресса с коническим шнеком, выдающего ленточного конвейера и системы слива отжатой воды в карьер.

На основе анализа существующего дробильно-сортировочного оборудования в качестве потенциальной основы для проектирования рассмотрена мобильная дробилка типа ДУ серии ТТ (рисунок 11) для дробления древесных отходов компании «ТОПТЕХНО» на гусеничном ходу для модернизации под мобильный модуль механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья. В рамках модернизации конструкции происходит замена дробящих валов рабочего органа на шнековый пресс со снижением общей массы машины.

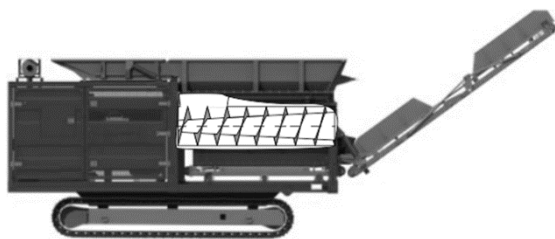


Рисунок 11 – Концепция мобильного модуля обезвоживания торфяного сырья на базе мобильной дробилки типа ДУ серии ТТ

В таблице 2 приведены технические характеристики перспективного мобильного модуля механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья.

Таблица 2 – Технические характеристики мобильного модуля механического обезвоживания

Показатели	Величина
Длина, мм	8000
Ширина, мм	2480
Высота, мм	3100
Скорость вращения шнека, мин ⁻¹	13 ÷ 20
Производительность, м ³ /ч	116
Масса, кг	10 000

Производительность мобильного модуля обезвоживания составляет $Q_{\text{мо}}=116 \text{ м}^3/\text{ч}$ при производительности экскаватора на выемке и погрузке торфяного сырья $Q_{\text{экс}}= 112 \text{ м}^3/\text{ч}$. По мере сработки торфяной залежи мобильный модуль обезвоживания сдвигается в направлении фронта работ. В качестве тягача для передвижения модуля обезвоживания, принят трактор BELARUS-1221.4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе результатов проведенных исследований изложено научно обоснованное техническое решение актуальной задачи по выбору и обоснованию конструкции и параметров шнекового пресса для предварительного механического обезвоживания торфяного сырья в условиях добычи карьерным методом. Реализация полученных результатов вносит существенный вклад в снижение затрат на внутрикарьерное транспортирование влажного

торфяного сырья и способствует сокращению сроков полевой сушки.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. В диссертационной работе на основе анализа карьерного способа разработки торфяных месторождений и новых систем внутрикарьерной переработки и транспортирования сырья (ПСС) обоснована перспективность применения процесса предварительного механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в условиях карьера без значительных энергозатрат, что позволит снизить исходное влагосодержание экскавированного торфяного сырья примерно на 45 %. При этом отжатая вода возвращается в карьер, являющийся искусственным водоемом после осуществления выемки. Анализ технологий механического обезвоживания органомного сырья показал, что шнековый пресс непрерывного действия является рациональным решением по выбору типа оборудования для механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья в условиях карьера.

2. На основе анализа физико-механических и размерно-массовых свойств торфяного сырья при экскавации предложена реологическая модель поведения торфяного сырья в шнековом прессе – стандартная линейная твердотельная трехэлементная модель.

3. В результате теоретических и экспериментальных исследований обоснована конструкция шнека с коническим исполнением вала, с конусностью 1:12. Длина шнека составляет 1,6 м и шаг шнека постоянный 0,2 м. Начальный диаметр вала шнека составляет 0,1 м с увеличением до 0,233 м, диаметр корпуса шнека постоянный – 0,3 м.

4. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований выявлена линейная зависимость с коэффициентом детерминации между пористостью и фрактальной размерностью поверхности материала $D=2,579$, позволяющая производить экспресс-оценку структуры исходного композитного торфяного сырья после экскавации перед механическим обезвоживанием.

5. На основе экспериментальных исследований механического отжатия торфяного сырья разработана и обоснована конструкция фильтрующего экрана шнека: в верхней части выполняется сплош-

ным, а в нижней части шнека перфорированным в соответствии с зонами: уплотнения – 4 мм, фильтрации – 4 мм и отжатия – 3 мм.

6. В результате теоретических и экспериментальных исследований определено, что рациональному механическому обезвоживанию торфяного сырья в шнековом прессе соответствует вертикальное уплотнение торфяного сырья в уменьшающемся по высоте межлопастном пространстве по длине конического шнека с коэффициентом уплотнения 3 для снижения влагосодержания торфяного сырья от 9,0 кг/кг до 4,9 кг/кг при соотношении компонентов макро и микроструктуры торфяного сырья (низкой и высокой степени разложения) 1:1.

