

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет» (ТвГТУ)

На правах рукописи

Гусева Анна Михайловна

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ
РАБОТЫ ШНЕКОВОГО ПРЕССА ФРЕЗФОРМОВОЧНОЙ МАШИНЫ
ДЛЯ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА

Специальность 05.05.06 «Горные машины»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель – д.т.н., доцент Яблонев Александр Львович

Тверь – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ | 11 |
| 1.1. Основы технологии производства кускового торфа методом щелевого фрезерования | 11 |
| 1.2. Существующие конструкции машин для щелевого фрезерования | 19 |
| 1.3. Анализ технического уровня конструкций отечественных и зарубежных фрезформовочных машин | 38 |
| 1.4. Существующие результаты исследований по вопросу производства кускового торфа фрезформовочным методом | 40 |
| 1.5. Цель и задачи исследования | 58 |
| 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СЫРЬЮ, ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ И ПАРАМЕТРАМ ШНЕКОВОГО ПРЕССА | 60 |
| 2.1. Требования к исходному сырью | 60 |
| 2.2. Требования к готовой продукции | 65 |
| 2.3. Конструкции шнековых прессов и их рабочие органы | 67 |
| 2.4. Выводы по главе 2 | 78 |
| 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО ПРЕССА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ КУСКОВОГО ТОРФА | 80 |
| 3.1. Задачи экспериментального исследования | 80 |
| 3.2. Описание опытной лабораторной установки, методика проведения исследований | 80 |
| 3.3. Оценка результатов расчета энергоемкости производства кускового торфа | 87 |
| 3.4. Оценка плотности формованной торфяной продукции | 93 |
| 3.5. Определение прочности кускового торфа | 97 |

| | |
|--|-----|
| 3.6. О корреляционной связи плотности и прочности кускового торфа на изгиб | 105 |
| 3.7. Полный факторный эксперимент по определению зависимости энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека | 109 |
| 3.8. Выводы по главе 3 | 119 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 122 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 124 |
| Приложение А | 138 |
| Приложение Б | 140 |
| Приложение В | 142 |
| Приложение Г | 144 |
| Приложение Д | 145 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Запасы торфа в России превышают энергетический потенциал отечественных запасов нефти и газа вместе взятых, и составляют более 175,6 млрд. тонн в 60-ти субъектах Федерации, что составляет 47 % мировых запасов торфа [1]. В настоящее время в мире разрабатывается 0,05 % от общей площади торфяных месторождений, 51 % из которых используются для производства тепла и электроэнергии, остальные – для нужд сельского хозяйства [2]. Большая часть торфа добывается в Финляндии, Ирландии, Германии и Беларуси. Добыча торфа на топливо в этих странах необходима, прежде всего, для обеспечения автономности и независимости, поддержания климата, а также организации рабочих мест в отдаленных районах. Поскольку в зарубежной практике активно используются небольшие энергетические станции на торфяном топливе мощностью от 2 до 10 МВт, то существует и тенденция роста добычи и потребления торфа. В России же в этом вопросе наблюдается некоторая стагнация [3], хотя Россия занимает лидирующее место в мире по запасам торфа. Торф, являясь возобновляемым источником энергии, имеет постоянный прирост, превышающий сегодняшнюю среднегодовую добычу, что открывает колоссальные перспективы для развития этого направления. Активное использование углеводородного топлива, к сожалению, не может решить вопрос энергетической автономности и безопасности негазифицированных районов. Здесь на арену выходят привозные уголь и жидкое углеводородное топливо (мазут), которые, с одной стороны являются дорогими, а с другой – требуют определенных условий для соблюдения требований экологической логистики и утилизации тары. Эти виды топлива не могут удовлетворить потребность населения и для использования в быту, в частности в простом приготовлении пищи, загоняя людей, особенно в труднодоступных районах, в рамки экономии привозного топлива.

Для обеспечения энергетической безопасности, диверсификации источников энергии и улучшения экологии разработкой и использованием торфа активно занимается Беларусь [3].

Проведенные в странах Скандинавии исследования показывают, что с точки зрения экологии, торф предпочтительнее угля, а по сравнению с природным газом торф, при сжигании выделяя меньше углекислого газа, образует золу, которая с успехом может использоваться в качестве удобрения в растениеводстве. Таким образом может быть решена задача утилизации продуктов горения [3].

Торф становится нерентабельным топливом в случае организации его доставки на дальние расстояния. Это говорит о перспективах его использования именно в качестве местного источника энергии.

Еще одним важным аспектом возрождения и развития торфодобычи в России является занятость. Наличие торфоразработок обеспечит местное население рабочими местами и развитием социально-культурного сектора.

Комплексное использование торфяных ресурсов для энергетики и сельского хозяйства позволит повысить плодородие истощенных почв на основе торфонавозных компостов, что с одной стороны работает как утилизация отходов, а с другой – повышает качество сельхозугодий [4].

По оценкам специалистов [5] в ближайшее десятилетие торфодобывающие предприятия станут частью интегрированных холдингов, ориентированных на получение конечного продукта: тепла, энергии, композиционных материалов и т.п., увеличится доля небольших компаний в торфодобыче, произойдет включение торфа в структуру альтернативной биоэнергетики, а также будет возрастать доля торфяной продукции, ориентированной на небольшие группы потребителей.

Использование торфа в энергетике негазифицированных зон обеспечит повышение энергетической безопасности и независимости районов, рациональное природопользование и охрану окружающей среды за счет

разумной добычи местного топлива, решит вопрос экономической замены дальнепривозных мазута и углей, а также сверхлимитного газа.

Кусковой торф – безопасное топливо для его перевозки любым видом транспорта, имеющее теплотворную способность 3 200 Ккал/кг при влаге 33 %. Наибольшее распространение как в России, так и за рубежом получил фрезформовочный метод добычи кускового торфа, основанный на щелевом фрезеровании торфяной залежи навесной, полунавесной или прицепной машиной на глубину до 550 мм, формование торфа шнековым прессом и выстилку куска на картовое поле через многопоточный мундштук в виде цилиндров или волнистого расстила для последующей естественной сушки. Щелевое фрезерование и формование – самые энергоемкие операции (около 50 % эксплуатационных расходов и около 25 % от общей себестоимости продукта) во всем технологическом цикле производства торфа фрезформовочным методом.

В связи с изложенным, а также учитывая, что в настоящее время в России ведутся работы над проектированием различных модификаций фрезформовочных машин, представляется актуальным данное исследование, направленное на изыскание путей снижения энергоемкости диспергирования и формования торфа без потери куском прочностной характеристики как на стадии проектирования машин, так и в процессе их работы в полевых условиях.

Степень научной разработанности темы исследования. Вопросами изучения производства качественного кускового торфа занимались Солопов С.Г., Опейко Ф.А., Семенский Е.П., Корчунов С.С., Чураев Н.В., Копенкин В.Д., Лиштван И.И., Воронков Б.Б., Суворов В.И., Афанасьев А.Е., Евсеев В.Н., Кужман Г.И., Шамбер О.В., Гамаюнов С.Н., Цветков В.И., Фомин В.К., Михайлов А.В., Зюзин Б.Ф. и др. Большая часть этих исследований была направлена на повышение качества кускового торфа за счет нахождения оптимальных значений влаги, дисперсности, вида и типа исходного сырья, интенсификации процессов сушки куска методами оптимальной ворожки и

принудительного обдува фигур сушки. Однако вопросы повышения качества кускового торфа за счет обоснованной модернизации и поиска рациональных параметров и режимов работы формующего оборудования остаются недостаточно изученными. Кроме того, отсутствуют исследования, касающиеся оценки влияния параметров и режимов работы фрезформовочных машин на качество продукции не в момент выстилки кускового торфа на поля сушки, а в момент уборки, когда кусок набирает кондиционную влагу.

Целью работы является обоснование рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа, приводящее к снижению энергоемкости процесса диспергирования и формования при сохранении куском требуемых показателей плотности и прочности.

Идея работы заключается в нахождении рациональных соотношений внутреннего диаметра мундштука и напорной трубы, скорости вращения и шага витков шнека фрезформовочной машины при производстве кускового торфа по критериям требуемой плотности и прочности, определяемым после сушки в момент достижения куском кондиционной влаги.

Задачи исследования:

- анализ современного состояния и перспектив развития фрезформовочных машин для добычи кускового торфа;
- анализ, систематизация и обоснование требований к сырью, конструкции формующего агрегата и готовой продукции при добыче кускового торфа;
- установление закономерностей изменения энергоемкости формования торфа в зависимости от: соотношения внутренних диаметров мундштука и напорной трубы, скорости вращения и шага витков шнека на стадии добычи кускового торфа при естественной влаге;
- оценка плотности кускового торфа в зависимости от режимов его производства фрезформовочной машиной на стадии кондиционной влаги;

- разработка конструкции и методики оценки показателя прочности кускового торфа на стадии кондиционной влаги;
- установление рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса при производстве кускового торфа по критериям показателей плотности и прочности;
- разработка математических моделей зависимости энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека при работе агрегата в рациональном режиме.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Аналитические зависимости, устанавливающие характер изменения напора, создаваемого шнеком формующего агрегата от конструкции и расположения формующих мундштуков.
2. Закономерности изменения энергоемкости формования торфа в зависимости от: диаметра формующего мундштука, соотношения внутренних диаметров мундштука и напорной трубы, скорости вращения и шага витков шнека на стадии производства кускового торфа.
3. Обоснование выбора рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса при производстве кускового торфа по критериям требуемой плотности и прочности, определяемым после сушки в момент достижения куском кондиционной влаги.
4. Математические модели, описывающие зависимость энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека, полученные методом планирования эксперимента.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: теоретическими и экспериментальными исследованиями с использованием математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, теоретической и прикладной механики; адекватностью математических моделей процессу функционирования горных машин, достаточным объемом экспериментальных данных, полученных с

доверительной вероятностью не менее 0,9 при величине относительной ошибки не более 0,1.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– установлены зависимости энергоемкости формирования кускового торфа на стадии производства фрезформовочной машиной от частоты вращения и шага витков шнека, соотношения внутренних диаметров формирующего мундштука и напорной трубы;

– установлены зависимости плотности и прочности на изгиб кускового торфа на стадии кондиционной влаги от коэффициента напора, частоты вращения и шага витков шнека;

– установлена корреляционная связь плотности и прочности на изгиб кускового торфа;

– разработаны математические модели зависимости энергоемкости формирования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека при работе агрегата в рациональном режиме.

Научное значение работы заключается в разработке комплексного метода оценки и снижения энергоемкости формирования торфа при условии достижения требуемых показателей плотности и прочности куска как на стадии проектирования фрезформовочных машин, так и на стадии их работы в полевых условиях.

Практическое значение работы заключается в:

– разработке методики оценки энергоемкости формирования кускового торфа в зависимости от частоты вращения и шага витков шнека, соотношения диаметров формирующего мундштука и напорной трубы;

– разработке методики для определения прочности на изгиб формованной торфяной продукции;

– разработке методики обоснования рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа;

– разработке методики управления качеством кускового торфа на стадии производства при приведении параметров и режимов работы фрезформовочной машины к рациональным.

Реализация результатов диссертационной работы. Методика оценки энергоемкости формования кускового торфа в зависимости от коэффициента напора, частоты вращения и шага витков шнека, устройство и методика для определения прочности на изгиб формованной торфяной продукции внедрены и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО ТвГТУ при подготовке студентов специальности 21.05.04. «Горное дело». Методика обоснования рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа и методика управления качеством кускового торфа на стадии производства при приведении параметров и режимов работы фрезформовочной машины к рациональным внедрены и используются ООО «Гринмаш» при проектировании и разработке рекомендаций по использованию фрезформовочных машин. Устройство для создания и измерения разрушающей нагрузки защищено патентом РФ № 2696070.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Основы технологии производства кускового торфа методом щелевого фрезерования

Добыча кускового торфа осуществляется двумя методами: фрезформовочным и методом стилки. Фрезформовочный основан на применении навесной, прицепной или полунавесной машины, которая осуществляет щелевое фрезерование торфяной залежи на глубину до 550 мм, формирование торфомассы шнековым прессом и выстилку куска на картовое поле через многопоточный мундштук в виде цилиндров или волнистого расстила (рисунок 1.1). Благодаря частичному разрыву контакта с поверхностью карты, нарушающему капиллярную связь с залежью, сформованный торф лучше и интенсивнее сохнет. Щелевое фрезерование и формирование – самые энергоемкие операции (около 50 % эксплуатационных расходов и около 25 % от общей себестоимости продукта) во всем технологическом цикле производства торфа фрезформовочным методом. Производительность фрезформовочных машин достигает 40 м³/ч [6].



Рисунок 1.1 – Фрезформовочные машины

Добыча кускового торфа фрезформовочными машинами наиболее рациональна и востребована на верховых торфяных залежах степенью

разложения более 15 % и пнистостью менее 1,5%. Необходимо отметить, что реализация добычи происходит как на новых, так и на полях в прошлом используемых для добычи фрезерного торфа для различных нужд. Перед началом эксплуатации полей, они должны быть качественно прокорчёваны, удалены пни и щепа, так как при их попадании в шнековый пресс снижается производительность машины и существенно ухудшается качество готового продукта. Оптимальная эксплуатационная влага залежи по результатам многочисленных исследований составляет 82–84 % [6].

Метод стилки реализуется путем использования стилочной машины, в которую сырой торф загружается экскаватором. В кузове такой машины может устанавливаться смеситель для дополнительного перемешивания и диспергирования торфа. Формование куска может происходить, как и в предыдущем методе, шнековым прессом через многопоточный мундштук. Существенное отличие заключается в том, что выстилание готовых кусков может происходить не в месте загрузки шнекового пресса, а на сухих картах, куда торф доставляется в кузове стилочной машины, что способствует интенсификации сушки.

Высланный на поверхность карты кусковой торф, в обоих способах, подвергается естественной сушке и ворочке, которую производят особенно тщательно и бережно, чтобы не повредить еще не окрепший кусок при достижении им влаги 70–75 %. При достижении влаги 60–65 % кусок собирают в валки, где процесс сушки продолжается, а при достижении им влаги 50–55 % производят переукладку валков на новое место. Впоследствии кусковой торф убирают погрузчиком, вывозят и складывают в штабели [6].

Конструктивно фрезформовочные машины состоят из устройства для экскавации торфомассы из залежи, пресс-формователя шнекового типа и одно- или многопоточных мундштуков. Эти машины выполняют следующие операции технологического цикла: экскавацию торфа из залежи, его механическую переработку, формование методом экструзии и стилку на картовые поля. В России и за рубежом известны различные

фрезформовочные машины, которые отличаются конструкцией экскавирующего устройства, вариантом сцепки с тягачом (трактором) и типом стилки сформованной торфомассы.

Экскавирующие устройства могут быть выполнены в виде цепного бара, винтовой фрезы или дисковой фрезы с ножами.

По компоновочному решению фрезформовочные машины могут быть прицепными, полунавесными и навесными.

Фрезформовочные машины выстилают кусковой торф внаброс, волнистыми или прямыми линиями.

В случае стилки волнистыми линиями скорость выхода кускового торфа противоположна скорости движения машины по направлению и больше по величине в 1,5–2 раза. 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 [6]. В случае стилки прямыми лентами скорости движения машины и выхода торфомассы равны по модулю. Допустимо несовпадение скорости по величине, но не более чем на 10 % [7–9]. Чем меньше разница величин несовпадения, тем качественней происходит укладка кускового торфа лентами и меньше дефектов в образованной структуре. В случае стилки внаброс мундштук устанавливается на высоту, составляющую 1,5–2 средней длины куска над поверхностью стилки. Скорость выхода сформованного торфа превышает скорость движения машины в 2 раза. Такой расстил хорошо сохнет, не препятствует прохождению через себя осадков и имеет незначительную площадь контакта с подстилающей поверхностью. Но при этом, из-за изгиба и удара о подстилающую поверхность при падении, за счет достаточно большой высоты установки мундштуков, происходит отламывание отдельных кусков сформованной торфомассы, в результате чего в готовой продукции содержится много мелочи.

При установке дисковых фрез происходит экскавация торфяной залежи методом щелевого фрезерования, после чего торфомасса подается в перерабатывающий механизм фрезформовочной машины [7, 10, 11].

Дисковая фреза (рисунок 1.2) выполнена в виде стального диска, по наружной окружности которого установлены держатели с ножами. В случае поломки или износа ножи легко заменяются, так как являются легкоъемными. По конструкции ножи могут быть различными, но наиболее часто применяются прямоугольные и тарельчатые. Имея двустороннюю заточку, прямоугольные ножи при износе переворачиваются. У тарельчатых ножей режущая кромка круглая, что приводит к износу по дуге 120° , что позволяет в эксплуатации поворачивать нож трижды. Кожух фрезы выполняет функцию отбойного устройства, нижним концом соприкасаясь с поверхностью залежи [7, 9, 10].

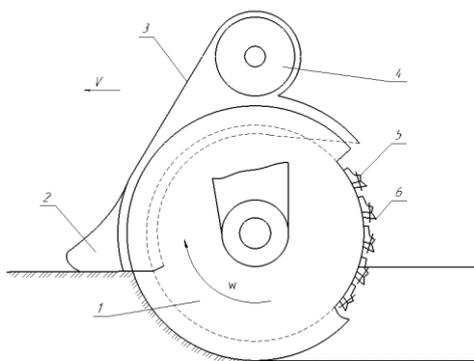


Рисунок 1.2 – Схема дисковой фрезы: 1 – диск; 2 – отбойная плита;
3 – кожух; 4 – шнек; 5 – держатель ножей; 6 – ножи

Установка фрез на фрезформовочных машинах производится с наклоном до $15\text{--}20^\circ$, который позволяет обеспечить сжатие стенок щелей, происходящее за счет задавливания их ходовыми устройствами тракторов и катками технологических машин при последующих проходах [7]. В результате, необходимая для продолжения работы машин на данном участке несущая способность залежи повышается.

Для глубокой щелевой экскавации торфяной залежи используются винтовые фрезы. Они обеспечивают качественное перемешивание торфа, поэтому их целесообразно применять на верховых залежах со слаборазложившимся верхним слоем. Винтовая фреза представляет собой цилиндр с установленными по спирали съемными ленточными ножами. Фрезы бывают с постоянным диаметром и с утолщением в нижней части, одновальными и двухвальными (рисунок 1.3). Ножи фрезы выполняют операции резания и транспортирования торфомассы снизу вверх в приемное устройство перерабатывающего механизма. Двухопорная фреза монтируется в сварном корпусе и получает вращения от редуктора, установленного сверху. Нижняя опора нижней съемной части вала фрезы смонтирована на корпусе [7, 12].

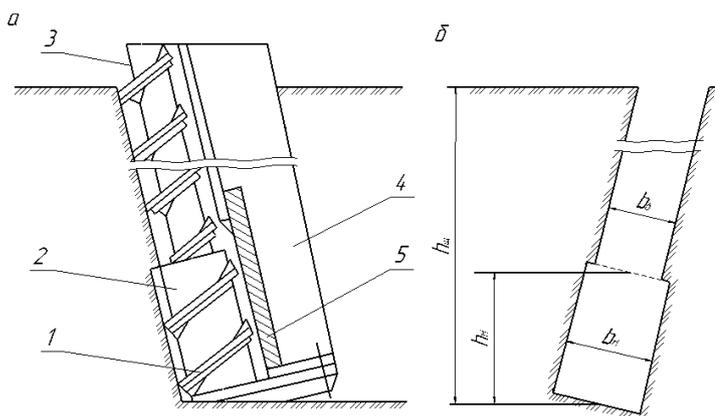


Рисунок 1.3 – Схема винтовой фрезы (а) и сечение щели (б): 1 – спиральные ленточные ножи; 2 – нижняя часть вала фрезы; 3 – верхняя часть вала фрезы; 4 – корпус; 5 – кожух; h_n – глубина нижней широкой части щели; $h_{щ}$ – общая глубина щели; $b_в$ – ширина верхней части щели; b_n – ширина нижней части щели

Винтовые фрезы также устанавливаются под наклоном до 15° в продольной плоскости для лучшей переработки древесных включений и возможности сжатия щели при последующих проходах машин [7, 10].

После экскавации из залежи торф поступает на переработку и формование. Обычно на фрезформовочные машины устанавливают шнековые прессы (рисунок 1.4), которые состоят из цилиндрического корпуса с размещенным внутри шнеком. Шнековый пресс кинематически связан с экскавирующим органом и имеет производительность, обеспечивающую полную переработку торфа, подающегося от фрезы или цепного барабана. С одной стороны пресса находится загрузочное устройство, а с другой устанавливаются мундштуки.

По длине шнековый пресс условно можно разделить на загрузочную, напорную и формующую части. В торце формующей части предусмотрен специальный объем для улавливания посторонних предметов с люком для чистки [7–9].

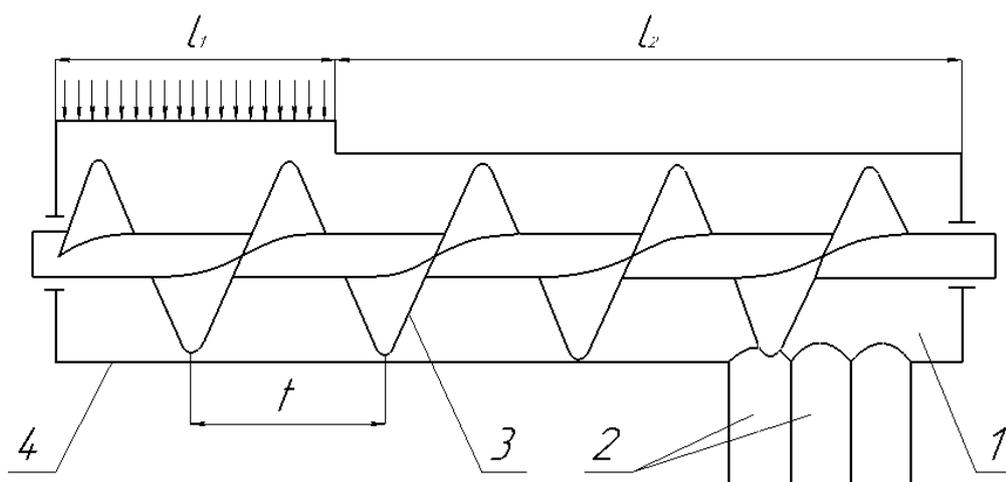


Рисунок 1.4 – Схема шнекового прессы: 1 – камера для улавливания посторонних предметов; 2 – мундштук; 3 – шнек; 4 – корпус; l_1 – длина загрузочной части шнека; l_2 – длина напорной части шнека; t – шаг винтовой линии шнека

Фрезформовочный метод добычи кускового торфа требует высокоэффективных перерабатывающе-формующих устройств, позволяющих доводить торф до пластичного состояния и создавать

необходимое давление (напор) при проталкивании его через мундштуки, имеющие радиальное или осевое расположение.

Шнековые формователи с радиальным расположением мундштуков обеспечивают простоту конструкции, но такое расположение ведет к неравномерной скорости выхода торфа из мундштуков, их забиванию, и, как следствие, к неравномерной плотности куска [7, 8, 12].

На машинах типа МБТ Института торфа АН БССР устанавливаются шнековые формователи с осевым расположением мундштуков. Их недостатком является достаточно сложная конструкция, так как каждый мундштук имел свой питающий шнек (в конструкции их было 4 или 6), и кроме того, шнеки должны были иметь переменный шаг. Такой шнек безусловно обеспечивал равномерное распределение торфа по формователям, но происходило удорожание производимой машины.

Существуют и другие конструкции прессов, активно применяемые в машиностроении: пластинчатые (шиберные) прессы (рисунок 1.5) и шнековые прессы с переменным шагом винтовой линии или сечением.

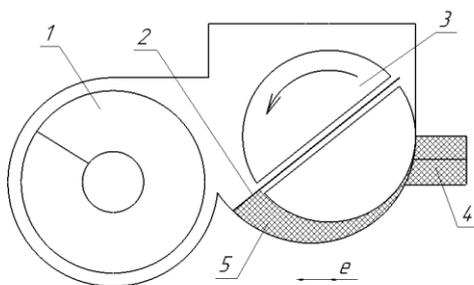


Рисунок 1.5 – Схема пластинчатого (шиберного) пресса: 1 – загрузочный шнек; 2 – пластина; 3 – ротор; 4 – мундштук; 5 – зона уплотнения торфа; e – эксцентриситет ротора.

Шиберный формователь (установлен на машине МТК-15) работает по принципу пластинчатого насоса. Как диспергаторы, такие формователи недостаточно эффективны, но хорошо работают, как нагнетатели. Шиберные прессы просты в эксплуатации, высокопроизводительны, но чувствительны к

попаданию посторонних предметов и имеют порционную подачу торфомассы в мундштуки [7–9, 12].

В экспериментальном машиностроении используют, например, торовые формователи, представляющие собой набор дисков с лопатками, которые при вращении перемещаются по кольцевому каналу – тору и толкают перед собой определенный объем торфомассы, захваченной лопатками при прохождении загрузочной зоны. При выходе из кольцевого канала сформованный торф падает на поверхность поля сушки в виде кусков цилиндрической формы с длиной, равной расстоянию между лопатками. Как вариант, такой формователь возможно установить на машину МБТ-600. Достоинствами такого типа формователей являются высокое качество формования, постоянство формы и размеров кусков и небольшая энергоемкость формования. Недостатками являются сложность конструкции и чувствительность к попаданию посторонних предметов [7].

При работе фрезформовочных машин скорость выхода сформованной торфомассы зависит от многих факторов: глубины фрезерования, скорости передвижения машины, состояния ножей на фрезе, их комплектности и др. Несогласованность скорости выхода кусков из мундштуков и поступательной скорости машины приводит к деформации и разрушению сформованных кусков. Для устранения несогласованности скоростей мундштуки приподнимают над поверхностью поля стилки. В таком случае куски отламываются от торфяной ленты под действием собственного веса, и выстилаются на поверхности залежи. Для регулировки высоты сбрасывания кусков (как правило, она не должна превышать 0,3 м) к мундштукам крепят специальные лотки. А для снижения коэффициента трения между торфом и мундштуками на мундштуки надевают эластичные резиновые наконечники, которые увеличивают время упругого расширения торфа после формования и уменьшают величину этого расширения [7].

Фрезформовочный метод добычи торфа предполагает формование кусков различного сечения. Так как процесс отламывания ленты происходит

произвольно, длина кусков не устанавливается, обычно она составляет 1,5–2 линейного размера поперечного сечения (ширины или диаметра) [7–9, 13].

1.2. Существующие конструкции фрезформовочных машин

Частным случаем фрезформовочного является послойный метод добычи кускового торфа, разработанный Московским торфяным институтом. Он был спроектирован для решения проблемы добычи торфа пониженной влаги. Для реализации данного метода добычи создана прицепная к трактору ДТ-75 машина МПДК (рисунок 1.6) [8, 14].

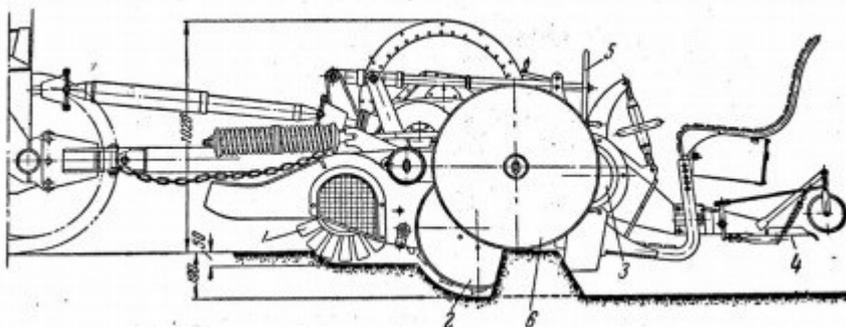


Рисунок 1.6 – Машина послойной добычи кускового торфа МПДК
(вид сбоку)

Машина МПДК состоит из следующих узлов: вспомогательной фрезы 1, которая снимает верхний подсохший слой экскавируемой залежи на глубину 50 мм и отбрасывает его в сторону на место выстилки вырабатываемого машиной торфа; рабочей фрезы 2 с шириной захвата 420 мм, которая фрезерует залежь на глубину до 140 мм и забрасывает сфрезерованный торф в пресс; пресса 3, состоящего из трубы и находящегося в ней напорного шнека с переменным шагом и добавочного устройства для повышения интенсивности переработки; укладчика торфа 4, активного для большого куска и пассивного для малого (в первом случае кусок укладывается в фигуры, напоминающие змейки, а во втором – в валок

(рисунок 1.7); системы пружинно-винтовых механизмов 5 для подъема и опускания вспомогательной и рабочей фрез и прицепа в сборе; двух катков 6 для передвижения машины, из которых один может быть заменен гусеницей (рисунок 1.8)



Рисунок 1.7 – Машина МПДК в работе

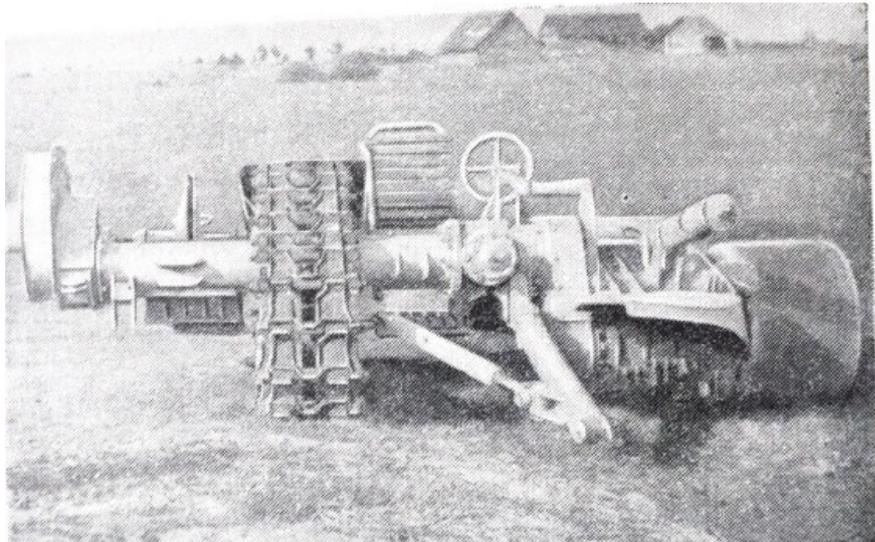


Рисунок 1.8 – Машина МПДК с гусеницей взамен одного катка

Привод рабочего органа осуществляется через карданно-телескопический вал от вала отбора мощности трактора, который укомплектован ходоуменьшителем [8, 14].

Машина обслуживается двумя рабочими: трактористом и оператором машины. Последний контролирует работу агрегата и регулирует величину заглубления фрез.

В машине МПДК процесс переработки торфа обеспечивается предварительным тонким измельчением фрезой экскавируемого слоя, и последующим уплотнением и формованием измельченного торфа в шнековом торфяном прессе. Изучение такого способа переработки показало, что чем большему измельчению подвергается торф перед формованием, тем меньше общая затрата энергии на переработку торфа [14]. Машина МПДК, производя экскавацию и переработку торфа, вместе с тем выстилала торф и укладывала его в простейшие фигуры сушки. Данная технология добычи имела неоспоримые преимущества перед методом стилки: сокращение сроков сушки (поскольку влага исходного сырья была меньше), совмещение операций экскавации, переработки, формования и выстилки кусков на поле в одном агрегате [8]. Однако эта технология имела ряд существенных недостатков, основным из которых являлась сложность конструкции. Для устранения недостатков был разработан новый способ добычи кускового торфа методом щелевого фрезерования [8], предполагающий создание и нового парка технологических машин.

Работы по созданию нового для того времени поколения машин велись в Калининском филиале ВНИИТП [15] в Институте торфа АН БССР [16, 17], где выполнены глубокие теоретические и экспериментальные исследования процесса щелевого фрезерования и формования [18].

В Калининском филиале ВНИИТП разработана машина ДПК-5 для добычи кускового торфа для бытовых нужд, прицепная к трактору ДТ-75, осуществляющая щелевое фрезерование наклонной дисковой фрезой и формование торфа при помощи шнека. Формующий аппарат машины имел

съемный кожух шнека, выполненный в двух вариантах: по принципу шнека с выходом сформованного торфа через мундштуки, радиально установленные в одну линию на задней части кожуха (рисунок 1.9), и с выходом сформованного торфа через мундштук, установленный соосно со шнеком (рис. 1.10) [19].

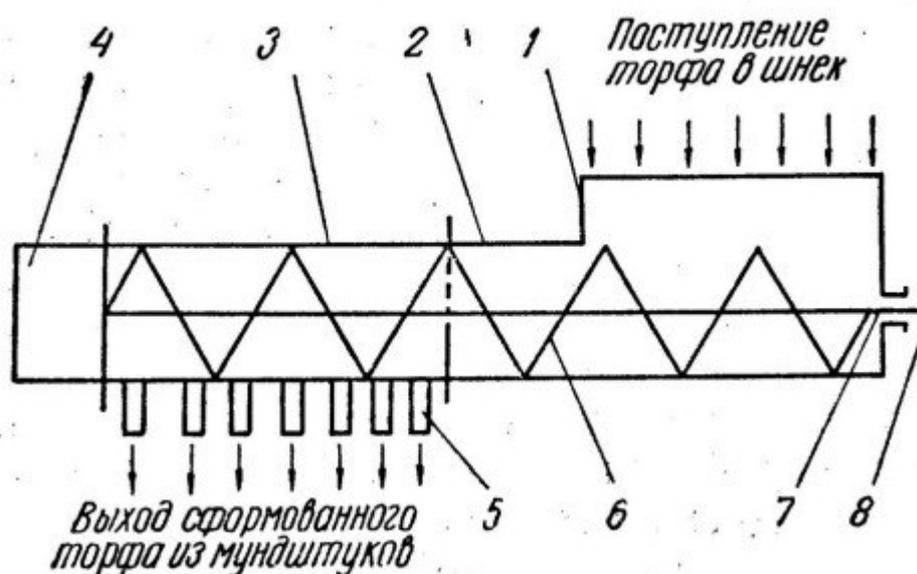


Рисунок 1.9 – Шнековый пресс конструкции Ф.А. Опейко:

1 – приемная воронка пресса; 2 – закрытая часть кожуха шнека; 3 – кожух шнека с отверстиями для мундштуков; 4 – камера для улавливания твердых включений; 5 – мундштук; 6 – шнек; 7 – вал; 8 – полумуфта

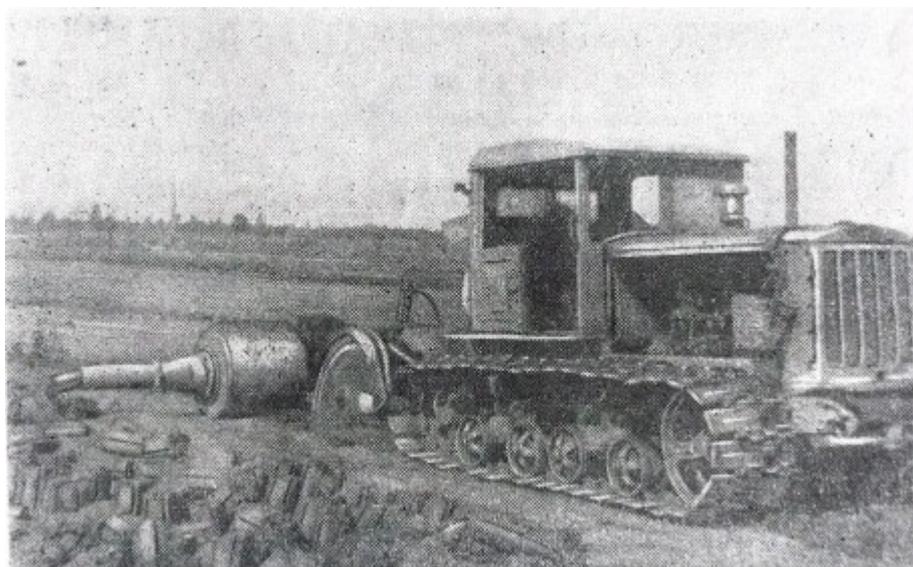


Рисунок 1.10 – Машина ДПК-5 (мундштук установлен соосно со шнеком)

Основными элементами машины ДПК-5 (МТК-12) являются: наклонная дисковая фреза, шнековый пресс-формователь, вмонтированный в правый опорный каток, левый опорный каток, прицеп и трансмиссия с карданным валом [8, 9]. В основу работы машины положен принцип щелевой экскавации залежи дисковой фрезой с совмещением полей добычи и сушки торфа [12]. Машина опирается на два катка и прицепное устройство трактора. Дисковая фреза представляет собой стальной диск со сменными ножами. Относительно вертикальной плоскости фреза установлена под углом 15–20° [9]. Снаружи она закрыта кожухом, служащим для направления потока сфрезерованной крошки в шнековый пресс [9]. Подъем и опускание фрезы, а также регулирование глубины экскавации осуществляется с помощью гидравлического подъемного механизма.

Перерабатывающе-формующим механизмом служит однозаходный шнековый пресс [8, 9, 12], который состоит из корпуса с приемной камерой и уловителя древесных остатков, вмонтированного в правый опорный каток, шнека и формующей головки. Последняя может быть оборудована пятью мундштуками диаметром 65 мм, двумя мундштуками диаметром 100 мм или одним мундштуком, формующим полые куски кольцевого сечения 160×60 мм [8, 9], который устанавливается при разработке залежи пнистостью более 2,5 % [9]. Существует возможность регулирования зазора между витками шнека и внутренней стенкой корпуса за счет осевого перемещения шнека. Для предупреждения забивания мундштуков крупной щепой зазор должен быть минимальным. Неизмельченные древесные остатки проталкиваются в уловитель, который периодически прочищают [9].

Конструкция прицепа представляет собой сварную плоскую раму с упорной винтовой штангой. Путем изменения длины штанги возможно регулировать заглобление фрезы в залежь [9].

Рабочий орган состоит из карданно-телескопического вала, главного коническо-цилиндрического редуктора, передающего момент на шнек-

формователь и цилиндрический редуктор привода фрезы. Привод осуществляется от вала отбора мощности (ВОМа) трактора [7–9, 12].

Существует модификация машины МТК-12А (рисунки 1.11, 1.12), рабочие органы которой (рисунок 1.13) состоят из дисковой фрезы, несомещенного с осью правого колеса шнекового формователя, имеющего цилиндрический корпус и шнек с конической внутренней обечайкой, двух мундштуков диаметром 100 мм с возможностью как осевого, так и радиального расположения. Корпус редуктора выполняет роль основной несущей конструкции, соединяющей узлы рабочего органа в единое целое. Данная машина имеет массу на 170 кг меньшую, чем у МТК-12 [7, 12].

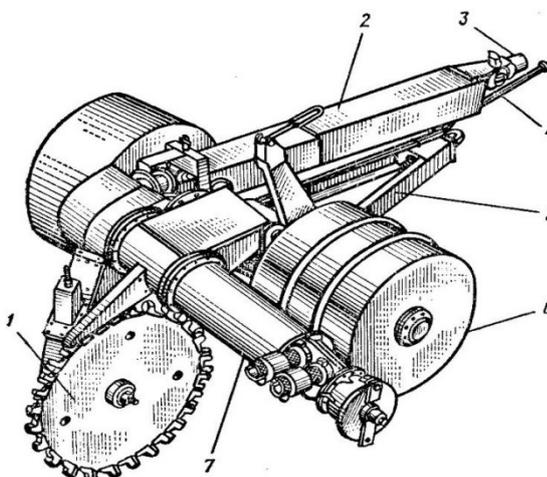


Рисунок 1.11 – Фрезформовочная машина МТК-12А:

- 1 – дисковая фреза; 2 – ограждение карданного вала; 3 – карданный вал;
4 – гидропривод; 5 – рама, 6 – каток; 7 – формователь

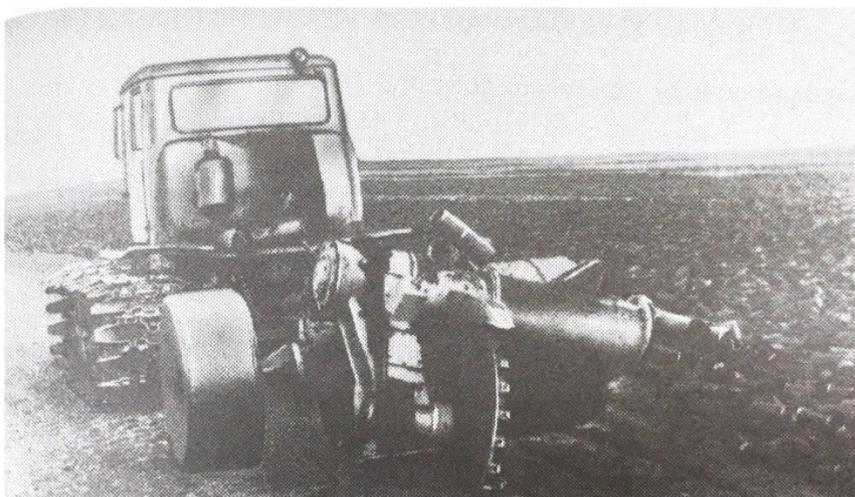


Рисунок 1.12 – Машина МТК-12А в работе

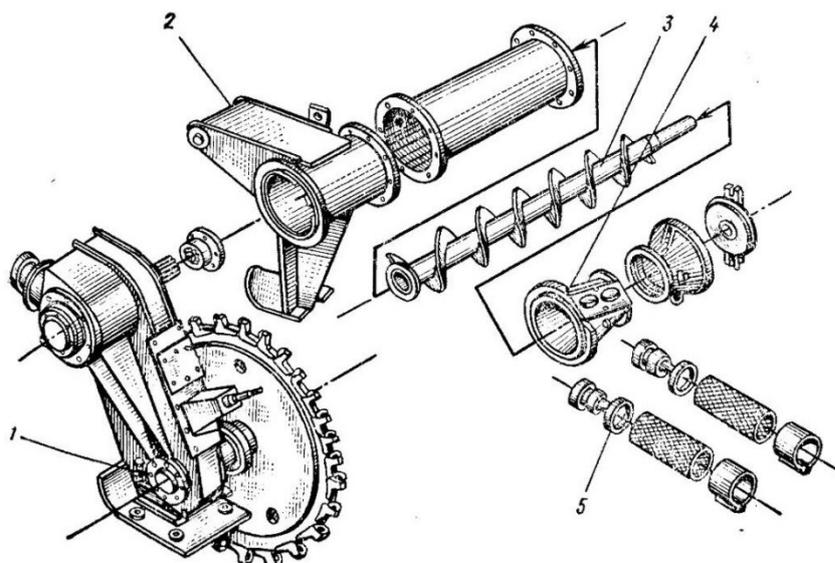


Рисунок 1.13 – Рабочий орган машины МТК-12А с приводом:

- 1 – фреза с приводом; 2 – корпус формователя; 3 – формующий шнек;
4 – формователь; 5 – мундштуки

В дальнейшем, в Калининском филиале ВНИИТП был разработан комплекс машин по производству кускового торфа на верховых залежах со слабой степенью разложения, обеспечивающий получение более высоких технико-производственных и экономических показателей. Для выполнения операций по экскавации и переработке торфяной залежи, формованию и выстилке кускового торфа была спроектирована и произведена машина МТК-15 (рисунок 1.14) [8, 12].

Машина МТК-15 – прицепная с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора Т-100МБГС-1(Т-130Б, Т-10МБ) производит экскавацию залежи винтовой фрезой из щелей глубиной до 1 000 мм и шириной 145 мм. Переработка производится в шнековом механизме. Сформованные куски диаметром 60 мм и длиной около 100–120 мм, внаброс выстилаются на картовое поле шириной полосы около 2,6 м, что соответствует ширине гусеничного хода трактора [8].

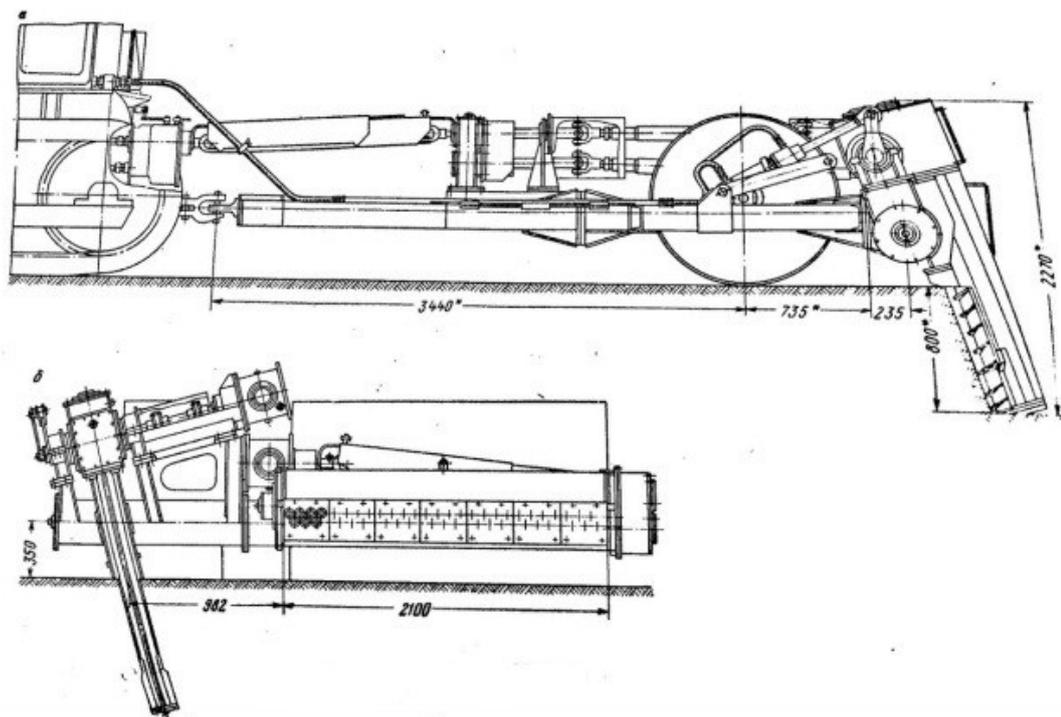


Рисунок 1.14 – Машина МТК-15

Через главный карданный вал вращение передается от ВОМа на раздаточный редуктор трансмиссии машины. Далее крутящий момент распределяется по двум направлениям: на привод фрезы и на формователь. На привод фрезы – через предохранительную муфту, карданный вал, конический редуктор, промежуточный вал и редуктор привода фрезы. А на привод формователя – через предохранительную муфту, карданный вал, конический и бортовой цилиндрический редуктор формователя [8, 12].

Предохранительные муфты на фреze и формователе унифицированы и представляют собой кулачковые муфты с гидравлическим регулированием по манометру нажима на диск. Рабочий орган машины состоит из винтовой фрезы и шнекового формователя. Винтовая фреза устанавливается под углом с наклоном на 15° и представляет собой шнек со съемными спиральными ножами. Фреза крепится к нижней плоскости поворотного редуктора, при повороте которого поднимается в транспортное положение. Формователь состоит из шнека, шибера и решетки с цилиндрическими

мундштуками. Шиберный ротор представляет собой цилиндр, в направляющих которого радиально расположены свободно скользящие пластины шибера. Мундштуки диаметром 60 мм расположены в два ряда [12]. Машина оборудована гидросистемой для подъема фрезы в транспортное положение и для питания предохранительных муфт в трансмиссии привода фрезы и формователя.

Машина МТК-15 работает следующим образом: фрезерование производится при движении трактора из наклонной щели опущенной в залежь фрезой, которая подает полученную торфомассу через приемное окно в корпусе формователя на питающий шнек. Шнеком торфомасса транспортируется к шиберному ротору и равномерно распределяется по его ширине. Шиберы захватывают торфяную массу от шнека и по цилиндрической поверхности решеток выдают ее под давлением через цилиндрические мундштуки в виде сформованных кусков [12].

Следующей модификацией машины для добычи кускового торфа методом целевого фрезерования стала машина МТК-16 (рисунок 1.15) [6, 10].



Рисунок 1.15 – Фрезформовочная машина МТК-16 в транспортном положении

Машина является прицепной к трактору ДТ-175Т (ДТ-75 Б), диаметр фрезы составляет 1 180 мм. Машина оснащена четырьмя мундштуками шестигранной формы с диаметром описанной окружности 100 мм. Эскавация залежи производится на глубину 450 мм [10].

Существует также конструкция прицепной к трактору ДТ-75Б машины МТКП-1. Эскавация торфа из залежи выполняется в ней фрезой диаметром 1 026 мм, оснащенной ножами, на глубину 400 мм. Переработка торфомассы производится шнековым прессом, формирование кусков кольцевого сечения размером 150×40 мм осуществляется одним мундштуком [10, 11].

Калининским филиалом ВНИИТП также велись активные исследования в области добычи коммунально-бытового топлива в районах Крайнего Севера, которые привели к выводу о том, что в этих условиях наиболее приемлемым способом добычи торфа является поверхностно-послойный [10, 11, 20–22]. Было разработано несколько конструкций машин для добычи торфа в данных условиях. Машина КДН-2 (комбайн добывающий навесной), предназначена для добычи торфа вблизи крупных населенных пунктов (рисунок 1.16) [10, 18, 20–22]. Рабочими органами машины являются фреза и щелевой пресс с мундштуком. Фреза представляет собой цилиндр, на торце которого жестко закреплены режущие, а по образующей – вспомогательные ножи, и служит для эскавации, измельчения и подачи торфяной крошки в щелевой пресс. Щелевой пресс предназначен для переработки торфяной массы, уплотнения ее и подачи в мундштук. Пресс состоит из неподвижного кожуха, внутри которого вращается ротор с дисками, образующими между собой кольцевые щели. В процессе вращения ротора торфяная крошка, находящаяся в щелях, уплотняется, встретив преграду в виде гребенчатого съемника, и через загрузочный люк поступает в мундштук с металлическими насадками и резиновыми наконечниками. В мундштуке торфяная масса формируется в куски кольцевого сечения наружным диаметром 90 мм. Сформованные куски выходят из пресса перпендикулярно

движению трактора, и, отламываясь от выходящей из мундштука ленты, образуют на поле валок [20].

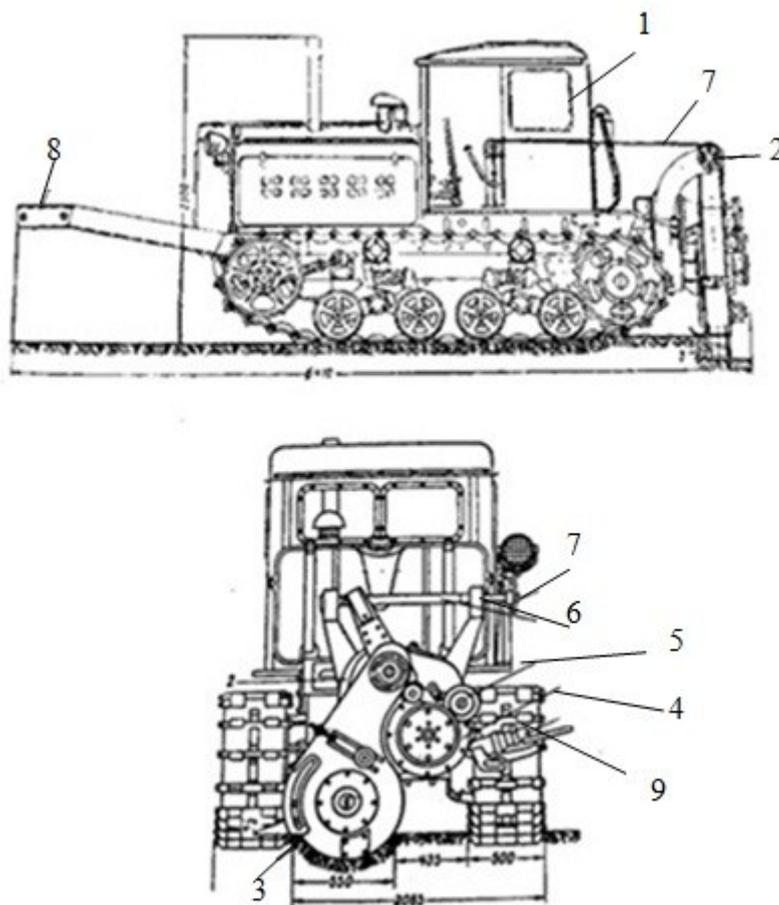


Рисунок 1.16 – Общий вид машины КДН-2: 1 – кабина гусеничного трактора; 2 – редуктор цилиндрических зубчатых колес; 3 – фреза; 4 – кожух щелевого пресса; 5 – загрузочный барабан щелевого пресса; 6 – винтовой механизм подъема и опускания фрезы; 7 – цепная передача на винтовой механизм подъема и опускания; 8 – контргруз; 9 – мундштук с укладкой торфа в валок

Специалисты Калининского торфяного института (ныне Тверского государственного технического университета) модернизировали машину КДН-2 для работы в условиях Крайнего Севера, создав дополнительный очистительный механизм, с помощью которого сухая крошка счищается перед фрезой и отбрасывается на место выстилки кусков торфа-сырца [18, 20]. Очистительный механизм состоит из ковшовой цепи, привода, системы

рычагов для подъема и опускания цепи, кожуха и экрана для направления полета отбрасываемой крошки. Ковшовая цепь установлена на раме коробчатого сечения из листовой стали. На цепи жестко закреплены ковши, имеющие переднюю стенку, выполненную в виде ножа. Ковшовая цепь монтируется на корпус фрезы спереди по ходу движения трактора. Привод ковшовой цепи осуществляется от вала фрезы через одноступенчатый цилиндрический редуктор и цепную передачу. Благодаря введению в кинематическую схему редуктора, ковшовая цепь вращается в противоположном направлении относительно фрезы, что необходимо для осуществления отбрасывания сухой крошки на место выстилки торфа-сырца. С помощью устройства для подъема и опускания ковшовой цепи обеспечивается глубина снимаемого слоя в пределах от 0 до 50 мм [20].

Применение очистительного механизма обеспечивает устойчивость работы машины в любой период сезона, улучшает условия сушки кусков торфа-сырца, выравнивает поверхность поля, так как крошка засыпает ранее выработанные карьеры, увеличивает прочность вырабатываемой продукции за счет формирования кусков из однородной по влаге торфяной массы.

Для добычи кускового торфа вблизи небольших населенных пунктов создана малая послойно-добывающая машина МПДМ-1 (рисунок 1.17), рабочими органами которой являются торцевая фреза, щелевой и шнековый прессы [18, 20]. Фреза представляет собой диск, на котором закреплены ножи, охватывающие его с двух сторон и предназначена для измельчения и экскавации торфяной залежи с последующей подачей сфрезерованной торфяной крошки в щелевой пресс. Щелевой пресс состоит из неподвижного кожуха, внутри которого вращается ротор с четырьмя дисками. Шнековый пресс состоит из неподвижного кожуха и шнека с переменным шагом. Оба прессы служат для прессования торфяной крошки, переработки ее и выдачи в мундштук. Работа щелевого прессы основана на сцеплении прессуемого материала с кольцевой ребристой поверхностью вращающегося ротора. В процессе вращения ротора торфяная крошка, находящаяся в щелях,

уплотняется, встретив преграду в виде гребенчатого съемника, и через загрузочный люк поступает в шнековый пресс. При вращении шнека, торфяная масса уплотняется и подается в мундштук, в котором происходит ее формование в куски кольцевого сечения наружным диаметром 90 мм и длиной 200–220 мм [20].

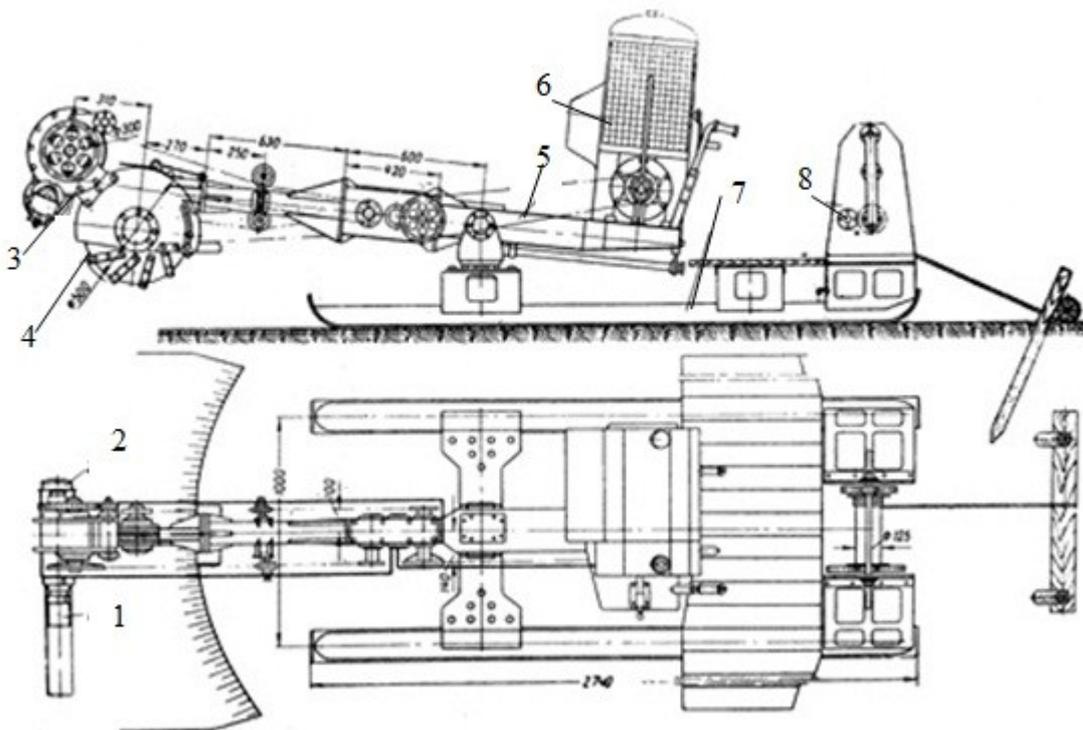


Рисунок 1.17 – Общий вид машины МПДМ-1: 1 – мундштук; 2 – шнековый пресс; 3 – щелевой пресс; 4 – фреза; 5 – стрела; 6 – двигатель; 7 – лыжи; 8 – лебедка

Белорусскими специалистами разработана машина для добычи кускового торфа МТК-1,6 (рисунок 1.18), предназначенная для работы в полуприцепном виде к трактору мощностью 120–150 кВт.

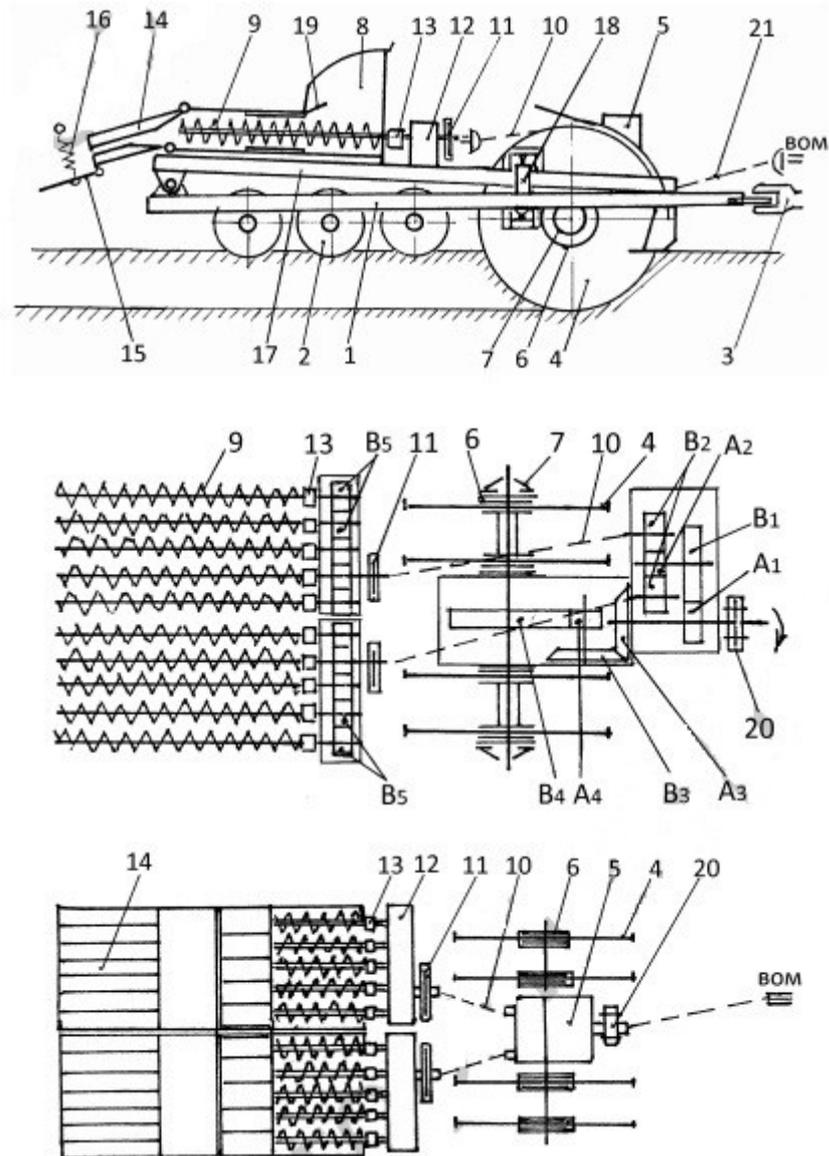


Рисунок 1.18 – Машина МТК-1,6

Рама ходового устройства 1 машины МТК-1,6 опирается на три катка 2 и серьгу 3 трактора-тягача. Нагрузка на тягово-сцепное устройство трактора от веса машины достигает 1 900 Н. Давление на залежь при просадке 30 мм составляет 334 кПа. Все основные рабочие узлы смонтированы на раме неподвижно относительно друг друга, что упрощает конструкцию машины и обеспечивает надежность ее работы. Разработка залежи производится четырьмя дисковыми фрезами 4, смонтированными на валу редуктора 5. Режущие элементы – съемные и крепятся на фрезе. Перед ножами установлены лопасти, обеспечивающие экскавацию торфа из щели и его

подачу в бункер 8. Для защиты от поломок на фрезях установлены дисковые фрикционные муфты. Усилие прижатия фрикционных накладок к диску фрезы регулируется тарельчатыми пружинами 7. Крутящий момент передается от редуктора через шестерни и карданные валы 10 на редуктор привода винтов пресса. Редукторы пресса 12 и винты 9 защищены от поломок фрикционными муфтами 11. Через зубчатые муфты 13 от валов редукторов пресса осуществляется привод винтов. На данной машине установлен сдвоенный многовинтовой пресс (по пять винтов диаметром 150 мм) в одном кожухе (рисунок 1.19). Вращение винтов встречное, что практически исключает возможность проворачивания торфа вместе с винтом. Формующие мундштуки выполнены разъемными (рисунок 1.20) и образованы верхним 1 и нижним 2 блоками, которые шарнирно крепятся к кожуху пресса [23].