7. Результаты диссертационной работы приняты к использованию при разработке «Проекта по созданию производства кипованного торфа» в привязке к участку недр местного значения (торфяное месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491) (акт внедрения от 25.03.2019).

8. В качестве перспективы дальнейшей разработки темы исследования показано, что за основу при рассмотрении конструктивных особенностей мобильных перерабатывающих модулей может быть принята мобильная дробилка типа ДУ серии ТТ компании «ТОПТЕХНО». В рамках модернизации конструкции происходит замена дробящих валов рабочего органа на шнековый пресс со снижением общей массы машины.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Михайлов, А.В. Методы интенсификации полевой сушки торфяного сырья и способы ее механизации: Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» / Михайлов, А.В. **Гармаев, О.Ж.** Северикова, Д.Д. учредитель ООО Издательский дом «Науковедение»; редакционная коллегия: В.О. Чулков (главный редактор) [и др.]. – Москва, 2017 – Выходил 6 раз в год. – ISSN 223-5167. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/73TVN317.pdf> (дата обращения: 30.08.2019).

2. Михайлов, А.В. Целесообразность применения механического обезвоживания торфяного сырья при карьерной добыче [Текст] / А.В. Михайлов, **О.Ж. Гармаев.**, А.И. Жигульская // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – №8. – С. 45-54 – Деп. в издательстве «Горная книга» 01.06.2018 № 1146/08-18, 1147/08-18, 1148/08-18.

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

3. Mikhailov, A.V. Efficiency of open cast peat mining with mechanical field dewatering / A.V. Mikhailov, **O.Z. Garmaev**, A.S. Fedorov, D.R. Garifullin // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2019. – № 7. – P. 30-41.

4. Mikhailov, A.V. Preliminary study of tubular peat extrusion [Текст] / A.V. Mikhailov, A.S. Fedorov, **O.Z. Garmaev** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2018. – Vol. 560 (1).

Публикации в прочих изданиях

5. Михайлов, А. В. Универсальная лабораторная установка по переработке торфяного сырья [Текст] / А.В. Михайлов, **О.Ж. Гармаев**, А.С. Федоров, А.В. Соколов // Инновации на транспорте и в машиностроении: Труды IV Международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург. – 2016. – С. 88-90.

6. Гармаев, О.Ж. Перфорированные листы для обезвоживания торфяного сырья [Текст] / **О.Ж. Гармаев** // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: Сборник тезисов, Секция «Круглый стол молодых ученых». Санкт-Петербург. – 2017. – С. 22.

7. Михайлов, А.В. Интенсификация процесса полевой сушки экскавированного торфяного сырья путем механического обезвоживания [Текст] / А.В. Михайлов, **О.Ж. Гармаев**, А.И. Жигульская // Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экология в природопользовании: Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции. Тверь. – 2018. – С. 322-326.

8. Гармаев О.Ж. Анализ влияния структуры торфяного сырья на эффективность механического обезвоживания [Текст] / **О.Ж. Гармаев** // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2018: Сборник тезисов, Секция «Круглый стол молодых ученых». Санкт-Петербург – 2018. – С.44.

Патенты

9. Патент РФ № 2626481, 19.04.2016. Лях Д.Д., Коконков А.А., Иванов С.Л., **Гармаев О.Ж.** Прессовое устройство формования и обезвоживания торфяного сырья // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2019110655; заявл. 09.04.2019; опубл. 14.08.2019, Бюл. № 23.



Рисунок 1 - Система внутрикарьерного механического обезвоживания и транспортирования при добыче торфяного сырья

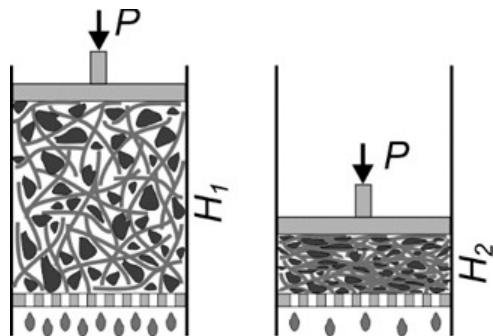


Рисунок 2 – Модель уплотнения торфяного сырья как композитного материала. Физический кондиционер сопротивляется сжатию и сохраняет пористость материала

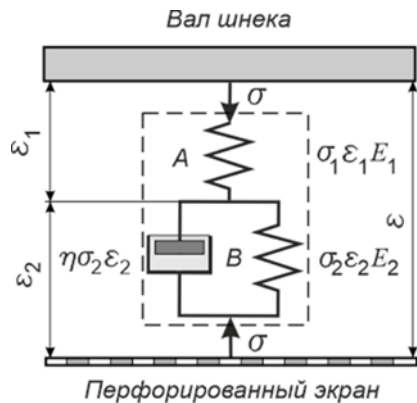


Рисунок 3 – Реологическая модель для описания поведения материала при отжатии воды в шнеке.