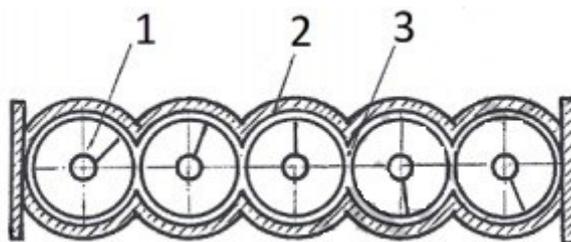


Рисунок 1.19 – Поперечный разрез пресса: 1 – винт; 2 – кожух;
3 – пресскамера

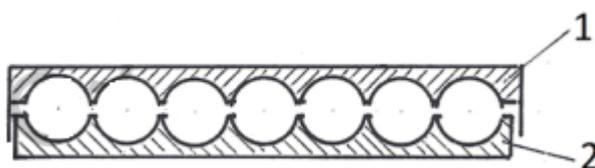


Рисунок 1.20 – Формующие каналы: 1 – верхний блок; 2 – нижний блок

Существует возможность регулирования наклона блоков для увеличения или уменьшения поперечного сечения формующих каналов. Очистка мундштуков от стружки или обломков пня производится с помощью гидроцилиндра во время движения по рабочему проходу. Сформированные

ручьи из мундштуков выходят на отладчик 15, отклоняющийся под тяжестью торфа при длине ленты 200–250 мм. Лента разламывается на куски, длина которых регулируется натяжением пружины 16.

Подъем и заглубление фрез (до 400 мм) производится изменением наклона рамы машины 17 гидроцилиндрами 18. Тяжелые твердые предметы в бункере пресса улавливаются ловушкой 19. Для защиты машины от высоких ударных нагрузок на входном валу редуктора фрез установлена предохранительная муфта 20 [23].

Еще одной разработкой белорусских конструкторов является машина для добычи кускового торфа КТД-1 (рисунок 1.21), производимая РУП «Могилевэнерго», предназначенная для добычи кускового торфа щелевым способом на торфяных залежах всех типов со степенью разложения свыше 15 %.

Машина прицепная к трактору тягового класса 20–30 кН и имеет 12 мундштуков диаметром 75 мм, в которые торфомасса подается после переработки в винтовом (шнековом) прессе. Технологическая операция выполняется при скорости 0,28–0,6 м/с. Производительность данной машины – не менее 20 м³/ч [24].



Рисунок 1.21 – Машина для добычи кускового торфа КТД-1

Финская компания SUOKONE OY разработала и производит ряд фрезформовочных машин (рисунок 1.22), отличающихся типом

формовочного узла. Техническая характеристика этих машин приведена в таблице 1.1 [10, 25].



Рисунок 1.22 – Машина для добычи кускового торфа РК-1 (РК-1S)
SUOKONE OY

Таблица 1.1 – Техническая характеристика машин для добычи кускового торфа компании SUOKONE OY

| Марка машины | Параметры | | |
|--|-----------|------------|------------|
| | PK-1SL C5 | PK-1SL R12 | PK-1SL W60 |
| Диаметр фрезы по концам ножей, мм | 1 295 | | |
| Глубина фрезерования, мм | 550 | | |
| Угол наклона фрезы, ° | 15–20 | 10–15 | 15–20 |
| Ширина прорезаемой щели, мм | 75 | | |
| Количество ножей на фрезе, шт | 32 | | |
| Общая масса без дополнительного оборудования, кг | 1300 | 1350 | 1430 |
| Общая масса с дополнительным оборудованием, кг | 1450 | 1500 | 1580 |
| Частота вращения ВОМ, об/мин | 1 000 | | |
| Диапазон мощности, кВт | 100–150 | | |

Ирландская компания DIFCO производит фрезформовочные машины с необходимой мощностью 70–110 кВт, рабочим органом которых является цепной бар (рисунок 1.23). Они характеризуются производительностью 15–40 м³/ч и массой 1 150–1 350 кг в зависимости от модификации [10, 11].



Рисунок 1.23 – Фрезформовочная машина для добычи кускового торфа
HERBST, DIFCO, Ирландия

Существует также множество разработок, которые оказались нереализованными по разным причинам. Так, для устранения низкой производительности МТК-16, рационального использования погодных условий при производстве коммунально-бытового топлива на всех типах залежей, ВНИИТП был разработан комплекс машин КМК-1, включающий прицепную к трактору машину для добычи, формования и выстилки кускового торфа (рисунок 1.24) и полунавесную на трактор машину для валкования и погрузки торфа в транспортные средства, унифицированную с тракторным погрузчиком для схемы с отдельной уборкой фрезерного торфа. При выходе из формователя кусок обламывался и устанавливался на поверхности карты в вертикальном положении для улучшения условий сушки. Кусок получался трубчатой формы кольцевым сечением 160×100 мм и длиной до 250 мм, таким образом, в слое образовывались значительные воздушные лабиринты [10, 13].



Рисунок 1.24 – Машина для добычи, формования и выстилки кускового торфа

Институтом тофа АН БССР (в настоящее время ГНУ «Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН РБ») были разработаны опытно-промышленные машины МБТ-500 и МБТ-600 (рисунок 1.25).



Рисунок 1.25 – Фрезформовочная машина МБТ-600 с торовым формователем

На этих машинах устанавливались шнековые формователи с осевым расположением мундштуков. Торфяная масса поступала в мундштук непрерывным потоком, что исключало расслаивание кусков во время сушки. Недостатком такой конструкции являлась большая сложность, так как каждый мундштук должен был иметь свой шнек, которых на машине МБТ-600 было 6, а на МБТ-500 – 4 штуки. Кроме того на данных машинах устанавливался шнек-питатель со сложной спиралью.

1.3. Анализ технического уровня конструкций отечественных и зарубежных фрезформовочных машин

На основе проведенного обзора можно выделить следующие конструктивные варианты исполнения фрезформовочных машин (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Морфологическая карта вариантов конструкций фрезформовочных машин

| Параметр | Варианты исполнения | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------|-------------------------|
| | А | Б | В |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Вид экскавирующего устройства | цепной бар | винтовая фреза | дисковая фреза с ножами |
| Компоновочное решение | прицепная | полунавесная | Навесная |
| Вариант выстилания | волнистые ленты | прямые ленты | Внаброс |
| Расположение щели | вертикальное | наклонное | – |
| Формующий орган | шнековый | торовый | пластинчатый (шиберный) |
| Расположение мундштуков | радиальное | осевое | – |

Продолжение таблицы 1.2.

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------|--------------|----------------|-----------|
| Количество потоков мундштука | однопоточный | многопоточный | – |
| Форма куска | шестигранная | цилиндрическая | Кольцевая |

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее востребованными и надежными оказались навесные фрезформовочные машины с дисковой наклонной фрезой, шнековым формователями и многопоточными мундштуками.

На основании технической характеристики существующих фрезформовочных машин (таблица 1.3) построен параметрический ряд зависимости производительности машины от веса (рисунок 1.26).

Таблица 1.3 – Параметрический ряд фрезформовочных машин

| Машина | Вес, кН | Производительность, м ³ /ч |
|----------------------------|----------|---------------------------------------|
| МТК-12 | 14,43051 | 18,71 |
| МТК-12А | 12,753 | 17,66 |
| МТК-15 | 42,5754 | 63 |
| МТК-16 | 21,582 | 19,09 |
| МТКП-1 | 12,2625 | 18,455 |
| КДН-2 | 9,81 | 9,648 |
| МПДМ-1 | 6,0822 | 2,814 |
| МТК-1,6 | 38,259 | 89 |
| КДТ-1 | 17,658 | 20 |
| PK-1SL C5 (SUOKONE OY) | 12,753 | 20 |
| PK-1SL R12 (SUOKONE OY) | 13,2435 | 20 |
| PK-1SL W60 (SUOKONE OY) | 14,0283 | 20 |
| HERBST (DIFCO) | 8,3385 | 32,5 |

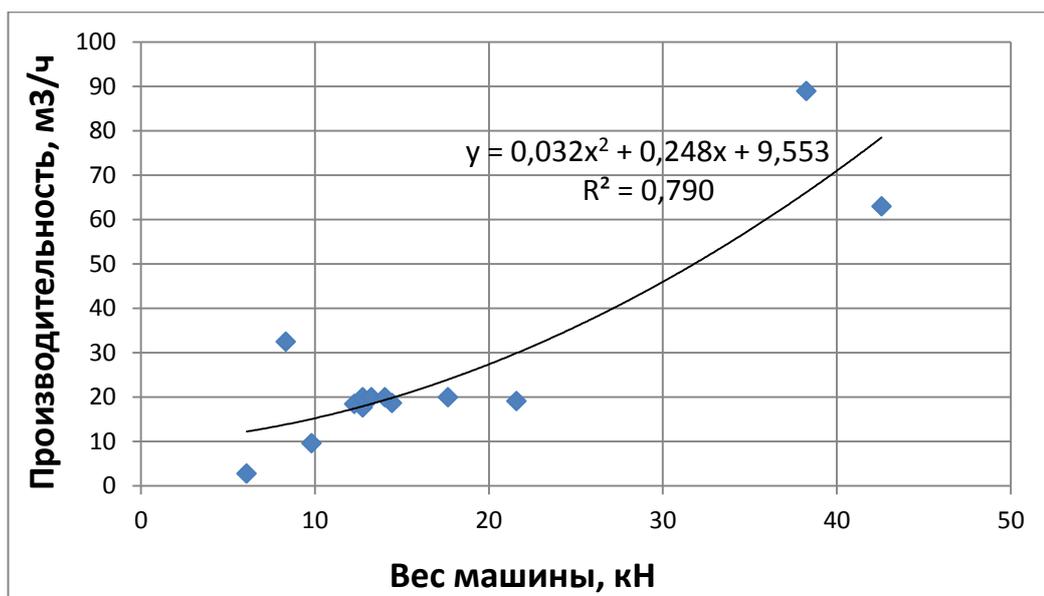


Рисунок 1.26 – График зависимости производительности фрезформовочных машин от веса

Наибольшая концентрация опытных точек наблюдается в зоне производительности 18–23 м³/ч при весе 12–14 кН. С учетом того, что в эти границы вписываются ранее описанные нами навесные фрезформовочные машины с дисковой наклонной фрезой, шнековым формователями и многопоточными мундштуками, следует считать данные параметры рациональными.

1.4. Существующие результаты исследований по вопросу производства кускового торфа фрезформовочным методом

Вопросами изучения производства кускового торфа занимались даже во время Великой Отечественной войны. Семенский Е.П. исследовал зависимость качества кускового торфа от вида и строения торфяной залежи, а также качества переработки тофа-сырца [26–28], в результате чего было установлено, что прочность кускового торфа определяется влагой и дисперсностью формуемой торфомассы, причем прочность растет с понижением влаги и достигает максимального значения при влаге 25–30 %.

Воларович М.П. [29–31] в ходе экспериментальных исследований движения торфомассы при продавливании ее через цилиндрические и конические насадки установил наличие «мертвой зоны» в заходной части мундштука.

В рамках исследования [32] Корчунова С.С. была получена зависимость прочности кускового торфа R от влаги, которая справедлива для медленной сушки, при условии, когда прочность растет до полного высыхания материала. Уравнение имеет вид:

$$R = R_c \cdot e^{-u\lambda}, \quad (1.1)$$

где R_c – прочность сухого образца; u – влагосодержание; λ – коэффициент упрочнения, равный:

$$\lambda = \frac{\rho k}{c\gamma_c}, \quad (1.2)$$

где: ρ – плотность твердой фазы торфа; k – коэффициент усадки при сушке; c – коэффициент уплотнения; γ_c – плотность сухого образца.

Раковский Е.В. и Ривкина Х.И. в своей работе [33] определили, что в формировании прочного торфяного куска особую роль играют клеящая способность гуминовых и гидролизуемых веществ. Они пришли к выводу, что более высокая прочность верхового кускового торфа в сравнении с низинным вызвана повышенным содержанием гидролизуемых веществ и нахождением основной части гуминовых кислот верхового торфа в несвязанном состоянии.

Кривошеин М.Н. изучал процесс формованной торфомассы пониженной влаги, которая в данном исследовании принималась в интервале 70–80%. В своей работе автор установил, что наиболее целесообразным механизмом переработки торфомассы с таким содержанием влаги является валковый формователь, работающий по принципу растирания. А для сокращения сроков сушки и повышения цикловых сборов предложил формировать куски диаметром 20 мм [34].

Исследованием прочности мелкокускового торфа занимался Н.П. Перов. В результате работы [35] было определено, что по условиям

прочности в зависимости от содержания влаги торф может находиться в четырех состояниях: «пластичном», «упруго-пластичном», «пластично-упругом» и «упруго-хрупком». В первых трех состояниях с уменьшением влаги показатели прочности на сжатие, изгиб и предельное сопротивление проникновению конуса возрастают, а в упруго-хрупком состоянии, с уменьшением влаги возрастает только предельное сопротивление проникновению конуса, а прочность на сжатие и изгиб уменьшается. При высокой влажности прочность верхового торфа при одинаковой степени разложения и переработки ниже прочности низинного торфа и, наоборот, при низкой влажности верховой торф становится прочнее низинного.

Производительность, потребляемая мощность, удельный расход энергии и качество готового торфа зависят при прочих равных условиях от степени переработки торфомассы. В основу определения физико-механического состояния торфомассы, соответствующего качественному готовому продукту, принят критерий – удельная поверхность $S = 6\,000\text{--}7\,000$ см²/г сухого вещества, предложенный и обоснованный Солоповым С.Г. Им же было сформулировано положение, согласно которому, для получения кускового торфа высокого качества при пониженной влажности залежи обязательным условием, кроме интенсивной переработки, является уплотнение формуемой торфомассы до двухфазного, или близкого к нему состояния. Это достигается вакуумированием или вибрированием для повышения в процессе формирования, что ведет к увеличению плотности и прочности материала [36, 37]. В работе [38] содержится вывод, что частицы торфа удерживаются в сформованном торфяном куске силами молекулярного притяжения и капиллярным давлением. Солоповым С.Г. выделено два вида сцепления: истинное молекулярное притяжение частиц и кажущееся, обусловленное силами капиллярного давления. Что же касается механического диспергирования, то оно дает возможность получения более пластичной торфомассы, обеспечивающей лучшие условия формирования и сушки.

В исследованиях Пескова В.Г. [39] определено, что изменение величины предельного напряжения сдвига торфомассы по мере прохождения ее через пресс имеет затухающий характер. В горловине и мундштуке переработка незначительна, а основная переработка происходит в шнековой части пресса, это необходимо учитывать, так как изменение предельного напряжения сдвига по мере прохождения торфомассы по прессу пропорционально перерабатывающей способности той, или иной части пресса. Также определено, что производительность пресса зависит от способности напорной шнековой части создавать давление (напор), необходимое для преодоления сопротивления горловины и мундштука, а условное предельное напряжение сдвига в пристенном слое в торфяных напорных шнеках меньше предельного напряжения сдвига самой торфомассы. Процесс течения торфомассы в напорном шнеке в первом приближении не зависит от пластической вязкости торфомассы.

Исследования Лопотко М.З. [40] посвящены процессу валкования мелкокусового торфа лопастным валкователем. Это одна из немногих работ, посвященная именно вопросу повышения качества кускового торфа за счет модернизации и применения различных инноваций в оборудовании. Определены основные конструктивные параметры оборудования, интервал оптимальных скоростей передвижения валкователя, зависимость между углом установки лопасти и удельным расходом энергии на валкование и от скорости валкования.

Исследования Нажесткина Б.П. [41] посвящены удалению газовой составляющей торфомассы путем вибрирования. Применение вибрирования, по мнению ученого, приводит к переходу торфяной массы в состояние, близкое к двухфазной системе, а, следовательно, дальнейшее уплотнение торфа может происходить только за счет удаления жидкой среды. В результате в насадке начинает развиваться обычное вязкопластичное течение, что приводит к снижению расхода энергии на формование торфомассы. Уменьшение расхода энергии при формовании с применением

вибрирования является следствием понижения предельного напряжения сдвига и вязкости торфомассы, а также коэффициента внешнего трения в результате передвижения влаги в торфе от центра к периферии (стенкам мундштука) и образования тонкой ее пленки на внутренней поверхности мундштука. Применение вибрирования в процессе формования особенно целесообразно при добыче торфа пониженной влаги (когда торфомасса находится в трехфазном состоянии).

Чураев Н.В. в исследовании [42] пришел к выводу, что для получения качественного кускового торфа необходимо содержание фракций размером менее 10 мкм для верхового торфа – 55–65 %, а для низинного – 45–55 %.

Анализ научно-исследовательских работ по добыче торфа в районах Крайнего Севера (г. Нарьян-Мар) [20–22] позволяет говорить о технологической и технической возможности добычи кускового торфа поверхностно-послойным способом на торфяных месторождениях с вечной мерзлотой в условиях короткого полярного лета. Таким образом, обеспечиваются местные коммунально-бытовые и промышленные потребности в топливе, снижая при этом его стоимость вследствие отсутствия дорогостоящей доставки. Наиболее приемлемыми торфодобывающими машинами в специфических условиях Крайнего Севера, согласно проведенным исследованиям [43] являются машины КДН-2 и МПДМ-1, но для дальнейшего совершенствования технологических процессов и создания нового современного высокопроизводительного оборудования необходимо было продолжение научно-исследовательских работ, которые впоследствии не проводились.

Копенкин В.Д. [44] получил эмпирические зависимости, связывающие физико-механические свойства кускового торфа с показателем дисперсности:

$$M = (0,107 + 0,0252P_{250}) \cdot \Delta P_{250} , \quad (1.3)$$

где M – универсальный показатель изменения степени дисперсности торфа при переработке; P_{250} – содержание подситовых фракций в исходном торфе; ΔP_{250} – их приращение при переработке.

Фомин В.К. в работе [45], опираясь на исследования Копенкина В.Д [44], предложил метод расчета механизма, обеспечивающего получение кускового торфа с заданной прочностью, и установил зависимость между условной поверхностью частиц S_0 по Солопову С.Г. и перерабатывающей способностью $\lambda_{\text{ср}}$ по Опейко Ф.А. [46]:

$$S_0 = 10\,000 \cdot \Delta m_c (1 + k), \quad (1.4)$$

где Δm_c – масса частиц фракцией 4 мкм и менее; k – коэффициент, зависящий от массы коллоидной фракции Δm_c в 1 грамме сухого вещества торфа;

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 - \varepsilon) \frac{\omega}{Q} S_{\kappa}, \quad (1.5)$$

где $\lambda_{\text{ср}}$ – перерабатывающая способность шнекового механизма; ε – коэффициент скольжения торфа относительно внутренней поверхности кожуха и шнека; ω – угловая скорость вращения вала; Q – производительность шнека; S_{κ} – статический момент площади внутренней поверхности кожуха относительно оси шнека.

Полученная Фоминым В.К. зависимость имеет вид:

$$S_{\lambda} = S_H \cdot \ln \left(\frac{\lambda}{a} + e \right), \quad (1.6)$$

где S_{λ} – величина условной удельной поверхности торфомассы после воздействия на торф механизма с интенсивностью λ_0 , см²/г; S_H – величина условной удельной поверхности торфомассы перед переработкой, см²/г; λ – величина перерабатывающего воздействия механизма на торф; e – основание натурального логарифма; a – коэффициент пропорциональности, зависящий от начальных физико-механических свойств торфа.

Цветков В.И. на основании исследований [47] пришел к выводу, что удельное давление формования зависит от длины мундштука. Оптимальное давление формования составляет 300–400 кПа и его можно варьировать в зависимости от необходимой прочности готовой формованной продукции. Механическая прочность формованного торфа зависит от скорости истечения и длины формующей насадки, которая должна составлять 3,5–4 внутреннего

диаметра мундштука при скорости истечения торфомассы до 2 м/с. Снижение влаги торфомассы при формовании требует увеличения необходимого давления формования.

Лиштван И.И. [48] теоретически и экспериментально обосновал влияние дисперсности, режима сушки, модифицирующих добавок и влагосодержания на прочность низинного кускового торфа. Оптимальным влагосодержанием для обеспечения максимальной прочности для низинного торфа при степени разложения более 30 % является диапазон 4,3–5,0 г/г, а для верхового торфа степенью разложения более 20 % – 4,0–5,1 г/г.

В работе Сергеева Ф.Г. [49] показано, что в торфе низкой дисперсности основное количество поглощенной влаги является капиллярно-впитанной. С увеличением дисперсности материала роль капиллярного механизма уменьшается, а влага поглощается преимущественно растительными остатками и продуктами распада. Исследовано влияние размеров образцов мелкокускового торфа на величину водопоглощения. Наименьшей водопоглощающей способностью обладают образцы торфа с диаметром 40–60 мм.

Слыш В.М. [50] исследовал методы оценки механической переработки торфа и пришел к выводу, что степень перемешивания торфа в насадке круглого сечения зависит от геометрических размеров насадки, расхода торфа, давления в насадке и реологических свойств торфа.

Вирясов Г.П. [51] исследовал влияние исходной влаги торфа и кратности его пропускания через перерабатывающий механизм на процесс диспергирования и дисперсность торфа. Исследования проводились на лабораторном шнековом перерабатывающем механизме. Результаты и анализ данных эксперимента показали, что при снижении влагосодержания происходит увеличение диспергирующего эффекта. Отмечена эффективность первого пропускания через диспергирующий механизм, которое приводит к увеличению условной удельной поверхности на 44 %, а вот дальнейшая переработка лишь незначительно изменяет степень дисперсности.

В исследовании Суворова В.И. [52] показано, что наибольшей прочностью обладает кусок из верхового торфа, а также определен наилучший групповой состав торфа. В результате выведены уравнения для определения основных свойств кускового торфа в зависимости от сырья:

– прочность торфяного брикета при влагосодержании 32 г/г и степени разложения 45 % [кг/см²):

$$\sigma = 46,6 - 0,19 \cdot R - 1,060 \cdot A^c, \quad (1.6)$$

где R – степень разложения, %; A^c – зольность торфа, %;

– прочность торфяного брикета при влагосодержании 32 г/г и степени разложения 53 % [кг/см²):

$$\sigma = 58,5 - 0,320 \cdot P_{<250} - 1,020 \cdot A^c, \quad (1.7)$$

где $P_{<250}$ – дисперсность торфа, мкм;

– плотность торфяного брикета при степени разложения 46 % [кг/см³):

$$\gamma_{бр} = 1,033 + 0,00017 \cdot R + 0,0050 \cdot A^c. \quad (1.8)$$

Гревцевым Н.В. активно изучались вопросы интенсификации процесса сушки кускового торфа [53], автор работы предложил аэродинамические схемы расчета процесса активного вентилирования складочных единиц и расчет снижения влагосодержания торфа при естественном и принудительном воздухообмене.

Работа Воронкова Б.Б. [54] посвящена обоснованию требований к интенсивной технологии добычи высококачественного коммунально-бытового кускового топлива. Доказана целесообразность снижения средней влаги исходного сырья из верховых типов торфа низкой степени разложения путем предварительного механического обезвоживания в щелевых насадках при малых давлениях прессования. Теоретически и экспериментально обоснована возможность повышения плотности торфомассы перед ее формованием, увеличения прочности и плотности конечной продукции при замене метода диспергирования предварительным перемешиванием торфа в смесительной камере в течение 3–6 мин, обеспечивающее формирование

торфяного куска с наименьшими дефектами структуры при сохранении волокнистых фракций, создающих прочный пространственный каркас, что препятствует трещинообразованию при сушке.

Исследования Шамбера О.В. и др. [55] показали возможность повышения качества готовой продукции за счет досушки кускового торфа под навесом в контейнерах.

В работе Цветкова В.И. [56] установлено отсутствие линейной зависимости между силой и деформацией в дисперсных системах, что объясняется тем, что энергия, сообщенная извне этим системам, не сохраняется в них полностью в упругой фазе, а с течением времени частично переходит в теплоту и рассеивается. Как и в работе [47], рекомендовано задавать конструктивные габариты мундштука, обеспечивающие давление прессования 300–400 кПа с учетом скорости истечения торфомассы с тем, чтобы обеспечить достаточное уплотнение во времени.

Исследование Афанасьева А.Е. [57] посвящено изучению зависимости прочности кускового торфа от его физико-механических свойств. Проведенные лабораторные исследования позволили установить зависимость между прочностью куска при одноосном сжатии и плотностью его скелета, а, следовательно – характеристиками его структуры.

В работах [15, 58] Фомин В.К. исследовал широкий спектр вопросов, целью которых было установление закономерностей и разработка научных принципов построения технологического процесса, выбор основных характеристик технологических схем и оборудования по производству формованного торфа. Особенности состояния гуминовых кислот в верховом и низинном торфе требуют различных физико-химических и технологических методов управления структурными свойствами формируемой торфомассы, поэтому для торфа верхового типа рекомендовано механическое диспергирование и перемешивание. Для низинного торфа необходимо проводить механическое диспергирование и перемешивание в объемно-напряженном состоянии, обеспечивающем разрушение полостей

разлагающихся клеток растений, сгустков гуминовых кислот и их равномерное распределение по объему формируемой торфомассы. Определено, что структурные и реологические свойства торфомассы достаточно полно характеризуются показателями: степень разложения, дисперсность, содержание влаги, плотность и предельное напряжение сдвига. Управление ими в сочетании с режимами и технологией сушки позволяет прогнозировать получение продукции с заданными физико-механическими свойствами при рациональных затратах энергии на переработку и формирование. Выявлено, что в процессе добычи кускового торфа в зависимости от способа экскавации формируемая торфомасса имеет значительные колебания по влагосодержанию: торфомасса с повышенным содержанием влаги обладает меньшей структурной прочностью, что при сушке способствует интенсивной капиллярной усадке, компактному агрегатированию и повышению плотности, по сравнению с торфом пониженного влагосодержания одинаковой дисперсности. Конструктивные, кинематические и энергетические характеристики формирующе-перерабатывающих устройств в значительной степени определяются прочностными и реологическими свойствами торфа, характеризуемые величиной напряжения сдвига (τ). В процессе производства кускового торфа механическое диспергирование является наиболее ответственной операцией, определяющей качество готовой продукции, т.к. дисперсность торфомассы характеризует физико-механические свойства готовой продукции и имеет с ним высокие корреляционные связи. Установлено, что определенным значениям влагосодержания соответствуют свои оптимальные величины дисперсности формируемой торфомассы, при которых наступает максимум прочности. На основании анализа экспериментальных данных при разработке новых технологических схем и оборудования по добыче кускового торфа на залежах верхового типа рекомендовано принимать дисперсность и влагосодержание формируемой торфомассы в диапазоне соответственно 450–570 м²/кг и 5,65–3,5 кг/кг. Производство кускового торфа щелевым способом с совмещением полей

добычи, сушки и уборки приводит к появлению сухой крошки, пересыханию верхнего слоя залежи. Отсюда – рост неоднородности состава формуемой торфомассы по содержанию размера фракций и влаги, а следовательно – ее структурно-реологических свойств, что способствует снижению прочности готовой продукции на 20 % и увеличению водопоглощаемости на 20–25 %. На основе совокупности выполненных исследований обоснована характеристика рабочего состава формуемой торфомассы, оцениваемая комплексным показателем, включающим степень разложения, дисперсность, содержание влаги, коэффициент приведенной гумификации, коэффициент концентрации гидрофобных компонентов и решена задача по качественной оценке состава торфа. Процесс диспергирования осуществляется в результате деформирования торфа за пределами упругих деформаций, т.е. после перехода из равновесного состояния в вязко-пластичное течение. Полнота использования перерабатывающей способности устройств различна в зависимости от качественной характеристики исходного торфа. Выведены математические зависимости по определению перерабатывающей способности применительно к наиболее распространенным механическим устройствам: пластимер Беловидова, шнековая фреза, шнековая (напорная) фреза для щелевой экскавации, цилиндрическая фреза с чашечными ножами, штифтовая фреза, дисковая фреза, дисковый пресс, шиберный формователь. Выявленные закономерности взаимодействия различных перерабатывающих устройств с торфом и полученные зависимости позволяют решать вопросы управления диспергированием, а в зависимости от свойств исходного сырья и требований по качеству готовой продукции – выбирать наиболее рациональные конструктивные решения и режимы работы исполнительных органов машин по переработке и формованию торфа. Таким образом, при переработке торфа с начальной дисперсностью менее $300 \text{ м}^2/\text{кг}$, необходимо предусматривать минимум две ступени переработки, при дисперсности более $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ целесообразна переработка в одну ступень. Физическая модель энергоемкости процесса разрушения представлена сопротивлением упругих

деформаций и вязко-пластичного течения, выраженного величиной обобщенной удельной относительной деформации при предельно-напряженном состоянии торфа. На основании исследования энергоемкости переработки торфа установлено, что для большинства механических устройств при переходе от равновесного состояния к вязко-пластичному течению деформируемый материал выходит из зоны активного воздействия и величина упругой деформации при этом не превышает единицы. Полученная автором аналитическая зависимость позволяет при проектировании оценивать торфоперерабатывающее устройство по величине удельного расхода энергии и определять нагрузочные характеристики для прочностных расчетов его элементов. Определено, что эффективность производства кускового торфа в значительной степени определяется технологически обоснованными затратами энергии на единицу выпускаемой продукции, полнотой использования мощности энергетической установки, массой агрегата и оборудования и их фактической производительностью. Дисперсность торфомассы принята в качестве основного параметра при выборе качества куска, технологических показателей производства продукции и степени перерабатывающего воздействия экскавирующе-перерабатывающих и формующих устройств. Для обеспечения качества готовой продукции необходимо обеспечить совмещение направления выстилки куска с направлением движения машины, неразрывность и постоянство скорости в течении вязко-пластичного потока торфомассы от напорно-перерабатывающего устройства до камеры формования, плавную укладку сформованных кусков на поле сушки. Прочность на сжатие – параметр характеризующий качество готовой продукции, т.е. сохранности куска при уборке и транспортировании. Выполненный комплекс экспериментальных и теоретических исследований служит основой для разработки методов управления процессом производства формованной торфяной продукции заданных качественных характеристик.

В работе Копенкиной Л.В. [59] показано, какие этапы в своем развитии прошла техника для добычи кускового торфа от ручных орудий до комплексов машин. Определена периодизация развития по уровню технологии и механизации. Выполненные в работе систематизация и обобщение ретроспективных данных способствовали обоснованию основных направлений дальнейшего развития торфяной техники.

Специалистами Калининского политехнического института предложена и доказана эффективность организации сушки кускового торфа в однослойном расстиле на сетках, поднятых над залежью на высоту 0,5 м. При достижении влаги 70 %, торфяные куски достигают необходимой прочности, обеспечивающей возможность выполнения механических операций. При этой влаге можно снять кусковой торф с сеток и уложить в контейнеры под навесом. Применение технологии с теневой досушкой под навесом с естественной вентиляцией подсеточного пространства протекает наиболее эффективно [60].

Максимальная интенсивность испарения выявлена у смесей, содержащих около 20 % слаборазложившегося торфа, что подтверждает структурные особенности смесей и активную водопроводящую роль волокон, сохранивших собственную структуру [61]. Чем выше уровень диспергирования материала, тем раньше наступает насыщение смеси высокомолекулярными соединениями, особенно гуминовыми веществами, способствующими цементации структуры торфа при сушке. В процессе механического воздействия на торф происходит обволакивание грубодисперсных частиц слаборазложившегося торфа хорошо гумифицированной коллоидной составляющей другого торфа, при этом смесь приобретает свойства торфа более высокой степени разложения или приближается к нему по своим параметрам.

Гамаюнов С.Н. считает, что комплексной характеристикой кускового торфа, обуславливающей его физико-механические свойства является плотность скелета, зависящая от структуры торфа, и отражающая степень

дисперсности материала. Между кубическим корнем из величины прочности кускового торфа и его прочностью скелета существует линейная зависимость [62]:

$$\sigma^{1/3} = a \cdot \gamma_c + b, \quad (1.9)$$

где σ – прочность кускового торфа; a и b – экспериментальные коэффициенты, γ_c – плотность скелета торфа.

Афанасьев А.Е. и др. [63] пришли к выводу, что кусковой торф является конкурентоспособным коммунально-бытовым топливом для Тверского региона взамен привозного угля. Кусковой торф уступает углю по теплотворной способности на 19 %, при этом показатели зольности у торфа в среднем составляет 5 %, а у угля – 27 %. Наилучшим, с точки зрения качества получаемой продукции и технико-экономических показателей способом добычи кускового торфа на торфяных месторождениях всех типов является фрезформовочный способ. Для повышения качества получаемой продукции с верховых и переходных месторождений предлагается производить складирование не на полях добычи, а вывозить на централизованный склад.

В работе Фомина К.В. [64] рассматривается вопрос необходимости определения вероятностных характеристик изменчивости физико-механических свойств торфяной залежи, необходимых при проектировании и расчете перерабатывающих и перемешивающих устройств, а также при анализе динамической нагруженности элементов привода и конструкции торфяных машин. В его же работе [65] ставится задача по выбору оптимальных параметров машин по добыче кускового торфа. Основными критериями являются минимум суммарной удельной энергоемкости рабочего процесса при получении максимального качества продукции, определяемого прочностью готовой продукции, а также минимальная металлоемкость агрегата при соблюдении первых двух критериев. Полученные параметры являются основой для введения ограничений, применяемых при выборе других подсистем агрегата (привод, элементы конструкции, ходовая часть).

В работе Самсонова Л.Н. и др. [66] рассматриваются вопросы механизированного производства кусковой подстилки и обновление технологии и технологического оборудования по производству кускового торфа.

Авторы [67] изучали возможности получения кускового торфа с высокими физико-механическими свойствами и пришли к выводу, что необходимо изменять степень дисперсности и начальную влагу формования, а также управлять процессом структурообразования в процессе сушки в зависимости от сырьевой базы.

Из исследования Гамаюнова Н.И и Гамаюнова С.Н. [68] следует, что наиболее прочные куски торфа получаются из композиций, состоящих из торфов различных типов, видов и степени дисперсности. Определенное сочетание грубодисперсных и высокодисперсных фракций способствует образованию более прочных композиций.

Работа Зюзина Б.Ф. [69] посвящена уточнению зависимости между условной удельной поверхностью торфомассы и показателем перерабатывающего воздействия рабочего аппарата на торф. Уравнение имеет вид:

$$a_{ni} = 38,37 \left(\frac{W S_{\lambda i}}{\gamma_{\lambda i}} \right), \quad (1.10)$$

где a_{ni} – коэффициент пластичности исходного торфа; W – влагосодержание, кг/кг; $S_{\lambda i}$ – дисперсность м²/кг; $\gamma_{\lambda i}$ – плотность, кг/м³; λ – степень механической переработки торфа.

Автором подтверждено влияние дисперсности, влаги и плотности исходного сырья на закономерности процесса диспергирования под воздействием механических устройств.

Горячевым В.И. и др. доказана целесообразность применения местного торфяного топлива [70] и предложен технологический комплекс по производству кускового топливного торфа [71, 72]. С целью снижения энергозатрат и снижения эксплуатационных издержек предложен

круглогодичный технологический комплекс, имеющий следующие особенности: применение комбинированной сушки, а именно: в весенне-летний период для сушки кусков используется энергия солнца и ветра, а для круглогодичной работы используются поля стилки и сушки торфяных кусков, расположенные на суходоле с дренажной системой, позволяющей быстро и эффективно отводить атмосферные осадки в водоем; генерация топочных газов для досушки производится на линии этого же комплекса; компактное размещение нескольких линий на одной производственной площадке снижает расходы на транспорт и сообщение; процессы добычи и переработки разделены по времени и месту. Главным достоинством комплекса, по мнению авторов, является надежность производства качественного торфяного топлива с меньшими эксплуатационными и теплоэнергетическими затратами [73].

Терентьев А.А., Суворов В.И. [74] на основании [27, 28, 32, 33, 36–38, 42, 44–46, 48, 75, 76] по структуре и прочностным свойствам кускового торфа пришли к выводу, что для получения качественной продукции из всех видов торфа необходимо комплексное воздействие на исходное сырье путем диспергирования, перемешивания, физико-химического модифицирования.

Общий анализ научно-исследовательских работ показал, что большее их количество, а именно 66 % от общего числа исследованных работ, направлено на определение параметров и условий повышения качества готового коммунально-бытового торфяного топлива за счет определения оптимальных значений влаги, дисперсности, вида и типа исходного сырья. Группа работ (18 %) направлена на решение вопроса интенсификации процессов сушки кускового торфа методами оптимальной ворочки и принудительного обдува фигур сушки. Работы, связанные с повышением качества кускового торфа за счет применения различных инноваций в формулирующем оборудовании (18 %), рассматривали варианты применения существующих технологий для определенных условий добычи кускового торфа. В связи с вышесказанным можно сделать вывод о том, что

недостаточно изученными остаются вопросы о режимах формования – скорости вращения шнека, шаге витков шнека, соотношении площадей живого сечения напорной трубы и мундштука, что делает направление такого исследования актуальным.

Что же касается работ по исследованию работы шнековых механизмов вообще, то их достаточно много в различных отраслях производства.

В монографии Соколова М.В. [77] рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования и расчета шнековых механизмов для переработки полимерных материалов.

В работе Тимофеева Д. В. и др. [78] определены основные зоны работы шнека (рисунок 1.27) и изучены свойства материала в этих зонах. По результатам работы разработана конструкция шнекового пресс-экструдера для производства пищевых продуктов. Выбор пал на одношнековый механизм в связи с большей производительностью и надежностью в работе, низкой стоимостью и простотой конструкции.

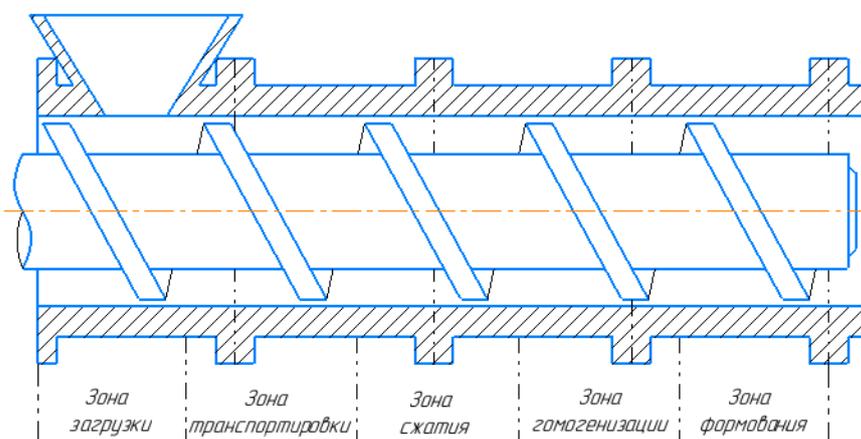


Рисунок 1.27 – Рабочий узел шнековой камеры пресс-экструдера

Исследованию работы шнековых прессов в строительстве посвящена работа Григорьева В.И. [79], целью которой было повышение эффективности работы шнекового пресса и уменьшения энергоемкости при формовании глиняных кирпичей пластическим способом за счет уменьшения сил трения

между формуемой массой и внутренней поверхностью корпуса пресса. В рамках исследования разработаны теоретические закономерности движения глиняной массы в шнековом прессе при различных условиях формования, структурная схема и конструкция шнекового пресса, а также математическая модель по определению оптимальных геометрических параметров элементов системы очистки внутренней поверхности корпуса при условии максимальной производительности шнека и минимальных удельных энергозатратах.

Работа [80] направлена на обоснование рациональных параметров работы маслоотжимного двухшнекового пресс-экструдера. Проведен обзор особенностей конструкций современных двухшнековых пресс-экструдеров, предложены и обоснованы параметры пресс-экструдеров для производства биодизельного топлива.

В работе [81] представлена математическая модель расчета процесса вытяжки заготовок из пластифицированных шихт порошковых и композиционных материалов на шнековых прессах через оснастки, имеющие местное уменьшение площади сечения формующего канала оснастки.

$$\sigma_{\text{тр}} = S(1 + \sin\rho\cos 2\varphi_{\text{тр}}) + K\cos\rho 2\varphi_{\text{тр}}, \quad (1.11)$$

$$\tau_{\text{тр}} = \sin 2\varphi_{\text{тр}}(S\sin\rho + K\cos\rho), \quad (1.12)$$

где $\sigma_{\text{тр}}$ – нормальное к поверхности оснастки напряжения в материале; $\tau_{\text{тр}}$ – касательное напряжения в материале; S – максимальное сжимающее напряжение; $\varphi_{\text{тр}}$ – угол между поверхностью оснастки и максимальным сжимающим напряжением в материале у этой поверхности; ρ – угол внутреннего трения материала; K – коэффициент сцепления материала.

В работе [82] определен оптимальный шаг шнека для шнекороторного малогабаритного снегоочистителя, который составил два радиуса окружности вращения шнека, при обеспечении минимальной энергоемкости и максимальной пропускной способности.

В работе [83] определены стадии прессования сырья для получения топливных брикетов из биомассы по мере продвижения вдоль шнека, установлены зависимости между стадиями прессования, конструктивными и технологическими параметрами устройства и процесса прессования, а также разработана методика расчета крутящего момента вала шнека и требуемой мощности. Автор пришел к выводу, что на последнем витке шнека происходит наибольшее уплотнение материала.

Вопросы экструдирования зерна рассмотрены в работе [84] с целью уменьшения энергоемкости процесса обосновывается винтовая поверхность шнека переменного шагапресс-экструдера.

Анализ работ по шнековым механизмам выявил общие принципы поведения материала во время формования в шнековом прессе. Особенности определяются свойствами формируемой массы, в связи с чем, в каждом конкретном случае есть конструктивные и технологические нюансы, а главным направлением модернизации существующих конструкций шнековых прессов является повышение производительности при минимальных удельных энергозатратах.

1.5. Цель и задачи исследования

Целью работы является обоснование рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа, определяющее снижение энергоемкости процесса диспергирования и формования при сохранении куском требуемых показателей плотности и прочности.

В связи с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи**:

– произвести анализ современного состояния и перспектив развития фрезформовочных машин для добычи кускового торфа;

- произвести анализ, систематизацию и обоснование требований к сырью, конструкции формующего агрегата и готовой продукции при добыче кускового торфа;
- установить закономерности изменения энергоемкости формования торфа в зависимости от соотношения внутренних диаметров мундштука и напорной трубы, скорости вращения и шага витков шнека на стадии производства кускового торфа;
- произвести оценку плотности кускового торфа в зависимости от режимов его производства фрезформовочной машиной на стадии кондиционной влаги;
- разработать конструкцию и методику оценки показателя прочности кускового торфа на стадии кондиционной влаги;
- установить рациональные параметры и режимы работы шнекового пресса при производстве кускового торфа по критериям показателей плотности и прочности;
- разработать математические модели зависимости энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека при работе агрегата в рациональном режиме.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СЫРЬЮ, ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ И ПАРАМЕТРАМ ШНЕКОВОГО ПРЕССА

2.1. Требования к исходному сырью

Торф – сложное природное геологическое органическое образование. С позиций физико-химии он представляет собой многокомпонентную, многофазную, полидисперсную, высокомолекулярную систему с признаками полиэлектролитов и микромозаичной гетерогенности [85, 86]. Основой торфа являются растительные остатки твёрдых полимеров целлюлозной природы и продукты их биохимического распада, находящиеся в равновесии с водным раствором низко- и высокомолекулярных веществ. Неорганическая часть представлена в торфе компонентами торфяной воды, нерастворимыми минералами различного происхождения, адсорбционными образованиями, ионообменными органо-минеральными комплексами. Растения-торфообразователи, являющиеся исходным материалом, и широкий диапазон условий торфонакопления служат причиной многообразия состава и свойств торфа [85].

Для полного описания качеств торфяного сырья, как массы для экструзии, необходим достаточно большой набор различных параметров (значения вязкости в определённых режимах, пластичность, эластичность, период релаксации, индекс течения, показатели формуемости и т.д.). Эти параметры, как правило, напрямую связаны с такими характеристиками торфа, как вид, содержание влаги, степень разложения, дисперсность и др. Как показывает опыт работы с самыми разнообразными дисперсными системами, зачастую важно не абсолютное значение тех или иных величин, а их взаимное соотношение [86].

К показателям формуемости торфяного сырья следует отнести:

1) легкое развитие пластических деформаций в торфомассе, т.е. *способность принимать* форму, заданную мундштуком;

2) *сохранение приданной мундштуком формы* без видимых дефектов с плотностью куска, обеспечивающей проведение последующих технологических операций (сушка, транспортирование, складирование);

3) минимизация растрескивания сформованного куска, которое возникает в результате фазовых переходов, связанных с объемной усадкой торфа [2];

4) наличие волокон, определяющих структурный каркас будущего куска.

Качественный и количественный состав связанной воды изменяется с ростом степени разложения и дисперсности торфа. Преобладание внутриклеточной и капиллярной воды в крупных порах с малой энергией связи характерно для торфа низкой степени разложения. Торф высокой степени разложения содержит, в основном, иммобилизованную и осмотическую, а также капиллярную воду в мелких порах с более высокой энергией связи. Верховые виды торфа удерживают много влаги из-за высокой влагоемкости содержащихся в них растительных остатков и гидрофильных коллоидов, что затрудняет их обезвоживание и требует больших затрат энергии на обогащение по сравнению с низинными. Таким образом, из *природных факторов* на прочность кускового торфа влияют степень разложения, содержание гумуса и т.д.; из *технологических* – степень переработки, степень уплотнение массы, размер куска и др. Катионный и групповой состав различных видов торфа в значительной мере является следствием торфообразовательных процессов, определяющих, наряду со степенью разложения R и дисперсностью, структурообразование в ходе получения куска. Причем эта взаимосвязь является важнейшим фактором в производстве кускового торфяного топлива [42].

Верховой торф средней и высокой степени разложения более пластичен, чем насыщенный катионами низинный. При десорбции влаги в его объеме отсутствуют условия, вызывающие неоднородное агрегирование и локальные перенапряжения: низкая диссоциация функциональных групп и

повышенная подвижность макромолекул, образование плотных структур за счет непосредственного взаимодействия через функциональные группы.

В низинном торфе происходит компактно-коагуляционное образование структуры на основе взаимодействия через поливалентные катионы. Имеет место повышенное сопротивление усадке. Капиллярное давление развивается в центральных зонах сформованного куска, что вызывает неравномерный сдвиг и разрыв слабых связей между частицами торфа и появление микротрещин [86].

Прочность получаемого кускового торфа зависит от вида и типа торфа, зольности и степени разложения, а также от соотношения в торфе гуминовых и легкогидролизуемых веществ (таблица 2.1) [86].

Таблица 2.1 – Классификация сырья по прочности при производстве кускового торфяного топлива в зависимости от соотношения гуминовых кислот (ГК) и легкогидролизуемых веществ (ЛГ)

| Категория | Отношение ГК/ЛГ | Группа торфа и его характеристики (кислотность pH и степень разложения R) |
|---------------|--------------------|--|
| Прочная | Менее 1,5 | Верховой и переходный: моховая, травяно-моховая, травяная ($pH=2,8-3,8$; $20 \leq R \leq 35$). Низинный: травяно-моховая, моховая ($pH=2,8-3,8$; $10 \leq R \leq 20$). |
| Среднепрочная | 1,5–2,0 | Верховой и переходный: древесно-моховая, травяно-моховая, древесно-травяная ($pH=3,8-4,5$; $35 \leq R \leq 50$). Низинный: травяная, древесно-травяная, древесно-моховая ($pH=3,8-5,0$; $20 \leq R \leq 30$). |
| Низкопрочная | Более 2,0 | Верховой и переходный: древесная, древесно-травяная ($pH=4,5-5,2$; $R \geq 50$). Низинный: травяная, древесно-травяная, древесно-моховая, древесная ($pH=4,5-5,5$; $R \geq 30$). |

Лучшим, с точки зрения достигаемой прочности, является верховой и переходный торф со степенью разложения 20–35 % и низинный торф со

степенью разложения 10–20 %. Увеличение степени разложения ведет к ухудшению прочности получаемого кускового торфа.

Весь опыт производства кускового торфа был отображен в ГОСТ Р 51062-2011 [87], который определяет требования, предъявляемые к сырью для производства куска: зольность не более 23 %; степень разложения для низинного торфа не менее 15 %, для верхового – не менее 20 %; засоренность посторонними горючими примесями (куски размером более 25 мм) для низинного торфа – не более 20 %, для верхового торфа – не более 10 %. Также есть требования и по виду торфа для последующего производства куска, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Виды торфа для производства куска

| Вид торфа | Тип залежи | | |
|-----------------------|------------|------------|----------|
| | Верховой | Переходный | низинный |
| Осоковый | | + | + |
| Осоково-гипновый | | | + |
| Гипновый | | + | + |
| Сфагновый | | + | + |
| Осоково-сфагновый | | + | + |
| Шейхцериевый | + | + | |
| Сосново-пушицевый | + | | |
| Пушицевый | + | | |
| Пушицево-сфагновый | + | | |
| Шейхцериево-сфагновый | + | | |
| Фускум | + | | |
| Магелланикум | + | | |
| Комплексный | + | | |
| Сфагнуво-мочажинный | + | | |

Степень механической переработки, а также дисперсность неразрывно связаны с характеристиками исходного сырья, и, прежде всего, с предельным напряжением сдвига [88]. С уменьшением влагосодержания торфа

возрастает сопротивление сдвигу, и следует ожидать более интенсивный рост дисперсности. На плотность формованного торфа влияют дисперсность, условия формования и исходное содержание влаги. У более диспергированного торфа на последней стадии сушки наблюдается интенсивный рост плотности. Изменение плотности в зависимости от дисперсности происходит при однократном пропускании торфа через перерабатывающее устройство. С уменьшением исходной влаги торфа происходит снижение конечной плотности куска, которую можно повысить использованием активных формователей; оптимальной для мундштучного способа формования является исходное содержание влаги 82–84 %. Прочность формованного торфа находится в пропорциональной зависимости от дисперсности. Перемешивание – необходимое условие получения качественного кускового торфа, так как происходит равномерное распределение неразложившейся части, являющейся арматурным каркасом будущей формованной продукции [86]. Механическая переработка торфа – это процесс разрушения твердой фазы упруго-пластичной системы с переходом в вязко-пластичное состояние [89]. Предварительная механическая переработка ведет к улучшению свойств формуемости торфа с увеличением кратности пропускания через нее сырья. Однако имеется предел кратности переработки, обусловленный достижением не изменяющейся величины удельной поверхности 6 000 – 7 000 см²/г [89, 90].

Теоретический нижний предел формуемости по влаге составляет 40–45 %, а реальный для существующих перерабатывающих механизмов – 78–80% [91].

Верховой торф средней и высокой степени разложения более пластичен, чем насыщенный катионами низинный. При десорбции влаги в его объеме отсутствуют условия, вызывающие локальные перенапряжения. В низинном же торфе происходит структурообразование на основе взаимодействия через поливалентные катионы, в центральных зонах куска развивается повышенное давление, что способствует образованию

микротрещин [33]. Поэтому наилучшим, с точки зрения формуемости, является верховой торф, а многочисленные исследования показали, что он должен иметь начальное содержание влаги $w = 82\text{--}84\%$ и степень разложения $R = 25\text{--}35\%$.

2.2. Требования к готовой продукции

Требования к готовому кусковому коммунально-бытовому топливу можно условно разделить на две группы:

- обеспечение требуемой теплотворной способности;
- сохранение куском приданной мундштуком формы.

Обеспечение требуемой теплотворной способности определяется плотностью кускового торфа на стадии кондиционной влаги с отсутствием микродефектов и трещин после формования и сушки.

Сохранение целостности формы, заданной мундштуком определяется отсутствием крошимости и прочностью на изгиб, позволяющей проводить последующие технологические операции при производстве кускового торфа.

Существует несколько методов определения плотности кускового торфа через объем:

- для куска правильной формы – путем измерения размеров;
- в случае, если кусок не имеет правильной формы – с помощью волюменометра, методом гидростатического взвешивания или путем засыпки мелким песком [8].

Наиболее простым является объемный-весовой метод определения размеров путем измерения размеров и массы куска с последующим вычислением плотности [92].

Волюменометр – это цилиндрический сосуд с сообщающейся мерной трубкой, который заполняется обезвоженным керосином. В волюменометр помешают предварительно пропитанный в керосине и взвешенный образец кускового торфа и по разности отметок уровней жидкости в мерной трубке

определяют объем образца, а в последующем и плотность. Обезвоженный керосин применяется в связи с полным отсутствием набухания в нем кускового торфа даже при длительном хранении, что повышает точность определения внешнего объема [92, 93]. Существует также волюменометр Зегера, работающий по принципу вытеснения жидкости (закону Архимеда) и представляющий собой стеклянный сосуд с широким горлом и притертой пробкой, в которую вставлена небольшая трубка с шарообразным вздутием. В нижней части сосуда расположены два крана: один – для спуска жидкости; второй соединен посредством резиновой трубки с бюреткой, имеющей в верхней части шарообразное вздутие, а на конце бюретки расположена резиновая трубка [93].

Метод засыпки в песок – разновидность волюменометрического метода, в котором вместо керосина применяется песок – очищенный, высушенный и просеянный через сита с размером ячеек 0,25 мм [92].

Существовал метод определения плотности с помощью радиобура, производящего регистрацию рассеянного гамма-излучения, возникающего в результате взаимодействия первичных гамма-квантов источника с электронами окружающей среды. Измерение плотности основано на предположении о пропорциональности между количеством электронов в окружающей среде и плотностью вещества [92].

Прочность кускового торфа можно определить путем испытания на гидравлическом прессе либо посредством стандартного метода определения крошимости.

Существующие конструкции гидравлических прессов для испытания образцов на изгибную прочность имеют некоторые недостатки:

- наличие динамических нагрузок во время испытаний при использовании ручного привода;
- наличие удара в связи невозможностью регулирования скорости движения штока гидроцилиндра;

– низкая точность получаемых результатов изгибной прочности по давлению жидкости в системе вследствие инерционности гидросистемы.

Крошимость – это способность кускового торфа частично превращаться в крошку под влиянием погодным условий и действием механических нагрузок, которая определяется путем загрузки испытываемых образцов во вращающийся барабан с треугольной формой в разрезе с разделением кусков размером менее и более 25 мм [92, 93]. Механическая прочность кусков на истирание (истираемость) определяется по формуле:

$$P_{и} = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

где m_1 – масса кусков торфа до загрузки в барабан, кг; m_2 – масса кусков торфа после испытания (без мелочи, крошки), кг.

Плотность кускового торфа на стадии кондиционной влаги при отсутствии микродефектов и трещин после формования и сушки, определяющая теплотворную способность кускового торфа должна составлять 750–1 100 кг/м³ [94].

Прочностью на изгиб кускового торфа должна составлять не менее 3,5–4,5 МПа для того, чтобы проводить последующие технологические операции [94].

2.3. Конструкции шнековых прессов и их рабочие органы

Как показал анализ существующих конструкций фрезформовочных машин, лучшим с точки зрения простоты конструкции и качества получаемого результата является шнековый формователь. В настоящее время в промышленности наиболее широкое применение получили одношнековые прессы, в качестве определяющих параметров которых принимаются диаметр шнека D и отношение длины рабочей части шнека к его диаметру – L/D . Модели отечественных одношнековых прессов универсального назначения для переработки термопластов изготавливаются с отношением

длины рабочей части шнека к диаметру L/D равным 20, 25 и 30. Для специальных шнековых машин отношение L/D может быть увеличено до 35 или 40. Наибольшее распространение получили машины с отношением L/D равным 20 и 25, однако в последнее время намечается тенденция к увеличению отношения L/D до 30–35, что в совокупности с увеличением угловой скорости шнека приводит к существенному повышению производительности шнековых машин (прессов) [77]. Шнековые механизмы востребованы в производствах для получения формованной продукции из различного сырья.

Одношнековые варианты получили более широкое распространение по сравнению с двухшнековыми в связи с надежностью и простотой конструкции, уменьшенных нагрузках на подшипники передачи и привода, а также невысокой стоимостью и проверенной технологией. В одношнековом варианте исполнения весь канал шнека заполнен материалом, поэтому возникают более благоприятные условия для формования, чем в двухшнековом экструдере [78].

В шнековых прессах одновременно сочетаются несколько функций: транспортирование материала, его резание-перетираание-раздавливание, сжатие, гомогенизация и формование, которые осуществляются при продвижении торфа от загрузочной воронки к формующему мундштуку. В результате таких механических воздействий, переработанный торф принимает свойства – аморфность, пластичность, а после формования и сушки – прочность и высокую плотность. Причем торф, как и любой другой материал, попавший в загрузочную воронку шнекового пресса, постепенно продвигаясь по напорной трубе к мундштуку, тщательно перемешивается и перерабатывается, приобретая все большую однородность по дисперсности и влаге [95]. Производительность, необходимая мощность, удельный расход энергии и качество готового кускового торфа зависят при прочих равных условиях от степени переработки торфомассы [96, 97].

Конструкцию шнекового пресса фрезформовочной машины условно можно разделить на три зоны (рисунок 2.1): зона загрузки, зона сжатия и зона формирования.

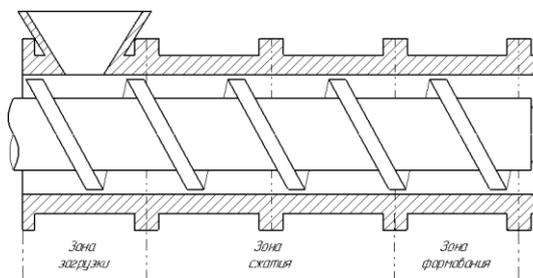


Рисунок 2.1 – Конструкция шнекового пресса фрезформовочной машины

Плотность материала начинает расти в зоне загрузки и растет на протяжении всей длины шнека. Наибольший рост плотности материала наблюдается в зоне формирования. Прочность формируемого материала по данным [78] начинает интенсивный рост в зоне загрузки и продолжается до определенной точки в зоне формирования, затем происходит затухание интенсивности роста этого показателя. Как правило, после шнека устанавливаются формующие мундштуки различной формы и диаметра, где происходит уплотнение и окончательное формирование кускового торфа.

Расположение мундштуков на фрезформовочной машине, как уже было отмечено ранее (глава 1), возможно осевое и радиальное (рисунок 2.2).

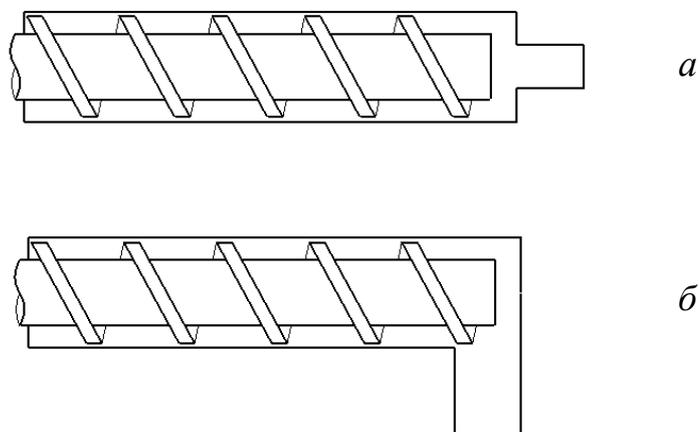


Рисунок 2.2 – Варианты расположения мундштуков фрезформовочной машины: а – осевое; б – радиальное

Согласно формуле Опейко Ф.А., напор, развиваемый шнеком [19, 98]:

$$\sigma = 4\pi\left(1 - \frac{2R}{3S}\right)\frac{L}{S}\tau, \quad (2.2)$$

где R , L и S – наружный радиус, длина напорной части, шаг витков шнека;
 τ – тангенциальное напряжение на внутренней поверхности кожуха.

По данным многочисленных исследований, зависимость напора, развиваемого шнеком от шага витков шнека, имеет параболическую форму с характерным экстремумом. Поэтому, максимальный напор может быть достигнут при условии

$$\frac{d\sigma}{dS} = 0, \quad (2.3)$$

Продифференцировав (2.2) и приравняв производную нулю, получим:

$$\frac{d\sigma}{dS} = \left(-4\pi\frac{L}{S^2} + \frac{8\cdot 2}{3}\pi\frac{L\cdot R}{S^3}\right)\tau = 0, \quad (2.4)$$

Из (2.4) Опейко Ф.А. получил оптимальное соотношение радиуса R и шага S витков шнека:

$$S = \frac{4}{3}R, \quad (2.5)$$

На практике [12, 77, 78, 84] шаг витков шнека принимается в пределах от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ его наружного диаметра $D_{ш}$. Следует также отметить, что, несмотря на значительное удорожание конструкции, очень хорошие результаты достигаются с использованием шнеков с переменным шагом [84]. В зоне загрузки, где наиболее выражены свойства транспортирования, оптимальным считается шаг витков $0,8D_{ш}$, а в зоне формования, где наибольшая осевая нагрузка на витки, оптимальным считается шаг витков $0,5D_{ш}$.

Подставляя (2.5) в (2.2) максимальный напор, развиваемый шнеком:

$$\sigma_{max} = 4\pi\frac{L}{\frac{4}{3}R}\left(1 - \frac{2R}{\frac{4}{3}R}\right)\tau = 4\pi\left(1 - \frac{6}{12}\right)\frac{3L}{4R}\tau = 2\pi\frac{3L}{4R}\tau = \frac{3}{2}\pi\tau\frac{L}{R} = \frac{3\pi\tau L}{D_{ш}}. \quad (2.6)$$

Профессором Солоповым С.Г. в 1946 году для определения потерь напора в шнековых формующих устройствах стирочных машин был впервые применен гидродинамический метод, который показал адекватность

реальным условиям при расхождении с опытными данными в пределах точности инженерных расчетов [99].