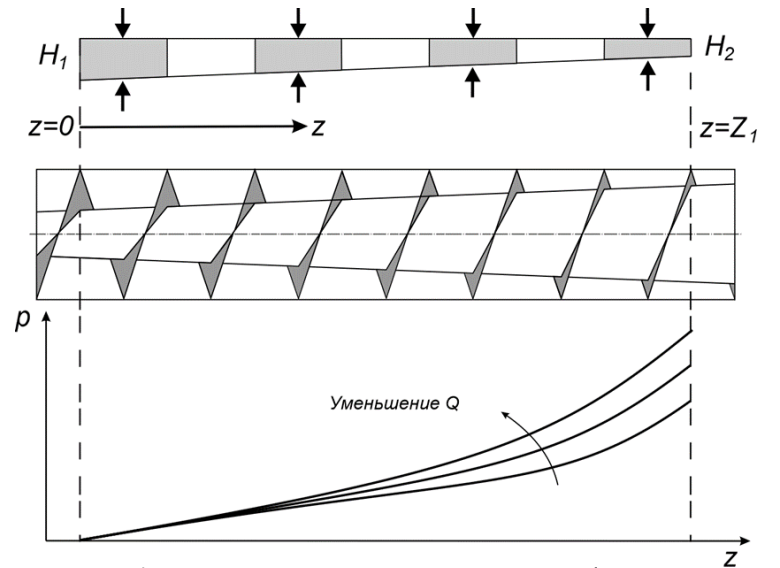


Рисунок 4 – Схема к анализу уплотнения торфяного сырья в шнековом прессе с коническим шнеком при постоянном шаге



Рисунок 5 – Общий вид лабораторной установки и рабочая камера с лотком для сбора воды

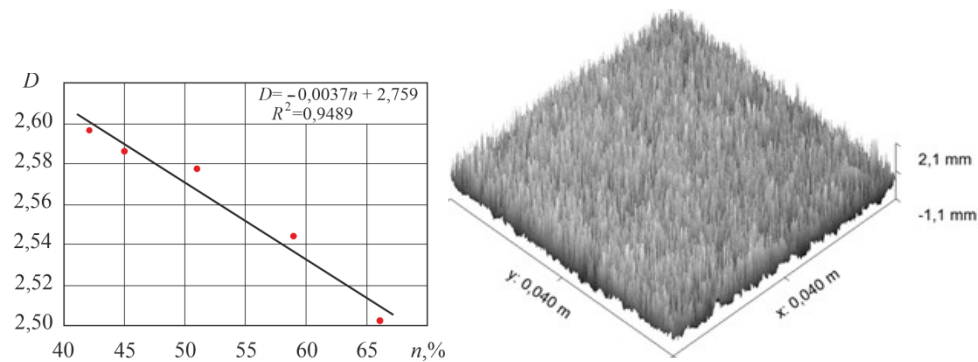


Рисунок 6 – Изменение фрактальной размерности поверхности композита из двух видов торфяного сырья 1:1 от пористости и неровности поверхности образца (трехмерный вид)

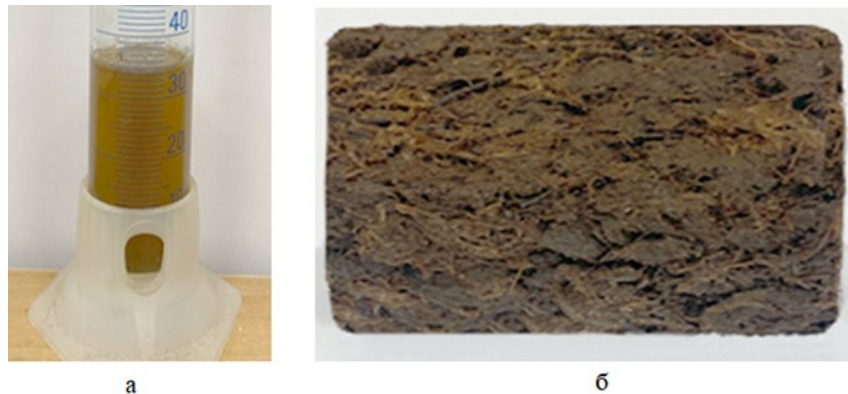


Рисунок 7 – Выход воды из образца торфяного сырья (а) при отжатии на машине Zwick Z100 и вид брикета обезвоженного торфяного сырья (б)