По мнению Солопова С.Г. за основу проектирования формующего аппарата можно принять положения, разработанные для гидромеханики жидких и газообразных тел. Для движения жидкости или газа по трубопроводу необходимо наличие давления, достаточного для преодоления динамических и статических потерь. Первые возникают от придания телу необходимой скорости, а вторые – от наличия сопротивлений местных и по длине трубопровода [99].

Сопротивление формующего аппарата с радиальным расположением мундштука складывается из:

- сопротивления от трения в напорном шнеке;
- сопротивления повороту потока на 90° ;
- сопротивления от сужения в мундштуке.

Сопротивление формующего аппарата с осевым расположением мундштука складывается из:

- сопротивления от трения в напорном шнеке;
- сопротивления от сужения в мундштуке [99].

Для фрезеровочных машин справедливы следующие рассуждения. Напор, создаваемый шнеком расходуется на потери по длине мундштука σ_l , отвечающие непосредственно за формование куска, местные потери $\sum \sigma_m$ на местных сопротивлениях и потери, необходимые для придания скорости торфомассе при выходе ее из мундштука σ_v :

$$\sigma = \sigma_l + \sum \sigma_m + \sigma_v, \quad (2.7)$$

где σ_l – потери напора, создаваемого по длине трубопровода, σ_v – напор, необходимый для придания скорости торфомассе при выходе из мундштука.

Местные потери напора, с учетом формулы Вейсбаха [100]:

$$\sigma_m = \zeta_1 \frac{v^2 \rho g}{2g} = \zeta_1 \frac{v^2 \rho}{2}, \text{ Па}, \quad (2.8)$$

где ζ_1 – коэффициент местного сопротивления, в данном случае – коэффициент сопротивления сужению; v – средняя скорость движения торфомассы после местного сопротивления (т.е. – в мундштуке), м/с; ρ – средняя плотность торфомассы, кг/м³.

Потери напора, создаваемого по длине трубопровода, согласно формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\sigma_l = \lambda \frac{l v^2 \rho}{d^2}, \text{ Па}, \quad (2.9)$$

λ – коэффициент трения вязко-пластичной среды о поверхность мундштука (или коэффициент Дарси); l – длина мундштука, м; d – диаметр мундштука, м [100].

Напор, необходимый для придания скорости торфомассе при выходе из мундштука:

$$\sigma_v = \frac{v^2 \rho}{2}, \text{ Па}, \quad (2.10)$$

где v – средняя скорость движения торфомассы как в мундштуке, так и при выходе из мундштука, м/с [100, 101].

Здесь необходимо сделать замечание: скорости движения торфомассы при входе в мундштук, в мундштуке и при выходе из мундштука на самом деле различаются. Но поскольку это различие несущественное, нами принято допущение об их равенстве средней скорости движения торфомассы.

Таким образом, общее уравнение потерь напора, развиваемого шнеком следующее:

$$\sigma = \sigma_l + \sum \sigma_m + \sigma_v = \lambda \frac{l v^2 \rho}{d^2} + \frac{v^2 \rho}{2} \sum \zeta + \frac{v^2 \rho}{2} = \frac{v^2 \rho}{2} (\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta + 1), \text{ Па}, \quad (2.11)$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на всем пути торфомассы.

Математическая модель определения напора для осевого расположения мундштука с сужением примундштучной части будет иметь вид:

$$\sigma = \frac{3\pi\tau L}{D_{ш}} = \frac{v^2 \rho}{2} (\lambda \frac{l}{d} + \zeta_1 + 1), \text{ Па} \quad (2.12)$$

В случае радиального расположения мундштука местные потери напора будут складываться из потерь напора на поворот потока торфомассы на 90° и потерь напора на сужение мундштука:

$$\sum \sigma_m = \sigma_{\text{пов}} + \sigma_{\text{суж}} = \zeta_2 \frac{v^2 \rho}{2} + \zeta_1 \frac{v^2 \rho}{2} = \frac{v^2 \rho}{2} (\zeta_2 + \zeta_1), \quad (2.13)$$

где ζ_2 – коэффициент сопротивления повороту; $\sigma_{\text{пов}}$ – потери напора на повороте потока; $\sigma_{\text{суж}}$ – потери напора от сужения.

В таком случае общее уравнение потери напора примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_l + \sum \sigma_m + \sigma_v = \sigma_l + \sigma_{\text{пов}} + \sigma_{\text{суж}} + \sigma_v = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2 \rho}{2} + \zeta_2 \frac{v^2 \rho}{2} + \zeta_1 \frac{v^2 \rho}{2} + \frac{v^2 \rho}{2} = \\ &= \frac{v^2 \rho}{2} (\lambda \frac{l}{d} + \zeta_1 + \zeta_2 + 1), \end{aligned} \quad (2.14)$$

Математическая модель определения напора для радиального расположения мундштука с сужением примундштучной части будет иметь вид:

$$\sigma = \frac{3\pi\tau L}{D_{\text{ш}}} = \frac{v^2 \rho}{2} (\lambda \frac{l}{d} + \zeta_1 + \zeta_2 + 1), \text{ Па} \quad (2.15)$$

Анализ уравнений (2.11) и (2.14) показывает, что в любом случае, потери напора выше в шнековом прессе с радиальным расположением мундштука).

Тангенциальное напряжение на внутренней поверхности кожуха τ и коэффициент трения вязко-пластичной среды (торфомассы) о внутреннюю поверхность мундштука λ для верхового торфа со степенью разложения $R = 20\%$ и влагой $w = 82,8\%$ изменяются от 8,5 до 10 кПа и от 0,03 до 0,09, соответственно, для различных степеней переработки [19].

Переходная зона между мундштуком и напорной частью шнека может иметь форму резкого, постепенного и плавного сужения (рисунок 2.3) [100].

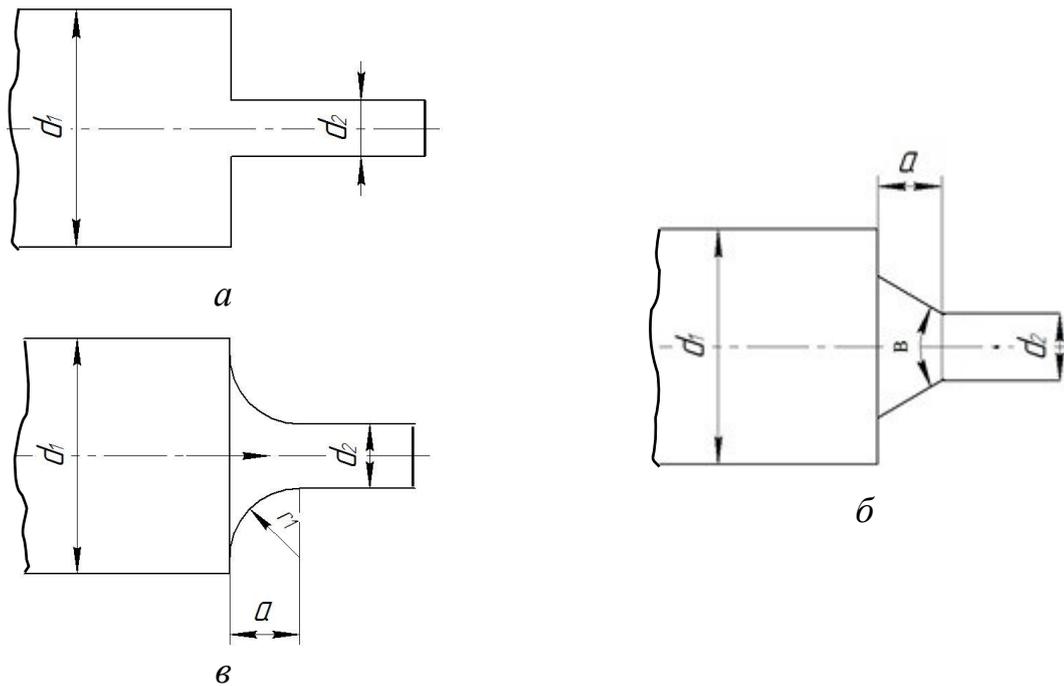


Рисунок 2.3 – Варианты переходной части напорной трубы и мундштука:
a – резкое сужение; *б* – постепенное сужение; *в* – плавное сужение

В случае любого сужения коэффициент местного сопротивления:

$$\zeta_1 = \xi \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right), \quad (2.16)$$

где S_2 – площадь живого сечения мундштука, S_1 – площадь живого сечения напорной трубы шнека; ξ – коэффициент смягчения сужения.

Для резкого сужения (рисунок 2.3 а) коэффициент смягчения сужения равен 0,5. В случае постепенного сужения (рисунок 2.3 б) величина коэффициента смягчения сужения зависит от центрального угла сужения β , определяется по экспериментальному графику (рисунок 2.4), причем минимальные потери напора наблюдаются при $\beta = 40\text{--}60^\circ$ при коэффициенте смягчения сужения $\xi = 0,1$. В случае плавного (рисунок 2.3 в) сужения величина ξ находится в зависимости от отношения r/d (где r – радиус скругления боковых стенок). Коэффициент смягчения сужения ξ достигает минимума ($\xi=0,03$) при $r/d = 0,2$, и далее остается постоянным (рисунок 2.5) [100].

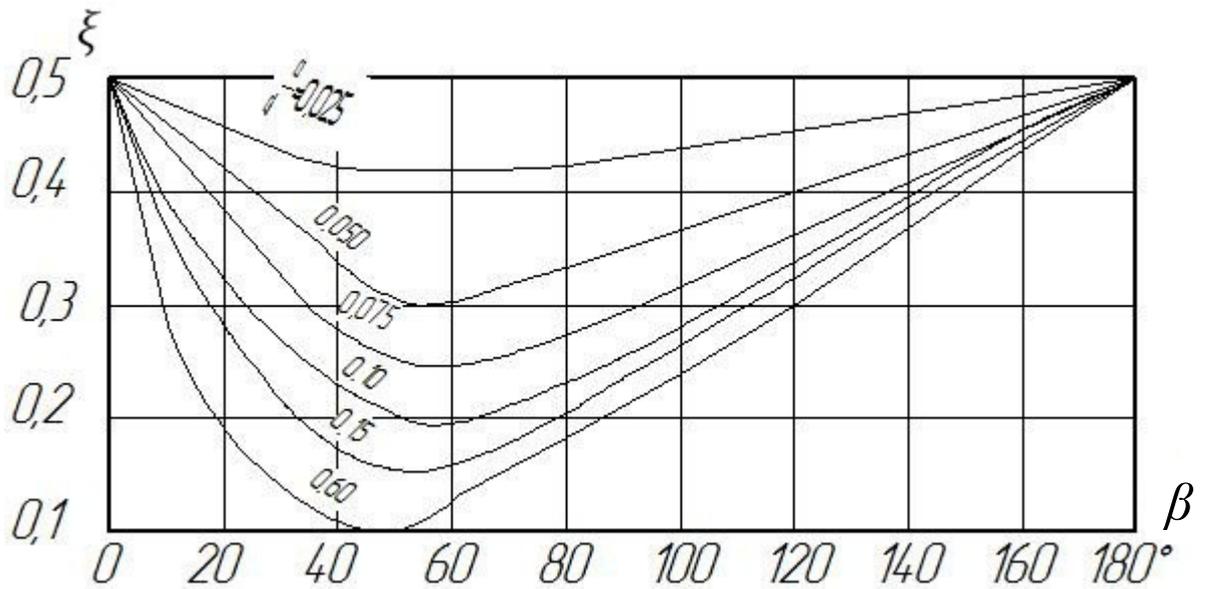


Рисунок 2.4 – Экспериментально полученная зависимость коэффициента смягчения сопротивления ξ от центрального угла сужения β в случае постепенного сужения для круглых цилиндрических труб

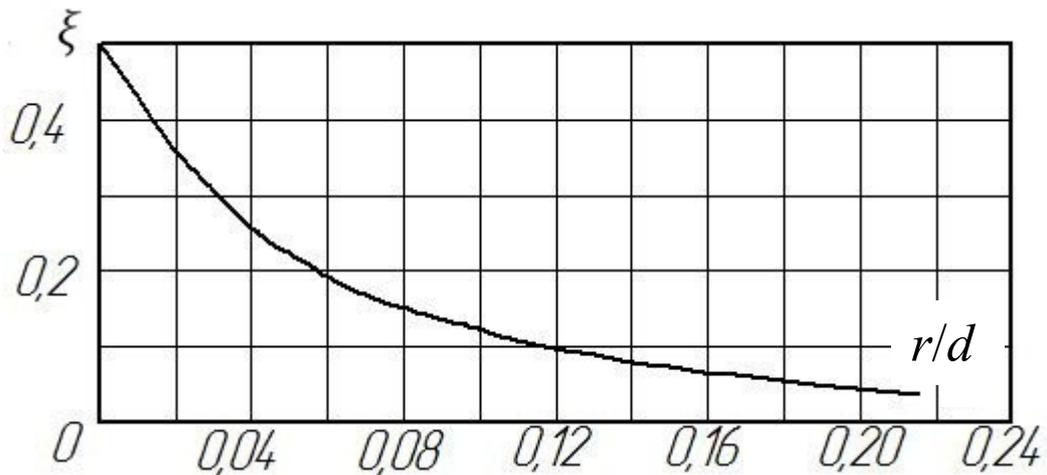


Рисунок 2.5 – Экспериментально полученная зависимость коэффициента смягчения сопротивления ξ от отношения r/d в случае плавного сужения для круглых цилиндрических труб

По форме плавного перехода примундштучной части различают мундштуки сферического и тороидального сечения (рисунок 2.6 а, б).

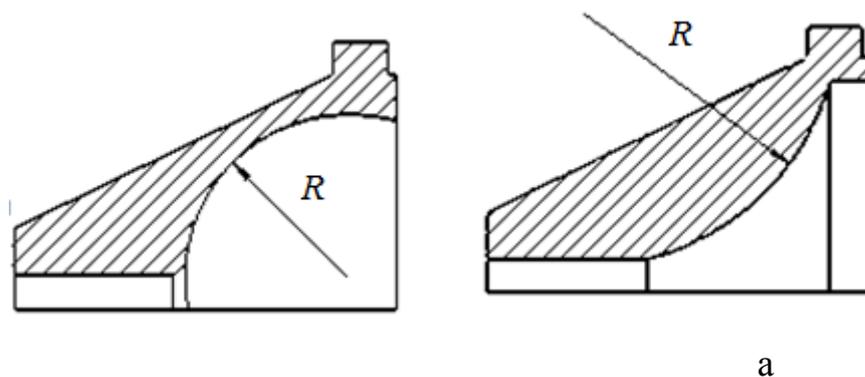


Рисунок 2.6 – Варианты исполнения плавного перехода примундштучной части фрезформовочной машины: а – сферическое; б – тороидальное

По экспериментальным данным [102] тороидальная форма плавного перехода примундштучной части обеспечивает минимальную энергоемкость процесса прессования. С другой стороны, тороидальная форма описывается радиусом окружности и являет собой ту же сферу. По этим же данным применение переходной примундштучной части пресса тороидального сечения может улучшить качество формируемой торфомассы, но одновременно происходит снижение угловой и линейной скоростей движения торфомассы, что может негативно сказываться на производительности машины в целом. Вместе с тем, следует отметить, что изготовление и сферических и тороидальных переходов намного увеличит стоимость машины. Поэтому наиболее рациональным решением следует считать применение конических (постепенных) переходов.

Оптимальная длина мундштука l исследована в работах В.И. Цветкова и В.К. Фомина. Этими авторами отмечено, что для улучшения качества формования, мундштук должен работать полной длиной и экспериментально установлено, что при скорости истечения торфомассы до 2 м/с, оптимальной является длина мундштука:

$$l = 3 \div 4d, \quad (2.17)$$

где d – внутренний диаметр мундштука.

Любые сопротивления, кроме потерь напора по длине, уменьшают рабочую длину мундштука. Их вид напрямую определяет характер движения и линии тока торфомассы в мундштуке (рисунок 2.7).

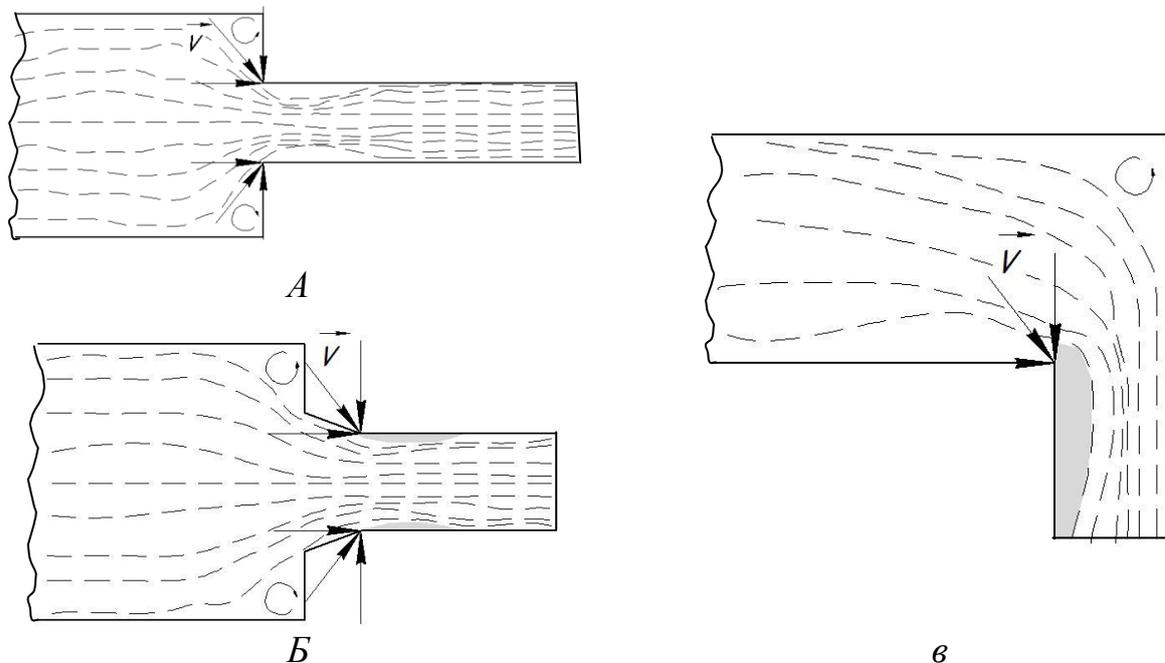


Рисунок 2.7 – Траектория движения частиц (линии тока торфомассы) в зависимости от расположения мундштука: *а* – осевое расположение мундштука с резким сужением; *б* – осевое расположение мундштука с постепенным сужением; *в* – радиальное расположение мундштука с резким сужением

В зависимости от варианта расположения мундштука (осевого или радиального) меняется физика процесса истечения торфомассы. Как видно из рисунка мундштук работает большей длиной при плавном переходе из напорной трубы. В случае любого сужения (рисунок 2.7) в начальном участке мундштука формируются зоны с пониженной плотностью и давлением торфомассы а в торцевых внутренних углах напорной трубы создаются зоны завихрения и налипания торфомассы. Максимальные потери рабочей длины мундштука наблюдаются в случае поворота на 90° , то есть в

случае радиального расположения мундштука, при коэффициенте сопротивления для мундштука круглого сечения $\zeta = 1,1$ [100].

Формование обеспечивается сопротивлением по длине мундштука, а все местные сопротивления снижают напор. Любое сужение (или поворот) снижает рабочую длину (зону действия) мундштука и увеличивает местные сопротивления. Таким образом, наиболее рациональным с точки зрения простоты исполнения, обеспечения качества формования и минимума энергозатрат является осевое расположение мундштука (или – мундштуков (рисунок 2.8)) с коническим переходом от напорной трубы к мундштуку с центральным углом сужения $\beta = 40\text{--}60^\circ$.

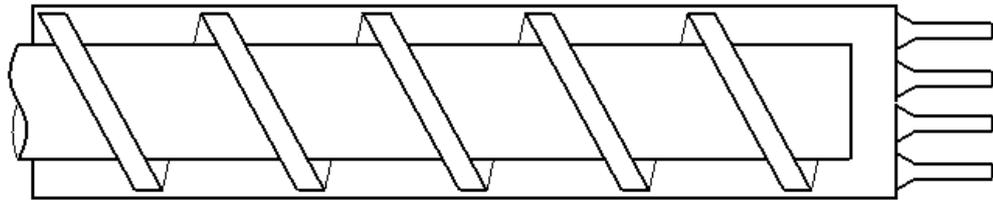


Рисунок 2.8 – Конструктивное исполнение постепенного перехода примундштучной части многопоточных мундштуков осевого расположения фрезформовочной машины для добычи кускового торфа

Фрезформовочные машины для стилки кускового торфа внаброс с осевым расположением многопоточных мундштуков и постепенным (коническим) переходом примундштучной части в мундштуки (рисунок. 2.8) обеспечат снижение потерь напора при производстве кускового торфа, а соответственно, снизят энергоемкость процесса формования.

2.4. Выводы по главе 2

1. Лучшим с точки зрения обеспечения качества формования является верховой торф с начальным содержанием влаги 82–84 % и степенью разложения 25–35 %.

2. Плотность кускового торфа на стадии кондиционной влаги с отсутствием микродефектов и трещин после формования и сушки, определяющая теплотворную способность кускового торфа должна составлять $750 - 1\ 100\ \text{кг/м}^3$.

3. Прочность на изгиб кускового торфа должна составлять не менее $3,5-4,5\ \text{МПа}$ для обеспечения возможности проведения последующих технологических операций.

4. Выведены аналитические модели, устанавливающие характер изменения максимального напора, создаваемого формующим шнеком при осевом и радиальном расположении мундштука.

5. Осевое расположение мундштука с коническим переходом от напорной трубы к мундштуку с центральным углом сужения $\beta = 40 - 60^\circ$ является наиболее рациональным с точки зрения простоты исполнения, обеспечения качества формования и минимума энергозатрат.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО ПРЕССА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ КУСКОВОГО ТОРФА

3.1. Задачи экспериментального исследования

Учитывая, что в настоящее время в России ведутся работы над проектированием различных модификаций фрезформовочных машин, представляется актуальным данное экспериментальное исследование, задачами которого являются:

- отработка методики оценки энергетических параметров формования в связи с физическими и геометрическими параметрами формующего агрегата;
- нахождение зависимости между энергоемкостью формования и качественно-количественными характеристиками продукции;
- отработка методики оценки прочностных характеристик кускового торфа;
- определение связи плотности и прочности кускового торфа, полученного методом формования шнековым прессом;
- изыскание путей снижения энергоемкости диспергирования и формования торфа без потери куском прочностных характеристик путем подбора рациональных параметров и режимов работы агрегата.

3.2. Описание опытной лабораторной установки, методика проведения исследований

Недостаточно изученными на сегодняшний день остаются вопросы о режимах формования – скорости вращения, шаге витков шнека, соотношении площадей живого сечения напорной трубы и мундштука.

С целью разрешения вышепоставленных вопросов был проведен лабораторный эксперимент по формованию комплексного верхового торфа степенью разложения $R = 25\text{--}30\%$ при среднем содержании влаги $w = 83,44$

% [97, 103–105]. Содержание влаги определялось по стандартной методике путем высушивания навески торфа с помощью анализатора влажности ЭЛВИЗ 2С (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Определение влаги исходного сырья с помощью прибора ЭЛВИЗ 2С

Поскольку в фрезформовочной машине во время экскавации из залежи перед попаданием в шнековый пресс торф измельчается, опытные образцы торфяного сырья были предварительно измельчены дополнительным диспергированием с отсевом древесных включений. Формование

проводилось на лабораторной установке (рисунок 3.2), схема которой представлена на рисунке 3.3 [106].



Рисунок 3.2 – Лабораторный шнековый пресс

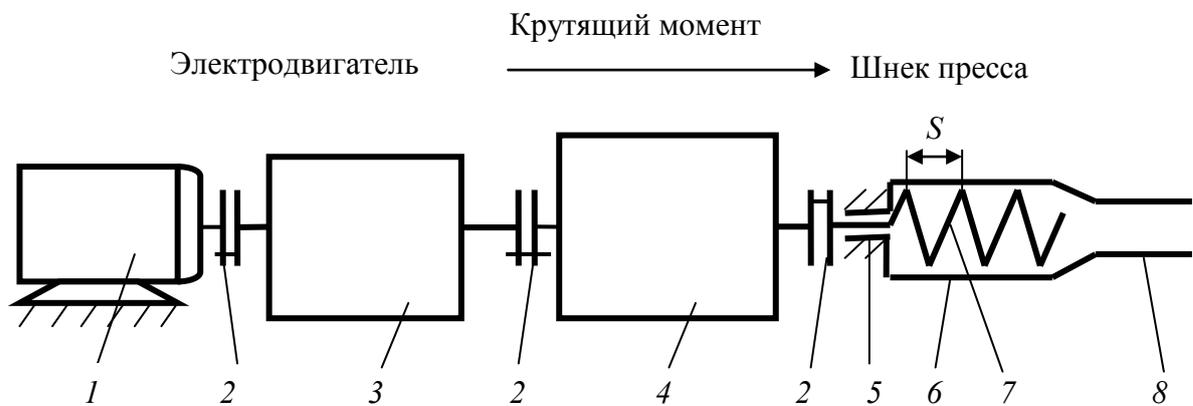


Рисунок 3.3 – Схема лабораторного шнекового пресса: 1 – электродвигатель; 2 – муфта соединительная; 3 – коробка передач; 4 – редуктор цилиндрический; 5 – опорные подшипники шнека; 6 – напорная труба (цилиндрический корпус); 7 – шнек; 8 – цилиндрический мундштук

Асинхронный электродвигатель переменного тока мощностью 10 кВт с частотой вращения ротора 1480 об/мин, 5-ти скоростная коробка передач и

цилиндрический редуктор с передаточным отношением $i_{ред} = 4,25$ позволяли изменять частоту вращения шнека от 55,81 до 429,86 об/мин (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Общее передаточное отношение привода лабораторного шнекового пресса $i_{общ}$ и число оборотов винта n_v , об/мин, при различных включенных передачах (1–5) на коробке передач с передаточным отношением i_n

| Параметры | $i_1=6,24$ | $i_2=3,32$ | $i_3=1,90$ | $i_4=1,0$ | $i_5=0,81$ | $i_{OX}=6,70^*$ |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------------|
| $i_{общ}$ | 26,520 | 14,110 | 8,075 | 4,250 | 3,443 | 28,475 |
| n_v , об/мин | 55,81 | 104,89 | 183,28 | 348,24 | 429,86 | 51,98 |

*Примечание. Литеры ОХ обозначают передаточные отношения и частоту вращения шнека при реверсном включении привода.

Пресс комплектовался тремя мундштуками внутренним диаметром 52, 60 и 92 мм и двумя шнеками с шагом витков $S = 50$ и 110 мм (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Сменные мундштуки и шнеки для пресса

В процессе экспериментов проводилось исследование работы шнекового пресса в холостом и нагруженном состоянии на 5-ти режимах, соответствующих 5-ти различным скоростям в коробке передач. Вычисление

мощности, необходимой для привода пресса на холостом ходу и под нагрузкой ($N_{\text{хх}}$ и N , Вт, соответственно) производилось по зависимостям:

$$N_{\text{хх}} = 3UI_{\text{хх}}\cos\varphi, \quad (3.1)$$

$$N = 3UI\cos\varphi, \quad (3.2)$$

где U – напряжение в одной из фаз электродвигателя, В; I – сила тока в одной из фаз электродвигателя, А; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности асинхронного двигателя, равный отношению активной мощности N , кВт, необходимой для совершения им полезной работы и преодоления механических потерь к полной мощности, потребляемой электродвигателем из сети N_s , кВт·А (для установленного на шнековом прессе двигателя $\cos\varphi=0,88$).

Измерение силы тока и напряжения производилось по блоку контрольных приборов (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5. Блок контрольных приборов

Полезная мощность $N_{\text{п}}$, Вт, определялась, как разница полной мощности и мощности холостого хода:

$$N_{\text{п}} = N - N_{\text{хх}}. \quad (3.3)$$

Скорость выхода формованного торфа из мундштука v , м/с, оценивалась по прикрепленному к мундштуку шаблону длиной $L = 0,15$ м и секундомеру (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Процесс формования торфа

Производительность прессы Q , м³/с, рассчитывалась по формуле:

$$Q = v \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.4)$$

где d – внутренний диаметр установленного мундштука, м.

Энергоемкость процесса диспергирования и формования A , Дж/м³, определялась по зависимости:

$$A = \frac{N_{\text{п}}}{Q}. \quad (3.5)$$

После формования на различных режимах куски торфа были разложены в специальные кюветы и подвергнуты сушке в мягком режиме на протяжении 25 суток (рисунок 3.7) до достижения среднего равновесного

содержания влаги $w = 23,12 \%$, измеряемой прибором ЭЛВИЗ 2С для последующей оценки плотности и прочности, т.к. известно, что максимальная прочность кускового торфа наблюдается при влаге 20–30 % [94].



Рисунок 3.7 – Сушка кускового торфа в мягком режиме до достижения среднего равновесного содержания влаги

Все опыты проведены с 5-ти кратной повторяемостью.

3.3. Оценка результатов расчета энергоёмкости производства кускового торфа

После проведенных расчетов и их анализа с отсевом промахов (приложение А) были получены графические зависимости средней по 5-ти опытам энергоёмкости от частоты вращения шнека при различных установленных мундштуках диаметром d и шнеках с шагом витком S (рисунки 3.8, 3.9).

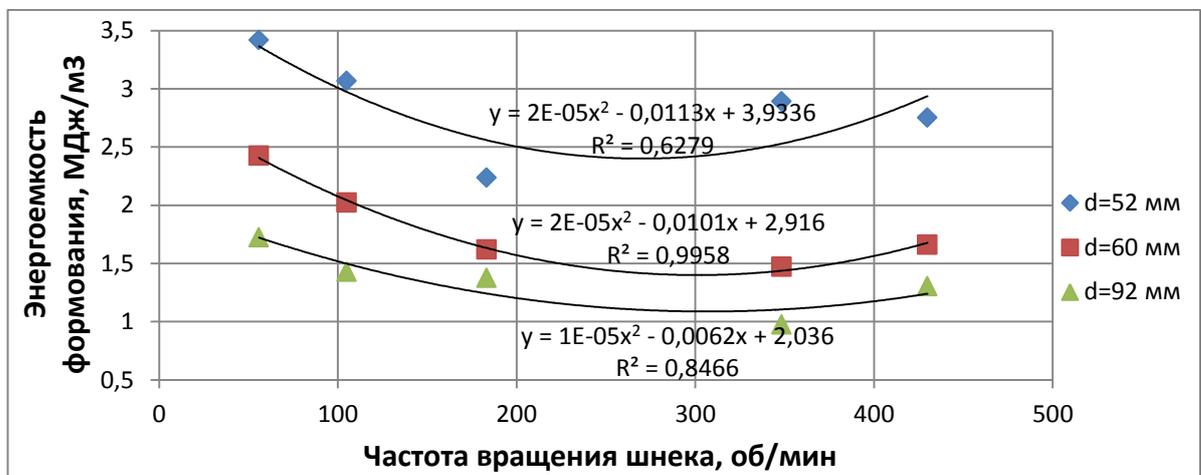


Рисунок 3.8 – Зависимость энергоёмкости формования от частоты вращения шнека с шагом витков $S = 110$ мм и диаметра мундштука d

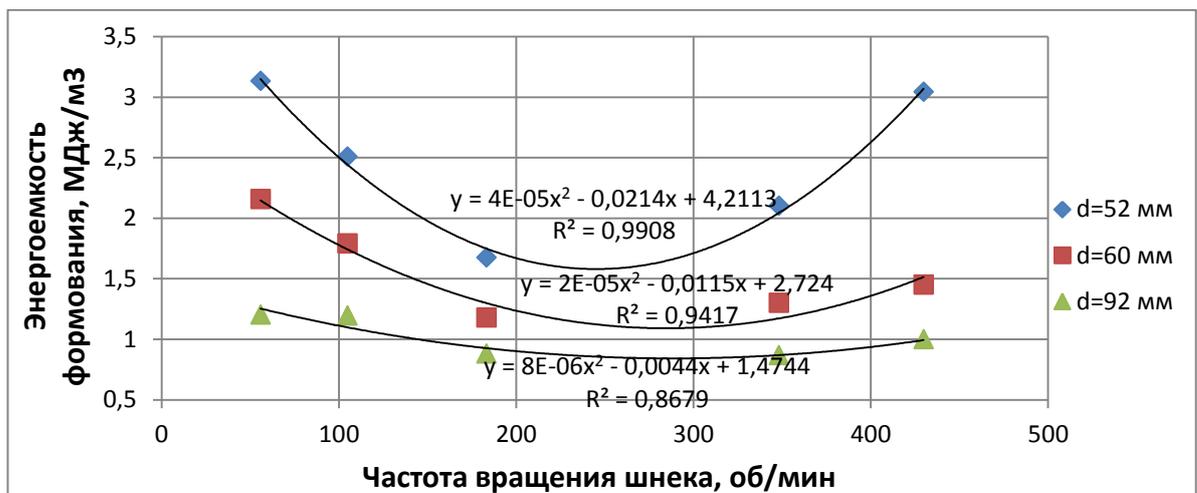


Рисунок 3.9 – Зависимость энергоёмкости формования от частоты вращения шнека с шагом витков $S = 50$ мм и диаметра мундштука d

Для всех представленных зависимостей получены уравнения регрессии с коэффициентами детерминации R^2 .

По имеющимся данным, для более удобного анализа построены зависимости энергоёмкости от частоты вращения шнека для различных диаметров установленных мундштуков при изменении шага витков шнека S (рисунки 3.10–3.12).

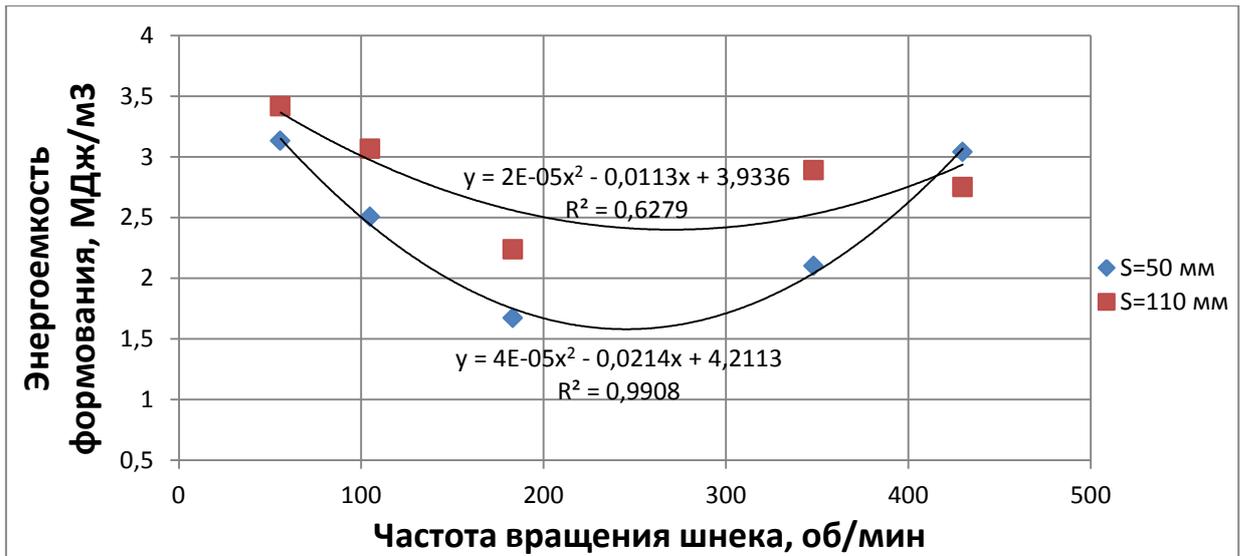


Рисунок 3.10 – Зависимость энергоёмкости формования от частоты вращения шнека при диаметре мундштука $d = 52$ мм

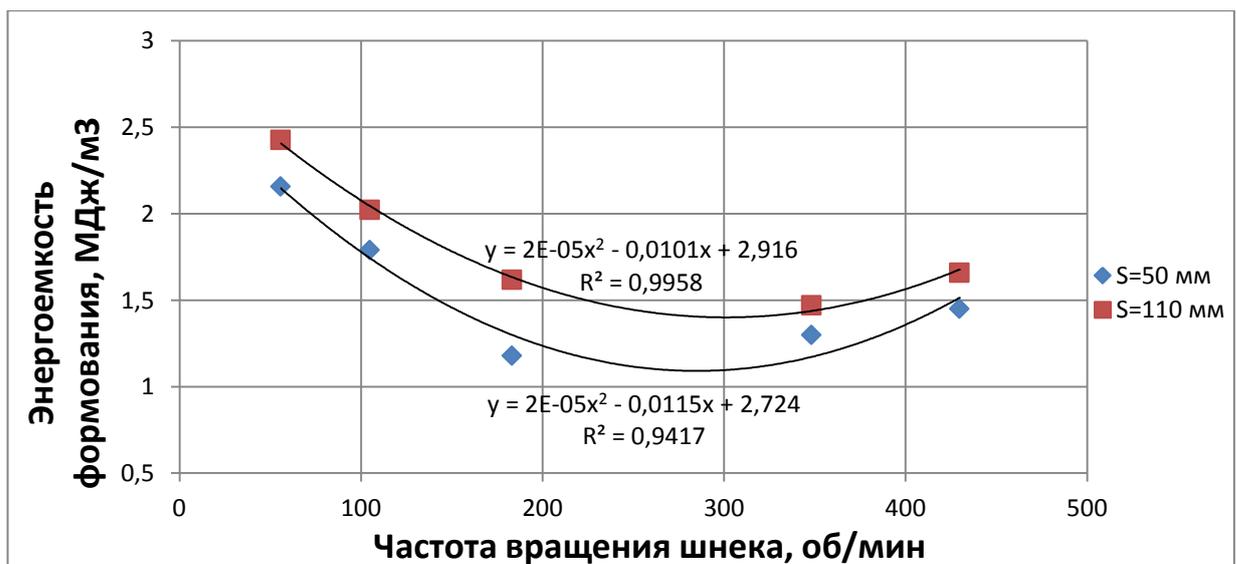


Рисунок 3.11 – Зависимость энергоёмкости формования от частоты вращения шнека при диаметре мундштука $d = 60$ мм

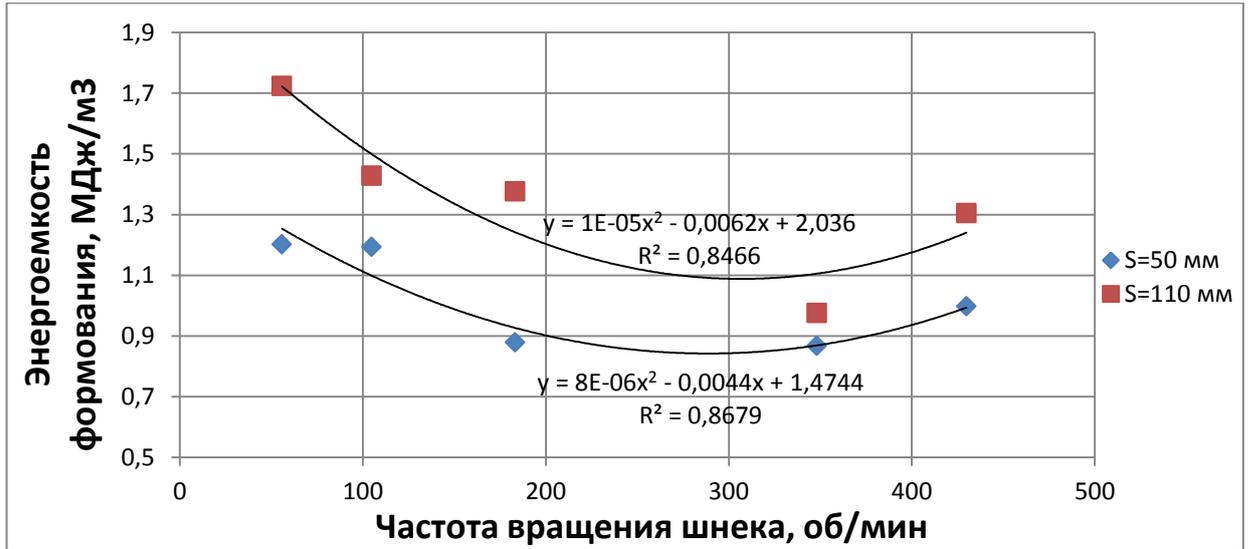


Рисунок 3.12 – Зависимость энергоёмкости формования от частоты вращения шнека при диаметре мундштука $d = 92$ мм

Как видно из рисунков 3.8–3.12, энергоёмкость формования напрямую зависит от частоты вращения и шага витков шнека, соотношения диаметров напорной трубы и мундштука. В исследовании энергоёмкость изменялась от 0,88 до 3,42 МДж/м³. Минимальное ее значение во всех экспериментах приходится на диапазон скорости вращения шнека 220–320 об/мин.

Для оценки сходства или различия статистических показателей зависимостей, представленных на рисунках 3.8–3.9 и подверженных влиянию случайных факторов, обусловленных различными значениями шага витков шнека, применялся метод проверки статистических гипотез [107, 108]. На начальном этапе была выдвинута нулевая гипотеза, состоящая в предположении, что генеральные средние исследованных зависимостей совпадают. При этом энергоёмкость определяется общим для двух случаев набором факторов. Критериями сравнения служила статистика $|\tilde{v}|$ с учетом объемов выборок n_{110} и n_{50} , параметра c и числа степеней свободы f_{110} и f_{50} :

$$|\tilde{v}| = \frac{|\bar{A}_{110} - \bar{A}_{50}|}{\sqrt{\frac{1}{n_{110}}D_{110} + \frac{1}{n_{50}}D_{50}}}, \quad (3.6)$$

$$c = \frac{\frac{1}{n_{110}}D_{110}}{\frac{1}{n_{110}}D_{110} + \frac{1}{n_{50}}D_{50}}, \quad (3.7)$$

$$f_{110} = n_{110} - 1, \quad (3.8)$$

$$f_{50} = n_{50} - 1, \quad (3.9)$$

где \bar{A}_{110} и \bar{A}_{50} – средние значения энергоёмкости по двум выборкам; D_{110} и D_{50} – несмещенные оценки дисперсий по двум выборкам:

$$D_{110} = \frac{\sum(A_{i110} - \bar{A}_{110})^2}{f_{110}}, \quad (3.10)$$

$$D_{50} = \frac{\sum(A_{j50} - \bar{A}_{50})^2}{f_{50}}, \quad (3.11)$$

где A_{i110} и A_{j50} – точечные значения энергоёмкости при формировании шнеками с шагом витков, соответственно, 110 и 50 мм.

Сравнению были подвергнуты выборки значений энергоёмкости, полученные при формировании с мундштуками внутренним диаметром 52, 60 и 92 мм шнеками с шагом витков 110 и 50 мм. В этом случае $n_{110} = n_{50} = 5$; $f_{110} = f_{50} = 4$. Расчет статистических характеристик выборок сведен в таблицы 3.2–3.4.

Таблица 3.2 – Статистические характеристики энергоёмкости формирования торфа мундштуком диаметром $d = 52$ мм шнеками с шагом витков $S = 110$ и 50 мм

| $A_{i110}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{i110} - \bar{A}_{110}$ | $(A_{i110} - \bar{A}_{110})^2$ |
|---|----------------------------|---|
| 3,4186 | 0,545504 | 0,297575 |
| 3,06681 | 0,193714 | 0,037525 |
| 2,23727 | -0,635826 | 0,404274 |
| 2,89143 | 0,018334 | 0,000336 |
| 2,75137 | -0,121726 | 0,014817 |
| $\sum A_{110} = 14,36548; \bar{A}_{110} = 2,873096$ | | $\sum(A_{i110} - \bar{A}_{110})^2 = 0,754527$ |
| $D_{110} = 0,18863$ | | |
| $A_{j50}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{j50} - \bar{A}_{50}$ | $(A_{j50} - \bar{A}_{50})^2$ |
| 3,13286 | 0,641934 | 0,412079 |
| 2,50619 | 0,015264 | 0,000233 |
| 1,67256 | -0,818366 | 0,669723 |
| 2,10132 | -0,389606 | 0,151793 |
| 3,0417 | 0,550774 | 0,303352 |
| $\sum A_{50} = 12,45463; \bar{A}_{50} = 2,490926$ | | $\sum(A_{j50} - \bar{A}_{50})^2 = 1,53718$ |
| $D_{50} = 0,384295$ | | |

Таблица 3.3 – Статистические характеристики энергоёмкости формования торфа мундштуком диаметром $d = 60$ мм шнеками с шагом витков $S = 110$ и 50 мм

| $A_{i110}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{i110} - \bar{A}_{110}$ | $(A_{i110} - \bar{A}_{110})^2$ |
|--|----------------------------|--|
| 2,42671 | 0,586904 | 0,344456 |
| 2,02381 | 0,184004 | 0,033857 |
| 1,61818 | -0,221626 | 0,049118 |
| 1,47085 | -0,368956 | 0,136129 |
| 1,65948 | -0,180326 | 0,032517 |
| $\sum A_{110} = 9,19903; \bar{A}_{110} = 1,839806$ | | $\sum (A_{i110} - \bar{A}_{110})^2 = 0,596077$ |
| $D_{110} = 0,149019$ | | |
| $A_{j50}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{j50} - \bar{A}_{50}$ | $(A_{j50} - \bar{A}_{50})^2$ |
| 2,15752 | 0,582396 | 0,339185 |
| 1,79009 | 0,214966 | 0,046210 |
| 1,17864 | -0,396484 | 0,157200 |
| 1,29905 | -0,276074 | 0,076217 |
| 1,45032 | -0,124804 | 0,015576 |
| $\sum A_{50} = 7,87562; \bar{A}_{50} = 1,575124$ | | $\sum (A_{j50} - \bar{A}_{50})^2 = 0,634388$ |
| $D_{50} = 0,158597$ | | |

Таблица 3.4 – Статистические характеристики энергоёмкости формования торфа мундштуком диаметром $d = 92$ мм шнеками с шагом витков $S = 110$ и 50 мм

| $A_{i110}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{i110} - \bar{A}_{110}$ | $(A_{i110} - \bar{A}_{110})^2$ |
|--|----------------------------|---|
| 1,72379 | 0,36198 | 0,13103 |
| 1,42798 | 0,06617 | 0,00438 |
| 1,37637 | 0,01456 | 0,00021 |
| 0,97557 | -0,38624 | 0,14918 |
| 1,305347 | -0,05646 | 0,00318 |
| $\sum A_{110} = 6,809057; \bar{A}_{110} = 1,36181$ | | $\sum (A_{i110} - \bar{A}_{110})^2 = 0,28798$ |
| $D_{110} = 0,071995$ | | |
| $A_{j50}, \text{МДж/м}^3$ | $A_{j50} - \bar{A}_{50}$ | $(A_{j50} - \bar{A}_{50})^2$ |
| 1,20212 | 0,17388 | 0,03023 |
| 1,19426 | 0,16602 | 0,02756 |
| 0,878953 | -0,149287 | 0,02229 |
| 0,86783 | -0,16041 | 0,02573 |
| 0,99803 | -0,03021 | 0,00091 |
| $\sum A_{50} = 5,141193; \bar{A}_{50} = 1,02824$ | | $\sum (A_{j50} - \bar{A}_{50})^2 = 0,10672$ |
| $D_{50} = 0,02668$ | | |

Расчет статистики $|\tilde{v}|$ и параметра c по зависимостям 3.6 и 3.7 для всех рассмотренных случаев приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Расчет статистики $|\tilde{v}|$ и параметра c для метода проверки статистических гипотез

| Параметры | Диаметр формующего мундштука d , мм | | |
|--------------------------|---------------------------------------|---------|--------|
| | 52 | 60 | 92 |
| Статистика $ \tilde{v} $ | 1,12903 | 1,0671 | 2,3745 |
| Параметр c | 0,32924 | 0,48443 | 0,7296 |

Состоятельность нулевой гипотезы на уровне значимости $\alpha = 0,05$ проверяется сравнением рассчитанного значения статистики $|\tilde{v}|$ с ее табличным значением $|v|(c; f_{110}; f_{50}; \alpha)$. Если табличное значение статистики превышает рассчитанное по формуле (3.6), то нулевая гипотеза принимается [107]. В рассматриваемых случаях:

– для мундштука диаметром $d = 52$ мм: $|v|(c; f_{110}; f_{50}; \alpha) = |v|(0,3292; 4; 4; 0,95) \approx 2,39$;

– для мундштука диаметром $d = 60$ мм: $|v|(c; f_{110}; f_{50}; \alpha) = |v|(0,48443; 4; 4; 0,95) \approx 2,33$;

– для мундштука диаметром $d = 92$ мм: $|v|(c; f_{110}; f_{50}; \alpha) = |v|(0,7296; 4; 4; 0,95) \approx 2,45$.

Поскольку во всех случаях табличные значения статистики выше рассчитанных, нулевая гипотеза принимается. Можно считать, что на энергоемкость формования кускового торфа различными шнеками с шагом витков 110 и 50 мм влияют одни и те же факторы, а сравниваемые средние являются оценками одной и той же генеральной средней.

3.4. Оценка плотности формованной торфяной продукции

По окончании сушки и контроля содержания влаги с помощью прибора ЭЛВИЗ 2С (рисунок 3.13) объемным методом с использованием цифрового штангенциркуля ШЦЦ 1-150-0,01 с точностью 0,01 мм (рисунок 3.14) и весов «Асом JW-1» с точностью 0,1 г (рисунок 3.15) была произведена оценка плотности кусков, полученных на различных режимах.

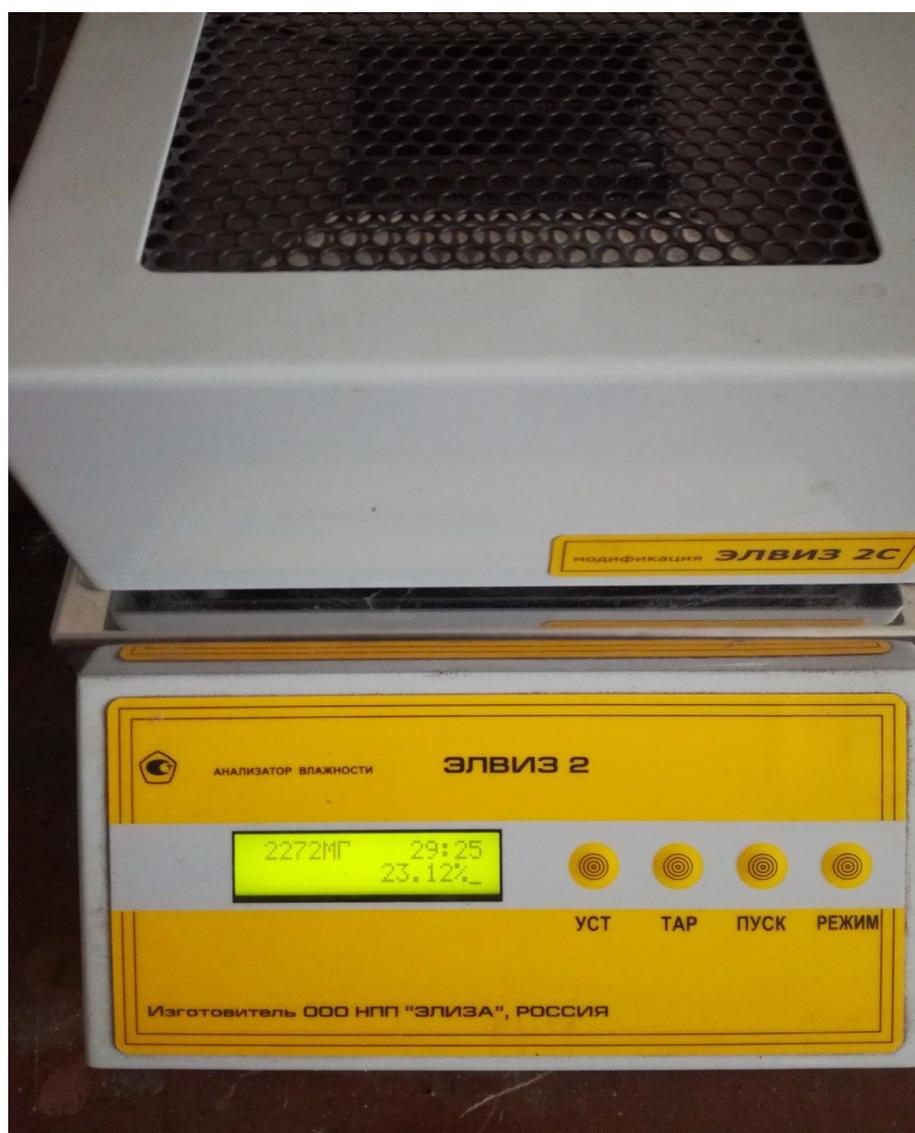


Рисунок 3.13 – Контроль среднего содержания влаги высушенного кускового торфа



Рисунок 3.14 – Измерений образцов кускового торфа цифровым штангенциркулем ШЦЦ 1-150-0,01



Рисунок 3.15 – Взвешивание образцов кускового торфа на весах АСОМJW-1

Оценка плотности кусков при среднем содержании влаги 23,12 % (приложение Б) показала, что, в зависимости от числа оборотов шнека, плотность меняется по логарифмическому закону (рисунки 3.16, 3.17).

Для всех представленных зависимостей получены уравнения регрессии с коэффициентами детерминации R^2 .

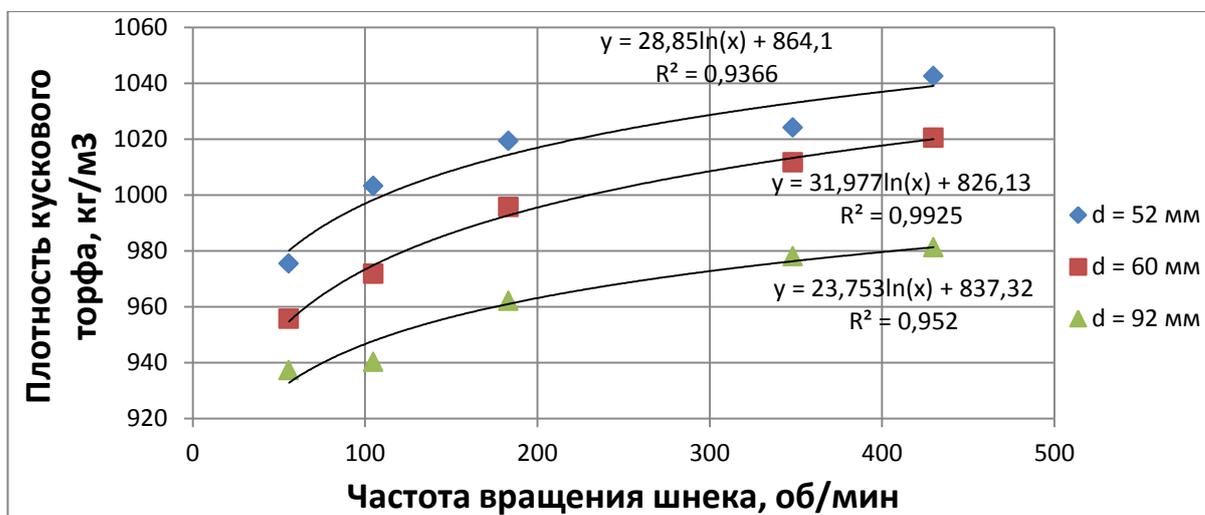


Рисунок 3.16 – Зависимость плотности кускового торфа от частоты вращения шнека с шагом витков $S = 110$ мм

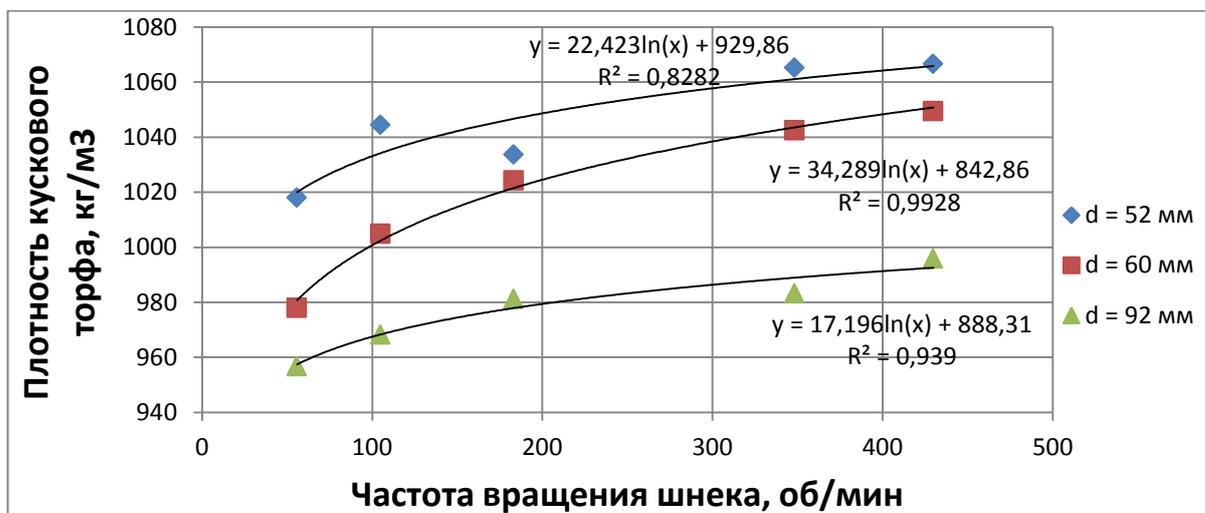


Рисунок 3.17 – Зависимость плотности кускового торфа от частоты вращения шнека с шагом витков $S = 50$ мм

Среди прочих способов управления энергоемкостью и плотностью (качеством!) в производственном процессе проще изменять количество и размеры мундштуков. Учитывая факт, что напор создается шнеком еще в напорной части трубы и продолжается в мундштуке, испытывая противодействие, для описания степени уплотнения торфа в иных условиях и

использования метода геометрического подобия, нами предлагается ввести понятие «коэффициент напора» k_H , который представляет собой отношение площадей живых сечений напорной трубы и мундштука:

$$k_H = \frac{D^2 - d_{BH}^2}{md^2}, \quad (3.12)$$

где D – внутренний диаметр напорной трубы; d_{BH} – наружный диаметр трубы, являющейся основой для спирали шнека; m – количество мундштуков; d – внутренний диаметр установленного мундштука.

В исследовании применялся шнековый пресс с параметрами $D = 102$ мм, $d_{BH} = 49$ мм. В этом случае коэффициенты напора k_H составили для мундштуков диаметром 52, 60 и 92 мм, соответственно 2,96, 2,22 и 0,95.

Учитывая тот факт, что минимальная энергоёмкость формирования наблюдается при скорости вращения шнека 220–320 об/мин, для скорости 270 об/мин построен график зависимости конечной плотности кускового торфа от энергоёмкости формирования (рисунок 3.18).

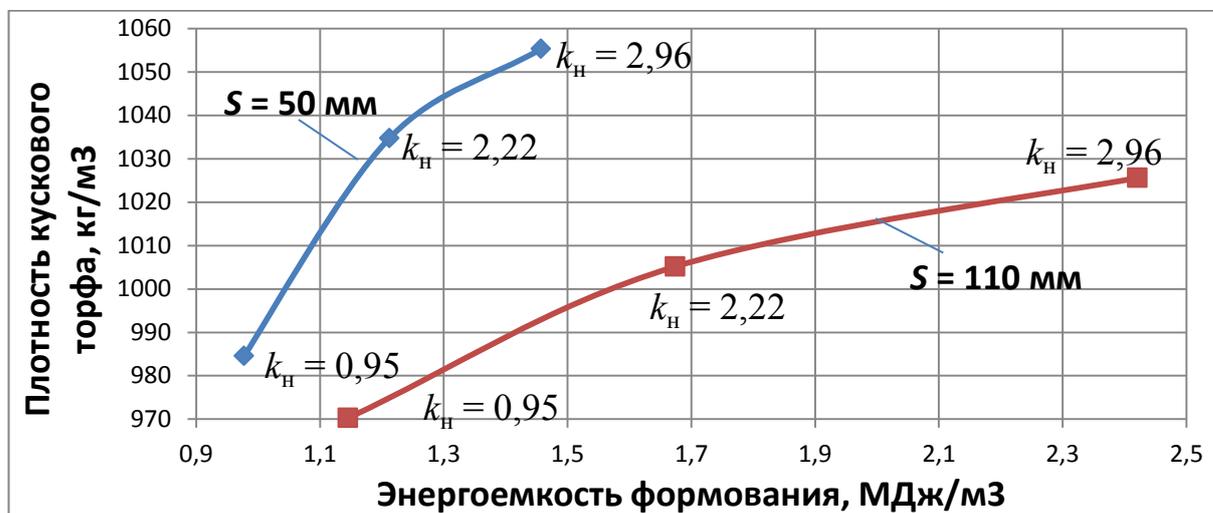


Рисунок 3.18 – Зависимость плотности кускового торфа от энергоёмкости формирования при скорости вращения шнека $n = 270$ об/мин

Как следует из полученной зависимости, интенсивность роста плотности куска при увеличении энергоёмкости заметно падает при изменении k_H с 2,22 до 2,96. Поэтому формирование при коэффициенте напора $k_H = 2,22$ можно считать рациональным режимом.

Бóльшая плотность сформованных кусков соответствует бóльшей частоте вращения и меньшему шагу витков шнека (рисунки 3.16, 3.17). Очевидно, что меньшая энергоемкость и бóльшая плотность кусков, достигаемая при использовании шнека с шагом витков 50 мм способствует работе машины в более рациональном режиме.

Полученная в ходе экспериментов плотность кусков после всех режимов формования и сушки превышает плотность, которую можно достигнуть для данного вида торфа в полевых условиях (до 900 кг/м³ [6, 94]), что можно объяснить мягким режимом сушки и ручным управлением всем процессом. Вместе с тем следует отметить, что наиболее рациональным режимом представляется частота вращения шнека $n = 220\text{--}320$ об/мин при коэффициенте напора $k_n = 2,22$ и шаге витков шнека $S = 0,5D$.