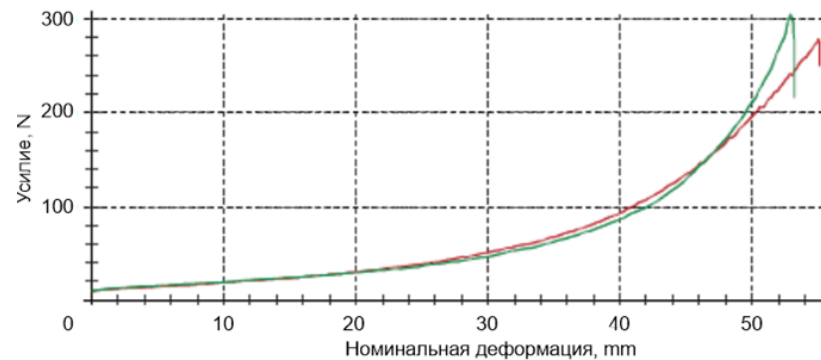


Рисунок 8 – Результаты испытаний на универсальной машине Zwick Z100

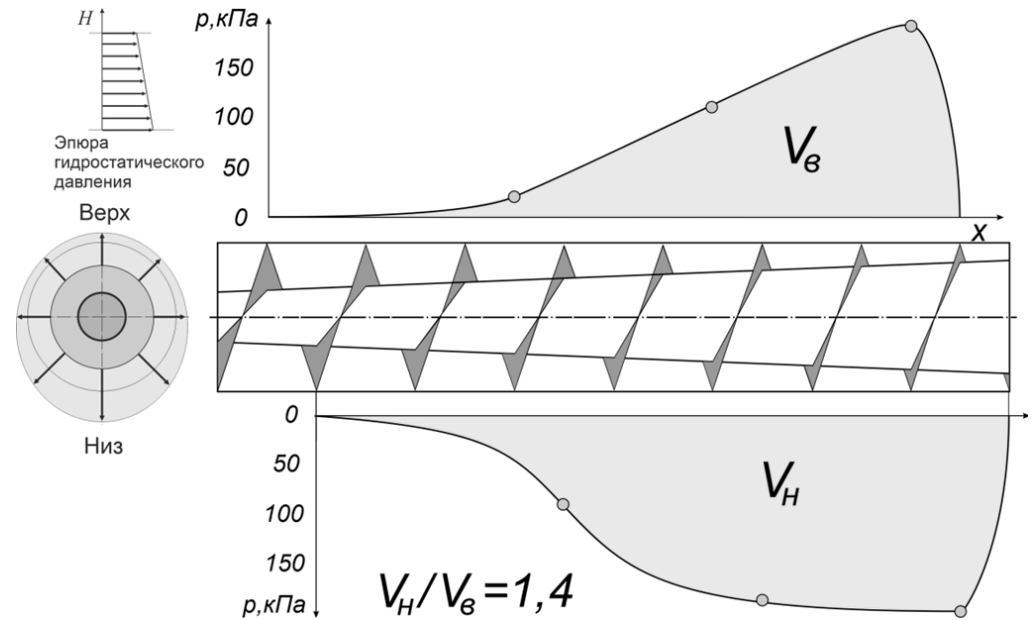


Рисунок 9 – Эюра гидростатического давления в шнеке и выход воды через перфорированный экран шнека: V_B – выход воды сверху; V_H – выход воды снизу

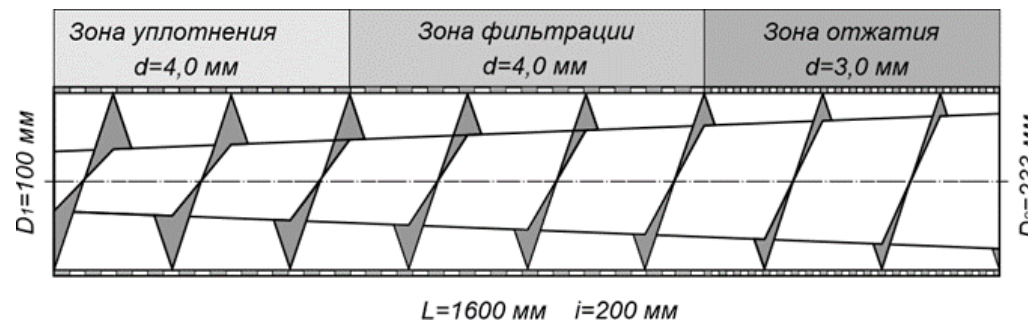


Рисунок 10 – Зоны обезвоживания шнекового пресса с перфорированным экраном