3.5. Определение прочности кускового торфа

Прочность кускового торфа, как никакая другая характеристика, дает представление о его качестве и сохранности в процессе производства и транспортирования. В настоящее время получили распространение два способа оценки прочности формованной торфяной продукции: определение механической прочности кускового торфа или брикета путем испытания во вращающемся барабане по крошимости кусков, обуславливающей, соответственно, относительную механическую прочность и испытание формованного торфа на изгиб на гидравлическом прессе [93, 109].

Учитывая, что большинство операций по производству кускового торфа после его формования (ворочка, валкование, переукаладка валков, уборка) связано с изгибными деформациями куска, испытания на изгиб являются более информативными. Использование гидравлического пресса не позволяет исключить из испытаний на прочность динамические нагрузки, неизбежно возникающие в случае его ручного привода, и обеспечить возможность регулирования скорости движения штока гидроцилиндра (для

предотвращения удара) в случае его гидропривода. Кроме того, оценка разрушающей нагрузки по давлению жидкости в системе весьма неточна.

С целью минимизации влияния на испытания вышеуказанных факторов и обеспечения возможности оперативного контроля качества продукции, разработана и создана конструкция стенда для испытания образцов на прочность с ручным многоступенчатым приводом, преобразующим вращательное движение штурвала в поступательное конического наконечника (рисунок 3.19) [110–112].

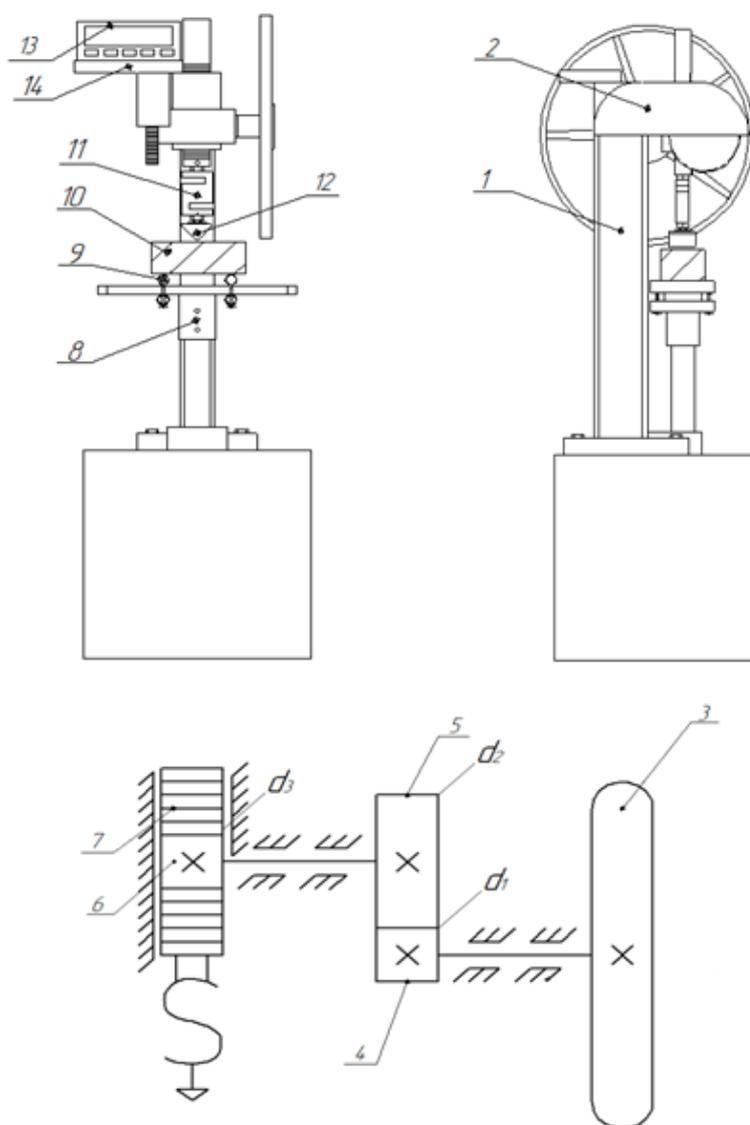


Рисунок 3.19 – Устройство и кинематическая схема стенда для реализации разрушающей нагрузки и контроля изгибной прочности формованной торфяной продукции

Стенд для реализации и измерения разрушающей нагрузки включает станину 1, кожух 2, закрывающий механический привод, включающий штурвал 3 диаметром 430 мм, соединенный через шестерню 4, зубчатое колесо 5, и шестерню 6 с вертикально расположенной зубчатой рейкой 7, столик 8 с установочными опорами 9 для крепления испытываемого образца 10, а также узел измерения разрушающей нагрузки. Узел измерения нагрузки выполнен в виде тензометрической S-образной скобы 11 с коническим наконечником 12 и закреплен на зубчатой рейке 7. Тензометрическая скоба 11 соединена с цифровым динамометром ДОУ-3-1И 13, установленным на столике 14 и имеющим верхний предел измерений 1 кН.

Стенд работает следующим образом. Испытываемый образец брикета или кускового торфа 10 располагают на установочные опоры 9 столика 8 и вращают штурвал 3, приводящий в движение механический привод, в результате которого перемещается зубчатая рейка 7 с установленной на ней тензометрической скобой 11 и коническим наконечником 12. В результате конический наконечник 12 внедряется в испытываемый образец 10 и происходит деформирование тензометрической скобы 11. При этом электрический сигнал поступает от тензометрической скобы 11 в цифровой динамометр по кабелю. Цифровой динамометр 13 работает в двух режимах: дискретной фиксации нагрузки и фиксации максимального усилия. При втором варианте цифровой динамометр 13 запоминает максимальную нагрузку, действующую на конический наконечник 12 при разрушении образца, и отражает его на цифровом дисплее.

Конструкция механического привода с многоступенчатым зубчатым зацеплением позволяет обеспечить плавное создание разрушающей нагрузки с коэффициентом усиления до 500, в результате чего отпадает необходимость приложения больших усилий к штурвалу. Таким образом, при ручном воздействии на обечайку штурвала с силой 10 Н разрушающая нагрузка, создаваемая устройством, составляет около 5 000 Н.

Выполнение установочных опор регулирующимися позволяет проводить испытания образцов различной формы и размеров, длиной испытываемой части от 75 до 300 мм, а шириной и высотой от 1 до 130 мм. Исполнение поверхности базисуемых установочных опор и конического наконечника в виде поверхностей с радиусом постоянной кривизны снижает риск скалывания и развития трещин, а, следовательно – повышает качество получаемых результатов.

Силовая схема создания нагрузки стендом и эпюра изгибающих моментов представлены на рисунке 3.20.

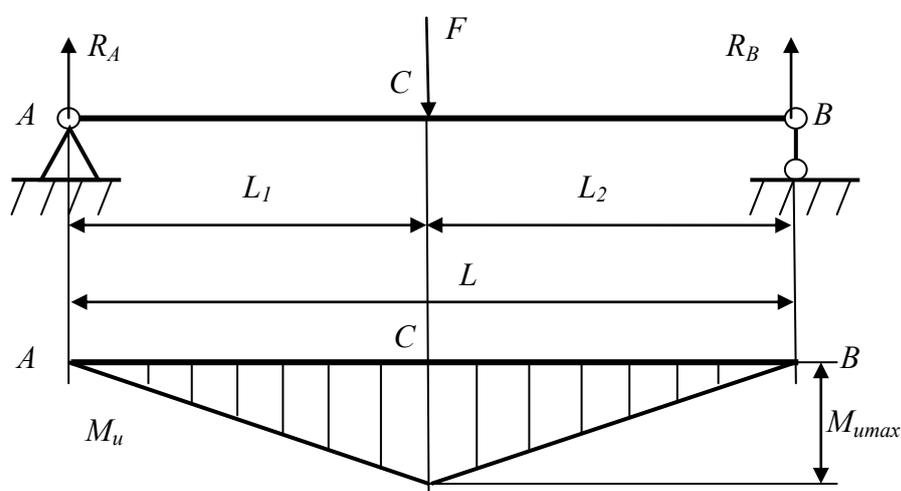


Рисунок 3.20 – Силовая схема создания нагрузки и эпюра изгибающих моментов

Приложенная в центре испытываемого на изгиб образца нагрузка F (Н) вызывает равные реакции установочных опор при условии равенства расстояний L_1 и L_2 (м):

$$R_A = R_B = \frac{1}{2}F . \quad (3.13)$$

Изгибающий момент (Н·м), действующий по всей длине образца имеет максимальное значение в точке C (точке приложения нагрузки) и определяется по формуле:

$$M_{umax} = R_A \frac{L}{2} = \frac{1}{2}F \frac{L}{2} = \frac{FL}{4} . \quad (3.14)$$

Прочность образца на изгиб (Па) в наиболее нагруженной точке может быть определена, как отношение максимального изгибающего момента, действующего в сечении к моменту сопротивления образца изгибу W_x (м³):

$$\sigma_u = \frac{M_{umax}}{W_x}. \quad (3.15)$$

Зная, что момент сопротивления круглого образца определяется по зависимости

$$W_{xкр} = \frac{\pi d_o^3}{32}, \quad (3.16)$$

где d_o – наружный диаметр образца (м),

а момент сопротивления прямоугольного образца определяется по формуле

$$W_{xпр} = \frac{bh^2}{6}, \quad (3.17)$$

где b и h – ширина и высота сечения образца (м), соответственно [113],

можно получить конечные формулы для вычисления изгибающих напряжений $\sigma_{икр}$ и $\sigma_{ипр}$, соответственно, для круглых и прямоугольных образцов формованной торфяной продукции с учетом зависимостей (3.16) и (3.17):

$$\sigma_{икр} = \frac{8FL}{\pi d_o^3}, \quad (3.18)$$

$$\sigma_{ипр} = \frac{1,5FL}{bh^2}. \quad (3.19)$$

Формулы (3.18) и (3.19) при испытании образцов на изгиб учитывают и расстояние между установочными опорами (L) и форму сечения кускового торфа или брикета.

Таким образом, для испытания образцов формованной торфяной продукции на прочность с помощью описанного выше стенда, следует: измерить геометрические характеристики сечения испытываемого образца; выставить необходимое расстояние между установочными опорами; включить цифровой динамометр, дав ему прогреться в течение 10 мин обнулить показания и перевести в режим фиксации максимального значения разрушающей нагрузки; поместить на установочные опоры стенда испытываемый образец; штурвалом подвести конический наконечник стенда

к образцу; медленно вращая штурвал, довести нагрузку до максимального значения, при которой образец разрушается; занести в журнал наблюдений зафиксированное на цифровом динамометре значение максимальной нагрузки F ; определить по формулам (3.18) или (3.19) прочность образца; эксперимент повторить 5–6 раз на однотипных образцах для достижения корректности результатов.

Известно, что кусковой торф набирает максимальную прочность при содержании влаги в интервале 20–30 % (4–6 МПа) [11, 74, 94]. Поэтому, после формования на различных режимах [97, 103–105] и сушки в мягком режиме ($t=17-21^{\circ}\text{C}$, $W=81-85\%$) на протяжении 25 суток до достижения среднего равновесного содержания влаги $w = 23,12\%$, наравне с определением плотности объемно-весовым методом (п. 3.4) была определена прочность кусков на разработанном стенде (рисунок 3.21) по приведенной выше методике (приложение В).



Рисунок 3.21 – Испытание на изгибную прочность образцов кускового торфа круглого сечения

В ходе стандартной статистической обработки данных получены логарифмические кривые (рисунки 3.22, 3.23), вид которых весьма близок к зависимостям, полученным для плотности куска (п. 3.4).

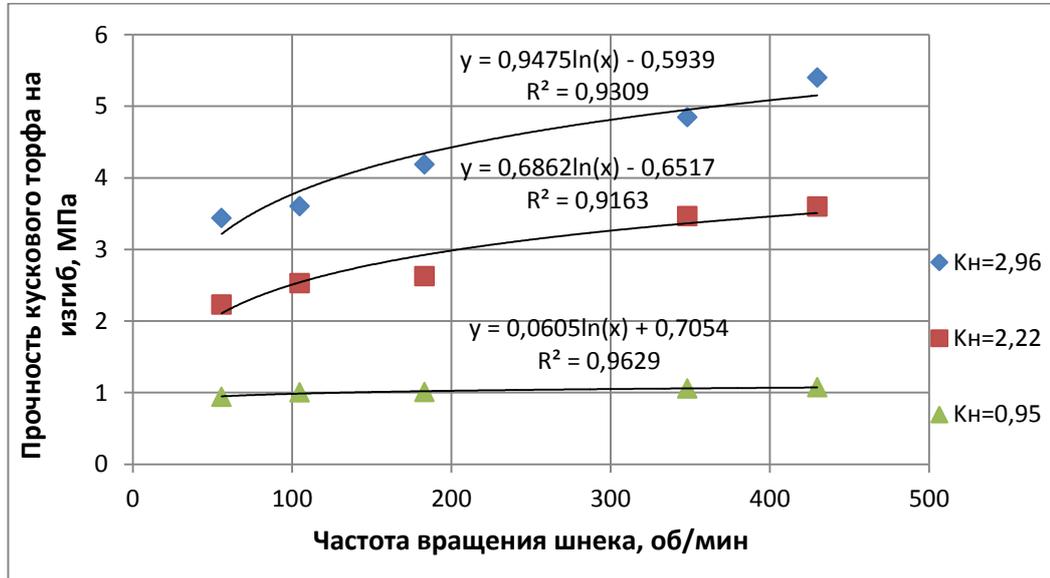


Рисунок 3.22– Зависимость прочности кускового торфа от частоты вращения шнека при формовании прессом с шагом витков $S = 110$ мм для коэффициентов напора k_H

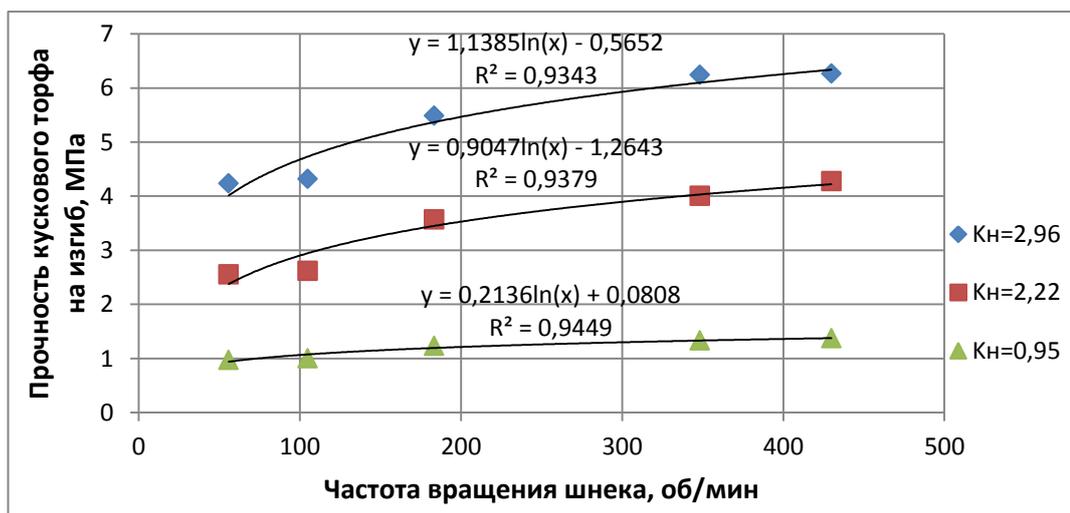


Рисунок 3.23 – Зависимость прочности кускового торфа от частоты вращения шнека при формовании прессом с шагом витков $S = 50$ мм для коэффициентов напора k_H

Поскольку минимальная энергоёмкость формования наблюдается при скорости вращения шнека 220–320 об/мин, для скорости 270 об/мин, как и в случае с плотностью, построен график зависимости прочности кускового торфа от энергоёмкости формования для трех различных коэффициентов напора, реализованных в ходе проведенного исследования (рисунок 3.24).

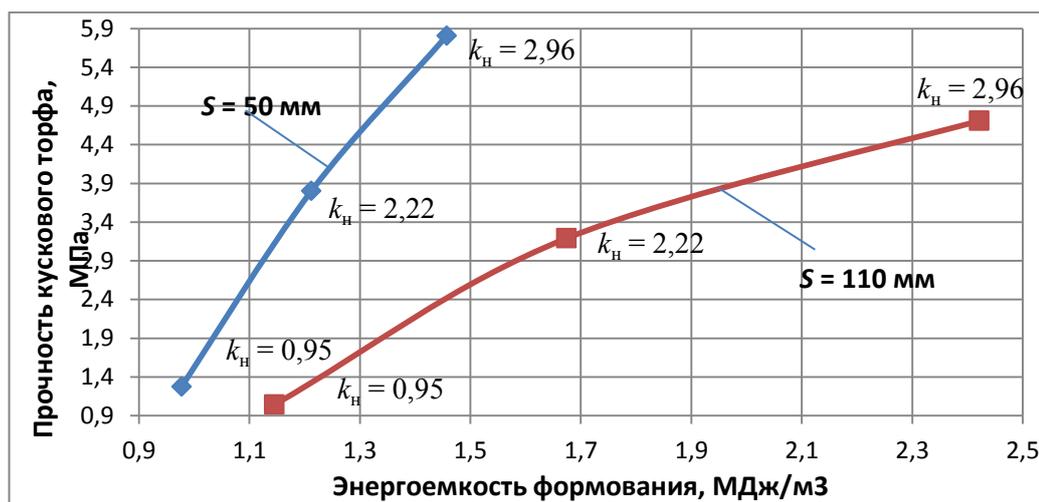


Рисунок 3.24 – Зависимость прочности на изгиб высушенного кускового торфа от энергоёмкости формования при частоте вращения шнека $n = 270$ об/мин для различных коэффициентов напора k_H

Как следует из полученной зависимости (рисунок 3.24), интенсивность роста прочности куска при увеличении энергоёмкости падает при изменении k_H от 2,22 до 2,96. Поэтому формование при коэффициенте напора $k_H=2,22$ можно считать рациональным режимом.

Полученные результаты по оценке прочности кускового торфа согласуются с известными ранее данными [74, 94], но получены с меньшими затратами, поскольку при испытании применялось ручное механическое оборудование. При этом закругленные края испытательного узла станда обеспечивали при испытаниях разрушение при «чистом» изгибе, а не изгибе со скалыванием через образование трещин. Последнее является чрезвычайно важным обстоятельством, т.к. позволяет создавать режимы нагружения близкие к существующим в реальных условиях.

Поскольку формы кривых зависимостей прочности от энергоемкости очень схожи с зависимостями плотности от энергоемкости (п. 3.3, [97, 103–105]), то вполне естественно, что при наличии такой особенности необходимо выявить корреляционную связь между прочностью кускового торфа на изгиб и его плотностью, что и было сделано нами.

3.6. О корреляционной связи плотности и прочности кускового торфа на изгиб

Схожесть форм кривых, полученных на рисунках 3.16, 3.17 и 3.22, 3.23 позволяет сделать предположение о тесной связи прочности на изгиб и плотности кускового торфа, в результате которой, зависимость между плотностью и прочностью кускового торфа на изгиб можно было бы аппроксимировать прямыми линиями. Для проверки этого предположения был произведен корреляционный анализ [107, 114] с расчетом коэффициентов корреляции:

$$r_{\sigma_{и}\rho} = \frac{\sum(\rho - \bar{\rho})(\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})}{\sqrt{\sum(\rho - \bar{\rho})^2 \sum(\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})^2}}, \quad (3.20)$$

где ρ и σ – точечные значения плотности и прочности на изгиб; $\bar{\rho}$ и $\bar{\sigma}$ – их средние значения в объеме выборки из $n = 5$ серий опытов.

Ошибка коэффициента корреляции при числе опытов $n < 100$:

$$m_r = \sqrt{\frac{(1 - r_{\sigma_{и}\rho}^2)}{f}}, \quad (3.21)$$

где $f = n - 2$ – число степеней свободы.

Коэффициент корреляции является значимым в 1-м приближении, если

$$t_r = \frac{|r_{\sigma_{и}\rho}|}{m_r} > 3. \quad (3.22)$$

Все расчеты сведены в таблицы 3.6 и 3.7.

Более строгое заключение о значимости коэффициента корреляции получено путем его сравнения с критическим $r_{кр}$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f = 3$ ($r_{кр} = 0,88$) [107].

Таблица 3.6 – Расчет коэффициентов корреляции плотности и прочности на изгиб кускового торфа при формовании шнеком с шагом витков $S = 110$ мм

| ρ , кг/м ³ | $\sigma_{\text{н}}$, МПа | $\rho - \bar{\rho}$ | $\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}}$ | $(\rho - \bar{\rho})^2$ | $(\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}})^2$ | $(\rho - \bar{\rho}) \times (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}})$ |
|---|--|---------------------|---|--|--|--|
| $d = 52$ мм; $k_{\text{н}} = 2,96$ | | | | | | |
| 975,54 | 3,4386 | -37,44 | -0,857 | 1401,7536 | 0,7344 | 32,0861 |
| 1003,31 | 3,6037 | -9,67 | -0,6919 | 93,5089 | 0,4787 | 6,6907 |
| 1019,38 | 4,1869 | 6,4 | -0,1087 | 40,96 | 0,0118 | -0,6957 |
| 1024,12 | 4,8496 | 11,14 | 0,554 | 124,0996 | 0,3069 | 6,1716 |
| 1042,54 | 5,3993 | 29,56 | 1,1037 | 873,7936 | 1,2182 | 32,6254 |
| $\sum \rho =$ =5064,89; $\bar{\rho} =$ =1012,98 | $\sum \sigma_{\text{н}} =$ =21,4781 $\bar{\sigma}_{\text{н}} =$ =4,2956 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =2534,1157 | $\sum (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}})^2 =$ =2,75 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}}) =$ =76,8781 |
| $r_{\sigma_{\text{н}}\rho} = \frac{76,8781}{\sqrt{2534,1157 \cdot 2,75}} = 0,921$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,921^2)}{5-2}} = 0,2249$; $t_r = \frac{ 0,921 }{0,2249} = 4,095$; $r_{\text{кр}} = 0,88$ | | | | | | |
| $d = 60$ мм; $k_{\text{н}} = 2,22$ | | | | | | |
| 955,75 | 2,2323 | -35,39 | -0,5572 | 1252,5936 | 0,3105 | 19,7193 |
| 971,85 | 2,5271 | -19,29 | -0,2624 | 372,1813 | 0,0689 | 5,0617 |
| 995,77 | 2,1256 | 4,628 | -0,6639 | 21,4184 | 0,4408 | -3,0725 |
| 1011,77 | 3,4644 | 20,628 | 0,6749 | 425,5144 | 0,4555 | 13,9218 |
| 1020,57 | 3,598 | 29,428 | 0,8085 | 866,0072 | 0,6537 | 23,7925 |
| $\sum \rho =$ =4955,71; $\bar{\rho} =$ =991,142 | $\sum \sigma_{\text{н}} =$ =13,9474 $\bar{\sigma}_{\text{н}} =$ =2,7895 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =2937,7149 | $\sum (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}})^2 =$ =1,9294 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}}) =$ = 59,4228 |
| $r_{\sigma_{\text{н}}\rho} = \frac{59,4228}{\sqrt{2937,7149 \cdot 1,9294}} = 0,789$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,789^2)}{5-2}} = 0,355$; $t_r = \frac{ 0,789 }{0,355} = 2,227$; $r_{\text{кр}} = 0,88$ | | | | | | |
| $d = 92$ мм; $k_{\text{н}} = 0,95$ | | | | | | |
| 937,39 | 0,9428 | -21,50 | -0,0747 | 462,336 | 0,0056 | 1,6061 |
| 940,35 | 1,0021 | -18,54 | -0,0151 | 343,8058 | 0,0002 | 0,2799 |
| 962,15 | 1,0097 | 3,258 | -0,0078 | 10,6146 | 0,00006 | -0,0254 |
| 978,18 | 1,0574 | 19,288 | 0,0399 | 372,0269 | 0,0016 | 0,7696 |
| 981,39 | 1,0755 | 22,498 | 0,058 | 506,16 | 0,0034 | 1,3049 |
| $\sum \rho =$ =4799,46; $\bar{\rho} =$ =958,892 | $\sum \sigma =$ =5,0875; $\bar{\sigma}_{\text{н}} =$ =1,0175 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =1694,943 | $\sum (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}})^2 =$ =0,01086 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times (\sigma_{\text{н}} - \bar{\sigma}_{\text{н}}) =$ =3,9351 |
| $r_{\sigma_{\text{н}}\rho} = \frac{3,9351}{\sqrt{1694,943 \cdot 0,01086}} = 0,917$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,917^2)}{5-2}} = 0,23$; $t_r = \frac{ 0,917 }{0,23} = 3,987$; $r_{\text{кр}} = 0,88$ | | | | | | |

Таблица 3.7 – Расчет коэффициентов корреляции плотности и прочности на изгиб кускового торфа при формовании шнеком с шагом витков $S = 50$ мм

| ρ , кг/м ³ | $\sigma_{и}$, МПа | $\rho - \bar{\rho}$ | $\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и}$ | $(\rho - \bar{\rho})^2$ | $(\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})^2$ | $(\rho - \bar{\rho}) \times (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})$ |
|---|--|---------------------|---------------------------------|--|---|---|
| $d = 52$ мм; $k_{и} = 2,96$ | | | | | | |
| 1017,96 | 4,2354 | -27,61 | -1,0745 | 762,3121 | 1,1546 | 29,6669 |
| 1044,48 | 4,3186 | -1,09 | -0,9913 | 1,1881 | 0,9827 | 1,0805 |
| 1033,67 | 5,4848 | -11,9 | 0,1749 | 141,61 | 0,0306 | -2,0813 |
| 1065,17 | 6,2443 | 19,60 | 0,9344 | 384,16 | 0,8731 | 18,3142 |
| 1066,59 | 6,2666 | 21,02 | 0,9567 | 441,8404 | 0,9153 | 20,1098 |
| $\sum \rho =$ =5225,87; $\bar{\rho} =$ =1045,57 | $\sum \sigma_{и} =$ =26,5497 $\bar{\sigma}_{и} =$ =5,3099 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =1731,1106 | $\sum (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})^2 =$ =3,9563 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times$ $\times (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и}) =$ =67,0901 |
| $r_{\sigma_{и}\rho} = \frac{67,0901}{\sqrt{1731,1106 \cdot 3,9563}} = 0,811$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,811^2)}{5-2}} = 0,3378$; $t_r = \frac{ 0,811 }{0,3378} = 2,4$; $r_{кр} = 0,88$ | | | | | | |
| $d = 60$ мм; $k_{и} = 2,22$ | | | | | | |
| 978,02 | 2,5526 | -41,79 | -0,8516 | 1746,4041 | 0,7252 | 35,5884 |
| 1004,92 | 2,6197 | -14,89 | -0,7845 | 221,7121 | 0,6154 | 11,6812 |
| 1024,24 | 3,5670 | 4,43 | 0,1628 | 19,6249 | 0,0265 | 0,7212 |
| 1042,42 | 4,0073 | 22,61 | 0,6031 | 511,2121 | 0,3637 | 13,6361 |
| 1049,44 | 4,2746 | 29,63 | 0,8704 | 877,9369 | 0,7576 | 25,7900 |
| $\sum \rho =$ =5099,04; $\bar{\rho} =$ =1019,81 | $\sum \sigma_{и} =$ =17,0212 $\bar{\sigma}_{и} =$ =3,4042 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =3376,8901 | $\sum (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})^2 =$ =2,4884 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times$ $\times (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и}) =$ =87,4169 |
| $r_{\sigma_{и}\rho} = \frac{87,4169}{\sqrt{3376,8901 \cdot 2,4884}} = 0,954$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,954^2)}{5-2}} = 0,173$; $t_r = \frac{ 0,954 }{0,173} = 5,511$; $r_{кр} = 0,88$ | | | | | | |
| $d = 92$ мм; $k_{и} = 0,95$ | | | | | | |
| 956,75 | 0,9723 | -20,3 | -0,2105 | 412,09 | 0,0443 | 4,2732 |
| 968,22 | 1,0035 | -8,83 | -0,1793 | 77,9689 | 0,0321 | 1,5832 |
| 981,23 | 1,2319 | 4,18 | 0,0491 | 17,4724 | 0,0024 | 0,2052 |
| 983,23 | 1,3342 | 6,18 | 0,1514 | 38,1924 | 0,0229 | 0,9357 |
| 995,82 | 1,3721 | 18,77 | 0,1893 | 352,3129 | 0,0358 | 3,5532 |
| $\sum \rho =$ =4885,25; $\bar{\rho} =$ =977,05 | $\sum \sigma_{и} =$ =5,914; $\bar{\sigma}_{и} =$ =1,1828 | | | $\sum (\rho - \bar{\rho})^2 =$ =898,0366 | $\sum (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и})^2 =$ =0,1375 | $\sum (\rho - \bar{\rho}) \times$ $\times (\sigma_{и} - \bar{\sigma}_{и}) =$ =10,5496 |
| $r_{\sigma_{и}\rho} = \frac{10,5496}{\sqrt{898,0366 \cdot 0,1375}} = 0,949$; $m_r = \sqrt{\frac{(1-0,949^2)}{5-2}} = 0,182$; $t_r = \frac{ 0,949 }{0,182} = 5,214$; $r_{кр} = 0,88$ | | | | | | |

Рассчитанные коэффициенты корреляции в двух случаях, когда $|r| > 0,7$ говорят о сильной связи и в четырех случаях ($|r| > 0,9$) из шести – о практически функциональной связи [107, 114] между плотностью и

прочностью на изгиб кускового торфа, позволяющей аппроксимировать их взаимные зависимости прямыми линиями (рисунки 3.25, 3.26).

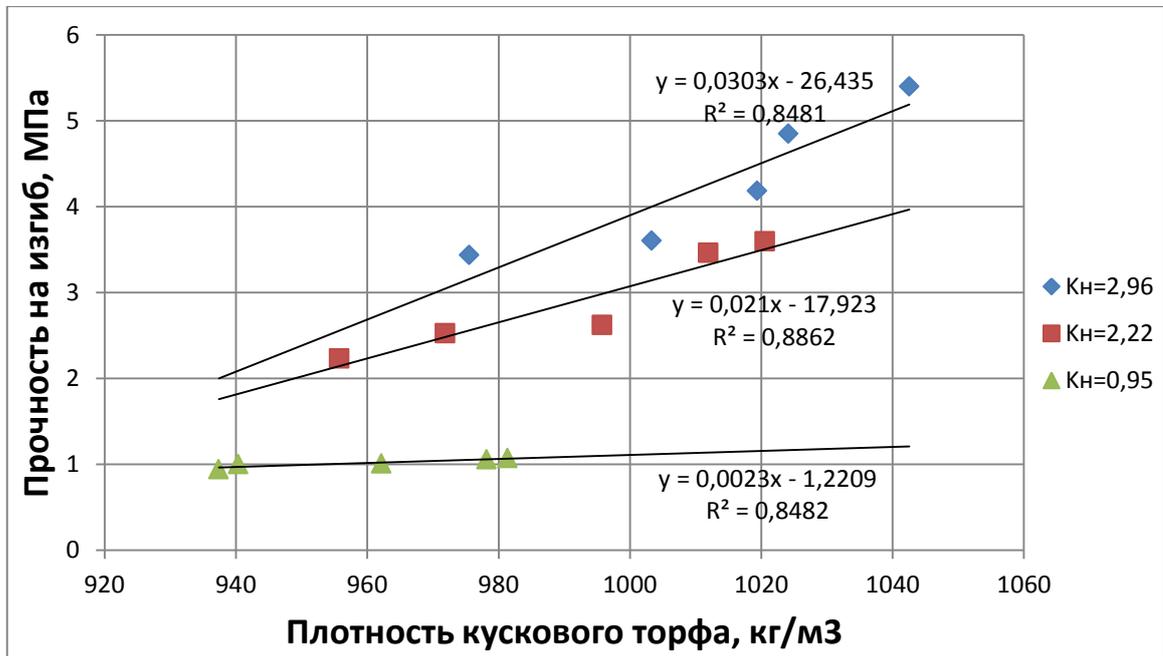


Рисунок 3.25 – Зависимость прочности на изгиб от плотности кускового торфа при различных коэффициентах напора и шаге витков шнека $S = 110$ мм

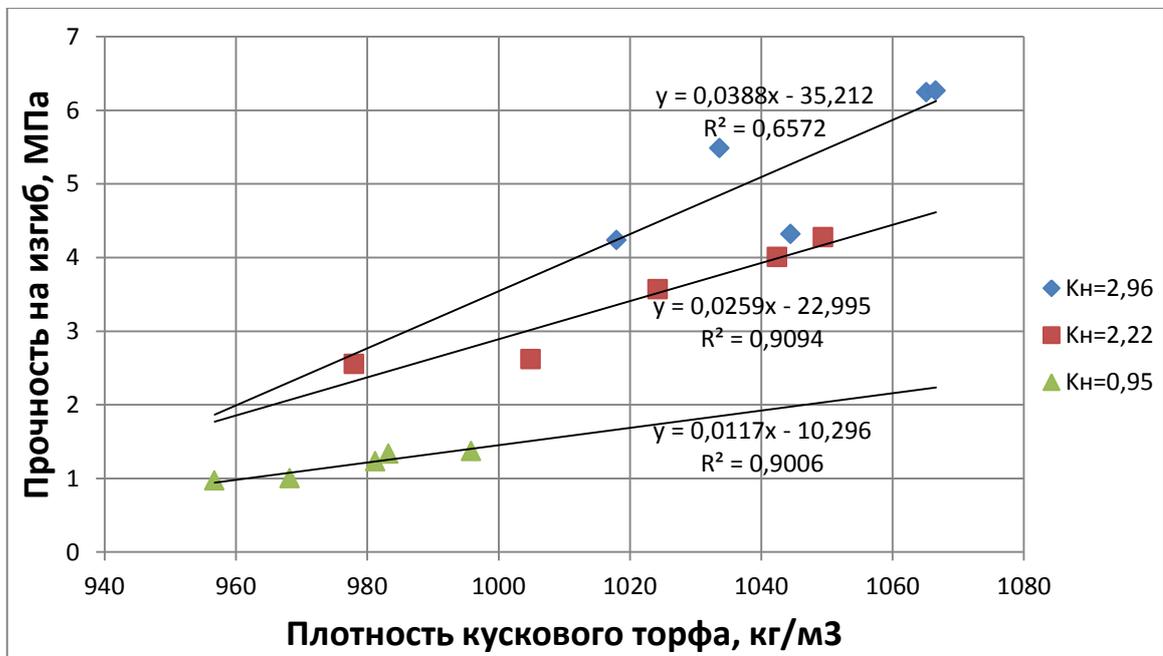


Рисунок 3.26 – Зависимость прочности на изгиб от плотности кускового торфа при различных коэффициентах напора и шаге витков шнека $S = 50$ мм

Как было отмечено выше, для задач сохранения формы куска в полевых условиях [115], главной механической характеристикой является прочность на изгиб. При сжигании торфа в топках стоит задача обеспечения необходимой теплотворной способности, которая достигается, прежде всего, плотностью. Таким образом, зная один из параметров и воспользовавшись вышеприведенными математическими моделями, можно с высокой вероятностью на уровне значимости $\alpha = 0,05$ определить другой параметр, что является весьма полезным и актуальным при ограниченности времени.

Полученные зависимости (рисунки 3.25, 3.26) согласуются с результатами работы [68], в которой исследовалась зависимость прочности кускового торфа на сжатие от плотности скелета. На рисунке 3.27 представлен полученный авторами график зависимости кубического корня из прочности формованного торфа на сжатие от плотности.

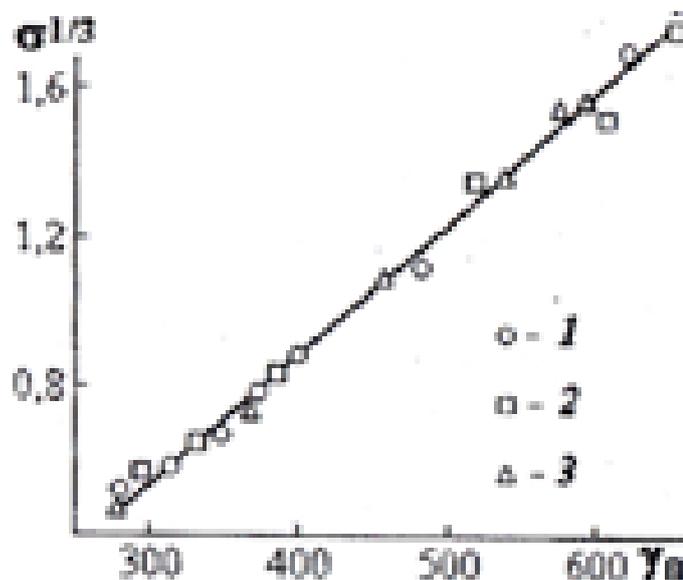


Рисунок 3.27 – Зависимость кубического корня из прочности на сжатие (МПа) от плотности скелета образцов формованного торфа круглого сечения длиной $1,5d$ и диаметрами d : 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40 мм

Следовательно, можно сделать вывод о том, что общая тенденция зависимости прочности кускового торфа от плотности – линейная.

3.7. Полный факторный эксперимент по определению зависимости энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека

Описанные в пп. 3.2 и 3.3, а также в работах [97, 103–105] результаты проведенного эксперимента по формованию кускового торфа шнековым прессом выявили ряд трендовых зависимостей энергоемкости от скорости вращения шнека и диаметра формирующего мундштука. Определена зона наименьшей энергоемкости при формовании, находящаяся в границах скорости вращения шнека 220...320 об/мин. Установлено, что: интенсивность изменения удельных энергозатрат выше при формовании с мундштуком меньшего диаметра; большая энергоемкость в исследованной зоне при прочих равных условиях соответствует использованию шнека с большим шагом. Наиболее рациональным режимом представляется частота вращения шнека $n = 220...320$ об/мин при коэффициенте напора $k_n = 2,22$ и шаге витков шнека $S = 50$ мм (то есть равном половине диаметра шнека D). Кроме того, с использованием метода проверки статистических гипотез доказано, что на энергоемкость формования кускового торфа на различных режимах шнеками с шагом витков 110 и 50 мм влияет один и тот же набор факторов.

Поскольку наиболее рациональными из всех исследованных являются режимы, в которых применялся шнек с шагом витков, равным половине диаметра, а перечень технико-механических факторов, влияющих на энергоемкость формования, ограничивается коэффициентом напора и числом оборотов шнека, следует найти функцию отклика, являющуюся зависимостью энергоемкости A от двух факторов: коэффициента напора и числа оборотов шнека. Данная задача решена с помощью метода планирования с составлением оптимального двухуровневого плана или полного двухфакторного эксперимента (ПФЭ), метод которого достаточно

полно изложен в работах [107, 108]. В результате получена математическая модель вида:

$$A = f(k_n; n). \quad (3.23)$$

Обработка результатов проводилась для экспериментов, в которых применялся шнек с шагом витков 50 мм. Учитывая характер полученных зависимостей, для повышения точности функции отклика все поле экспериментальной зависимости разбито на две области: от минимальной до средней частоты вращения шнека и от средней до максимальной [116].

Для двух факторов уравнение регрессии без членов высшего порядка имеет вид:

$$A = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2, \quad (3.23)$$

где b_0 – свободный член; X_1, X_2 – кодированные значения факторов; b_1, b_2 – коэффициенты уравнения регрессии при соответствующих X_i , характеризующие влияние данного фактора на функцию отклика; b_{12} – коэффициент уравнения регрессии, свидетельствующий о двойном взаимодействии факторов [107].

Первая область экспериментальной зависимости энергоемкости A_1 [МДж/м³] от коэффициента напора и частоты вращения шнека имеет зону значений исследуемого параметра, ограниченную минимальной и средней частотой вращения шнека n_1 : $k_n = [k_n^{min}; k_n^{max}] = [0,95; 2,96]$; $n_1 = [n_1^{min}; n_1^{max}] = [55,81; 183,28]$ об/мин.

Центр плана эксперимента

$$k_n^0 = \frac{k_n^{max} + k_n^{min}}{2} = \frac{2,96 + 0,95}{2} = 1,955; \quad (3.24)$$

$$n_1^0 = \frac{n_1^{max} + n_1^{min}}{2} = \frac{183,28 + 55,81}{2} = 119,545 \text{ об/мин.} \quad (3.25)$$

Интервал варьирования факторов

$$\Delta k_n = \pm \frac{k_n^{max} - k_n^{min}}{2} = \pm \frac{2,96 - 0,95}{2} = \pm 1,005; \quad (3.26)$$

$$\Delta n_1 = \pm \frac{n_1^{max} - n_1^{min}}{2} = \pm \frac{183,28 - 55,81}{2} = \pm 63,735 \text{ об/мин.} \quad (3.27)$$

Кодированные значения факторов:

$$X_1^{min} = \frac{k_H^{min} - k_H^0}{\Delta k_H} = -1; \quad (3.28)$$

$$X_1^{max} = \frac{k_H^{max} - k_H^0}{\Delta k_H} = +1; \quad (3.29)$$

$$X_1 = \frac{k_H - 1,955}{1,005}; \quad (3.30)$$

$$X_2^{min} = \frac{n_1^{min} - n_1^0}{\Delta n_1} = -1; \quad (3.31)$$

$$X_2^{max} = \frac{n_1^{max} - n_1^0}{\Delta n_1} = +1; \quad (3.32)$$

$$X_2 = \frac{n_1 - 119,545}{63,735}. \quad (3.33)$$

Матрица планирования эксперимента для первой области, построенная на основе экспериментальных данных (п. 3.3), [97, 103–105], представлена в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Матрица планирования эксперимента для первого поля зависимости энергоемкости формования от коэффициента напора и частоты вращения шнека

| Фактор | Уровень | | | Шаг варьирования | | | | |
|----------------|--------------|---------|--------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | -1 | 0 | +1 | | | | | |
| k_H | 0,95 | 1,955 | 2,96 | 1,005 | | | | |
| n_1 | 55,81 | 119,545 | 183,28 | 63,735 | | | | |
| Номер варианта | Планирование | | | | Выход | | | Расчет |
| | X_0 | X_1 | X_2 | X_1X_2 | $A_j^{(1)}$ | $A_j^{(2)}$ | $A_j^{(3)}$ | \bar{A}_j |
| 1 | + | - | - | + | 1,10435 | 1,3128 | 1,18921 | 1,20212 |
| 2 | + | + | - | - | 3,4567 | 3,0874 | 2,85448 | 3,13286 |
| 3 | + | - | + | - | 0,7989 | 0,8743 | 0,963659 | 0,878953 |
| 4 | + | + | + | + | 1,7084 | 1,5836 | 1,72568 | 1,67256 |

Для упрощения записи в матрице планирования вместо +1 и -1 уровни кодированных факторов обозначены, как «+» и «-». Данные по энергоемкости для эксперимента с трехкратной повторяемостью ($A_j^{(1-3)}$) взяты из журнала проведения эксперимента. Среднее значение энергоемкости по эксперименту с трехкратной повторяемостью (\bar{A}_j) так же взято из журнала проведения эксперимента и материалов работ [97, 103–105].

Расчет коэффициентов уравнения (3.23) регрессии b_k ведется по формуле [107]:

$$b_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{A}_j X_{ij}, \quad (3.34)$$

где N – номер серии опытов (для двухуровневого двухфакторного плана $N=4$); i и j – номер строк и столбцов в матрице планирования соответственно.

Таким образом,

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{4}(1,20212 + 3,13286 + 0,878953 + 1,67256) = 1,72162; \\ b_1 &= \frac{1}{4}(-1,20212 + 3,13286 - 0,878953 + 1,67256) = 0,68109; \\ b_2 &= \frac{1}{4}(-1,20212 - 3,13286 + 0,878953 + 1,67256) = -0,44587; \\ b_{12} &= \frac{1}{4}(1,20212 - 3,13286 - 0,878953 + 1,67256) = -0,28428. \end{aligned}$$

При подстановке найденных коэффициентов b_k в уравнение регрессии (3.23) для кодированных значений факторов $|X_1| \leq 1$ и $|X_2| \leq 1$ имеем:

$$A_1 = 1,72162 + 0,68109X_1 - 0,44587X_2 - 0,28428X_1X_2. \quad (3.35)$$

Данное уравнение можно представить в натуральном виде путем замены в нем кодированных переменных (3.30) и (3.33):

$$\begin{aligned} A_1 &= 1,72162 + 0,68109 \left(\frac{k_n - 1,955}{1,005} \right) - 0,44587 \left(\frac{n_1 - 119,545}{63,735} \right) - \\ &\quad - 0,28428 \left(\frac{k_n - 1,955}{1,005} \right) \left(\frac{n_1 - 119,545}{63,735} \right). \end{aligned} \quad (3.36)$$

После упрощения уравнение (3.36) преобразуется:

$$A_1 = 0,19577 + 1,20827k_n + 0,00168n_1 - 0,00444k_n n_1. \quad (3.37)$$

Полученное уравнение, как было отмечено выше, справедливо для первой области экспериментально полученной зависимости, для которой частота вращения шнека изменяется от минимальной до средней.

Вторая область экспериментальной зависимости энергоемкости A_2 [МДж/м³] от коэффициента напора и частоты вращения шнека имеет зону значений исследуемого параметра, ограниченную средней и максимальной

частотой вращения шнека n_2 : $k_H = [k_H^{min}; k_H^{max}] = [0,95; 2,96]$; $n_2 = [n_2^{min}; n_2^{max}] = [183,28; 429,86]$ об/мин.

Центр плана эксперимента

$$n_2^0 = \frac{n_2^{max} + n_2^{min}}{2} = \frac{429,86 + 183,28}{2} = 306,57 \text{ об/мин.} \quad (3.38)$$

Интервал варьирования фактора

$$n_2 = \pm \frac{n_2^{max} - n_2^{min}}{2} = \pm \frac{429,86 - 183,28}{2} = \pm 123,29 \text{ об/мин.} \quad (3.39)$$

Кодированное значение фактора:

$$X_2^{min} = \frac{n_2^{min} - n_2^0}{\Delta n_2} = -1; \quad (3.40)$$

$$X_2^{max} = \frac{n_2^{max} - n_2^0}{\Delta n_2} = +1; \quad (3.41)$$

$$X_2 = \frac{n_2 - 306,57}{123,29}. \quad (3.42)$$

Для кодирования фактора X_1 справедливы формулы (3.28–3.30), полученные ранее для первого поля экспериментальной зависимости.

Матрица планирования эксперимента для второй области, построенная на основе экспериментальных данных (п. 3.3), представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Матрица планирования эксперимента для второго поля зависимости энергоемкости формования от коэффициента напора и частоты вращения шнека

| Фактор | Уровень | | | Шаг варьирования | | | | |
|----------------|--------------|--------|--------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | -1 | 0 | +1 | | | | | |
| k_H | 0,95 | 1,955 | 2,96 | 1,005 | | | | |
| n_2 | 183,28 | 306,57 | 429,86 | 123,29 | | | | |
| Номер варианта | Планирование | | | | Выход | | | Расчет |
| | X_0 | X_1 | X_2 | $X_1 X_2$ | $A_j^{(1)}$ | $A_j^{(2)}$ | $A_j^{(3)}$ | \bar{A}_j |
| 1 | + | - | - | + | 0,8567 | 0,9312 | 0,84896 | 0,878953 |
| 2 | + | + | - | - | 1,72356 | 1,6074 | 1,68672 | 1,67256 |
| 3 | + | - | + | - | 1,02674 | 0,9457 | 1,02165 | 0,99803 |
| 4 | + | + | + | + | 2,9655 | 2,88427 | 3,27533 | 3,0417 |

Данные по энергоемкости для эксперимента с трехкратной повторяемостью ($A_j^{(1-3)}$) взяты из журнала проведения эксперимента.

Среднее значение энергоемкости по эксперименту с трехкратной повторяемостью (\bar{A}_j) так же взято из журнала проведения эксперимента и материалов работ [97, 103–105].

Расчет коэффициентов уравнения (3.23) регрессии b_k ведется по формуле (3.34) [107]:

$$b_0 = \frac{1}{4}(0,878953 + 1,67256 + 0,99803 + 3,0417) = 1,64781;$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(-0,878953 + 1,67256 - 0,99803 + 3,0417) = 0,70932;$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(-0,878953 - 1,67256 + 0,99803 + 3,0417) = 0,37205;$$

$$b_{12} = \frac{1}{4}(0,878953 - 1,67256 - 0,99803 + 3,0417) = 0,31252.$$

При подстановке найденных коэффициентов b_k в уравнение регрессии (3.23) для кодированных значений факторов $|X_1| \leq 1$ и $|X_2| \leq 1$ имеем:

$$A_2 = 1,64781 + 0,70932X_1 + 0,37205X_2 + 0,31252X_1X_2. \quad (3.43)$$

Данное уравнение можно представить в натуральном виде путем замены в нем кодированных переменных (3.30) и (3.42):

$$A_2 = 1,64781 + 0,70932 \left(\frac{k_n - 1,955}{1,005} \right) + 0,37205 \left(\frac{n_2 - 306,57}{123,29} \right) + 0,31252 \left(\frac{k_n - 1,955}{1,005} \right) \left(\frac{n_2 - 306,57}{123,29} \right). \quad (3.44)$$

После упрощения уравнение (3.44) преобразуется:

$$A_2 = 0,85453 - 0,06746k_n - 0,00191n_2 + 0,00252k_n n_2. \quad (3.45)$$

Полученное уравнение справедливо для второй области экспериментально полученной зависимости, для которой частота вращения шнека изменяется от средней до максимальной.

Таким образом, для двух областей зависимости энергоемкости формирования от коэффициента напора и частоты вращения формулирующего шнека методом планирования эксперимента составлены математические модели (3.37) и (3.45).

Следующим необходимым этапом является статистическая оценка значимости коэффициентов уравнений регрессии по методике, подробно изложенной в источниках [107, 108].

Построчные дисперсии рассчитываются на основе матрицы планирования:

$$D(\bar{A}_j) = \frac{1}{m-1} \sum_{q=1}^m (\bar{A}_j - A_j^{(q)})^2, \quad (3.46)$$

где m – число повторений опытов при одном и том же j ($m = 3$); q – номер результата опыта ($q = 1 \dots 3$).

Дисперсия воспроизводимости рассчитывается, как средняя арифметическая из построчных дисперсий всех N вариантов опытов:

$$D(A) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D(\bar{A}_j). \quad (3.47)$$

Дисперсия среднего значения:

$$D(\bar{A}) = \frac{1}{m} D(A). \quad (3.48)$$

Дисперсия коэффициентов регрессии

$$D(b_k) = \frac{1}{N} D(\bar{A}). \quad (3.49)$$

Ошибка коэффициентов регрессии:

$$\sigma(b_k) = \sqrt{D(b_k)}. \quad (3.50)$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии производится на основе неравенства:

$$|b_k| > \sigma(b_k) t_p(f), \quad (3.51)$$

где $t_p(f) = 2,31$ – коэффициент Стьюдента для достоверности $P = 95\%$ и числа степеней свободы $f = N(m-1) = 8$ [107].

Если выполняется неравенство (3.51), то коэффициенты регрессии значимы на уровне достоверности $P = 95\%$.

Для результатов планирования экспериментов в первой области (таблица 3.8) определены:

построчные дисперсии:

$$D_1(\bar{A}_j) = \frac{1}{2}[(1,20212 - 1,10435)^2 + (1,20212 - 1,3128)^2 + (1,20212 - 1,18921)^2] = 0,01094;$$

$$D_2(\bar{A}_j) = \frac{1}{2}[(3,13286 - 3,4567)^2 + (3,13286 - 3,0874)^2 + (3,13286 - 2,85448)^2] = 0,09222;$$

$$D_3(\bar{A}_j) = \frac{1}{2}[(0,87895 - 0,7989)^2 + (0,87895 - 0,8743)^2 + (0,87895 - 0,963659)^2] = 0,00681;$$

$$D_4(\bar{A}_j) = \frac{1}{2}[(1,67256 - 1,7084)^2 + (1,67256 - 1,5836)^2 + (1,67256 - 1,72568)^2] = 0,00601;$$

дисперсия воспроизводимости:

$$D(A) = \frac{1}{4}(0,01094 + 0,09222 + 0,00681 + 0,00601) = 0,029;$$

дисперсия среднего значения:

$$D(\bar{A}) = \frac{1}{3} \cdot 0,029 = 0,00967;$$

дисперсия коэффициентов регрессии:

$$D(b_k) = \frac{1}{4} \cdot 0,00967 = 0,00242;$$

ошибка коэффициентов регрессии:

$$\sigma(b_k) = \sqrt{0,00242} = 0,04919.$$

Для того чтобы коэффициенты регрессии были значимыми на уровне достоверности $P = 95\%$, должно выполняться неравенство:

$$|b_k| > (b_k)t_p(f) = 0,04919 \cdot 2,31 = 0,11363.$$

Тогда:

$$|b_0| = 1,72162 > 0,11363 - \text{значим};$$

$$|b_1| = 0,68109 > 0,11363 - \text{значим};$$

$$|b_2| = 0,44587 > 0,11363 - \text{значим};$$

$$|b_{12}| = 0,28428 > 0,11363 - \text{значим}.$$

Таким образом, в выражении (3.37) все коэффициенты регрессии являются значимыми на уровне достоверности $P = 95 \%$.

Для результатов планирования экспериментов во второй области (таблица 3.9) определены:

построчные дисперсии:

$$D_1(\bar{A}_j) = \frac{1}{2} [(0,878953 - 0,8567)^2 + (0,878953 - 0,9312)^2 + (0,878953 - 0,84896)^2] = 0,00207;$$

$$D_2(\bar{A}_j) = \frac{1}{2} [(1,67256 - 1,72356)^2 + (1,67256 - 1,6074)^2 + (1,67256 - 1,68672)^2] = 0,00353;$$

$$D_3(\bar{A}_j) = \frac{1}{2} [(0,99803 - 1,02674)^2 + (0,99803 - 0,9457)^2 + (0,99803 - 1,02165)^2] = 0,00206;$$

$$D_4(\bar{A}_j) = \frac{1}{2} [(3,0417 - 2,9655)^2 + (3,0417 - 2,88427)^2 + (3,0417 - 3,27533)^2] = 0,04259;$$

дисперсия воспроизводимости:

$$D(A) = \frac{1}{4} (0,00207 + 0,00353 + 0,00206 + 0,04259) = 0,01256;$$

дисперсия среднего значения:

$$D(\bar{A}) = \frac{1}{3} \cdot 0,01256 = 0,00419 ;$$

дисперсия коэффициентов регрессии:

$$D(b_k) = \frac{1}{4} \cdot 0,00419 = 0,00105;$$

ошибка коэффициентов регрессии:

$$\sigma(b_k) = \sqrt{0,00105} = 0,0324.$$

Для того чтобы коэффициенты регрессии были значимы на уровне достоверности $P = 95 \%$, должно выполняться неравенство:

$$|b_k| > (b_k)t_p(f) = 0,0324 \cdot 2,31 = 0,0748.$$

Тогда:

$$|b_0| = 1,64781 > 0,0748 - \text{значим};$$

$$|b_1| = 0,70932 > 0,0748 \text{ – значим;}$$

$$|b_2| = 0,37205 > 0,0748 \text{ – значим;}$$

$$|b_{12}| = 0,31252 > 0,0748 \text{ – значим.}$$

Таким образом, в выражении (3.45) все коэффициенты регрессии являются значимыми на уровне достоверности $P = 95 \%$.

Производство кускового торфа необходимо организовывать с наименьшими энергозатратами [94]. Расчет энергоемкости формования кускового торфа не только в процессе его производства, но и на стадии проектирования машин и процессов, позволит оптимизировать затраты и ресурсы, а также создавать машины, работающие в рациональных режимах [5, 117], что особенно актуально при организации добычи торфа в северных районах России [20, 118].

3.8. Выводы по главе 3

1. Энергоемкость при формовании торфа напрямую зависит от трех параметров формующего агрегата: частоты вращения и шага витков шнека, соотношения площадей живого сечения напорной трубы и мундштука.

2. Для всех исследованных режимов существует некий минимум энергоемкости при формовании, приходящийся на область 220–320 об/мин шнека, который можно объяснить следующим. Энергоемкость – это не затраченная энергия, а отношение полезной мощности к производительности, т. е. удельная характеристика. Интенсивность роста производительности выше, чем интенсивность роста мощности, необходимой для производства куска до определенной частоты вращения шнека. Выше этой частоты начинается неустановившееся движение материала (частицы материала прекращают двигаться только в осевом направлении и все больше начинают вращаться вместе со шнеком). Это приводит к изменению интенсивностей роста производительности и необходимой мощности, в результате чего

повышается энергоемкость процесса, что ведет, соответственно, к повышению износа рабочих частей пресса [77].

3. Во всех проведенных опытах энергоемкость процесса изменялась от 0,88 до 3,42 МДж/м³.

4. Интенсивность изменения удельных энергозатрат выше при установке мундштука меньшего диаметра. По мере увеличения диаметра мундштука, интенсивность изменения удельных энергозатрат падает.

5. Бóльшая сила тока в приводном двигателе, соответственно и необходимая мощность на формование, соответствует установленному мундштуку меньшего диаметра. Бóльшая энергоемкость в исследованной зоне при прочих равных условиях соответствует использованию шнека с бóльшим шагом, что объясняется бóльшей нагрузкой на виток и бóльшей производительностью механизма. Бóльшая плотность сформованных кусков соответствует бóльшей частоте вращения и меньшему шагу витков шнека. Очевидно, что меньшая энергоемкость и бóльшая плотность кусков, достигаемая при использовании шнека с шагом витков 50 мм способствует работе машины в более рациональном режиме. Следовательно, шаг витков шнека должен быть близок к половине наружного диаметра шнека.

6. Исследовано воздействие параметров формования торфа на конечную плотность высушенной продукции. Как следует из полученной зависимости, интенсивность роста плотности куска при увеличении энергоемкости заметно падает при изменении k_n с 2,22 до 2,96. Поэтому формование при коэффициенте напора $k_n=2,22$ можно считать рациональным режимом.

7. Разработан и создан стенд для проверки прочности на изгиб формованной торфяной продукции. Отработана методика его применения. Результаты испытания на прочность сформованных кусков торфа показали, что максимальная прочность свойственна кускам, полученным в режиме формования: скорость вращения шнека $n = 220\text{--}320$ об/мин, шаг витков шнека $S = 50$ мм (т.е. равен половине наружного диаметра шнека D).

Поскольку при неизменном росте энергоемкости с уменьшением диаметра мундштука, интенсивность роста прочности начинает падать после коэффициента напора $k_n = 2,22$, формование с таким коэффициентом можно считать рациональным режимом работы.

8. Доказано методом корреляционного анализа, что зависимость прочности на изгиб от плотности кускового торфа можно аппроксимировать линейными математическими моделями.

9. Получены математические модели, описывающие зависимость энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и частоты вращения шнека для двух областей скорости вращения шнека. Оценка значимости коэффициентов полученных уравнений регрессии показала, что все они являются значимыми на уровне достоверности $P = 95\%$. Анализ значений коэффициентов в уравнениях регрессии показывает, что коэффициент напора сильнее влияет на энергоемкость, чем частота вращения шнека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, выполненной автором, представлено новое решение научной задачи, состоящей в установлении закономерностей изменения энергоемкости формования при производстве кускового торфа и разработке математических моделей, описывающих зависимость энергоемкости формования от коэффициента напора и частоты вращения шнека, позволяющее обосновывать рациональные параметры и режимы работы фрезформовочной машины, которое имеет важное значение для развития торфодобывающей отрасли РФ.

Результаты и выводы, полученные лично автором:

1. Обобщение научных работ по теме позволило выявить наилучшие характеристики торфяного сырья для добычи кускового торфа: тип торфа – верховой, степень разложения $R = 20\text{--}35\%$, содержание влаги $w=82\text{--}84\%$.

2. Получена аналитическая зависимость, устанавливающая характер изменения напора, создаваемого шнеком формующего агрегата от конструктивных особенностей мундштуков, и сделан вывод о рациональности осевого расположения многопоточного мундштука фрезформовочных машин.

3. Экспериментально установлены закономерности изменения энергоемкости формования торфа в зависимости от: коэффициента напора, скорости вращения и шага витков шнека на стадии производства кускового торфа.

4. Разработано устройство и методика для определения прочности на изгиб формованной торфяной продукции, позволяющие контролировать качество куска и оперативно изменять количество и размеры мундштуков фрезформовочной машины в целях снижения энергоемкости.

5. На основании экспериментального анализа качества кускового торфа кондиционной влаги по параметрам плотности и прочности на изгиб сформулированы рациональные параметры шнекового пресса и режимы его

работы: частота вращения шнека $n = 220\text{--}320$ об/мин при коэффициенте напора $k_n = 2,22$ и шаге витков шнека равном половине наружного диаметра витков.

6. Разработаны математические модели, описывающие зависимость энергоемкости формования от коэффициента напора и частоты вращения шнека. Все полученные коэффициенты уравнений регрессии являются значимыми на уровне достоверности $P = 95\%$.

7. Доказано методом корреляционного анализа, что зависимость прочности на изгиб от плотности кускового торфа можно аппроксимировать линейными математическими моделями.

Результаты данного исследования внедрены и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО ТвГТУ при подготовке студентов специальности 21.05.04. «Горное дело» (приложение Г), а также на предприятии ООО «Гринмаш» (приложение Д) при проектировании и разработке рекомендаций по использованию фрезформовочных машин.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Материалы данного исследования рекомендуются к применению в компаниях, заинтересованных в разработке и производстве фрезформовочных машин, а также на торфодобывающих предприятиях, осуществляющих добычу кускового торфа. В дальнейшем рекомендуется исследовать влияние формы сечения мундштука на энергоемкость производства кускового торфа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиаты / МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 256 с.
2. Михайлов, А.В. Развитие глобального рынка торфа / А.В. Михайлов // Труды Инсторфа. – 2018. – № 18 (71). – С. 3–7.
3. Александров, Г.А. Торфодобывающая промышленность России: проблемы возрождения и перспективы развития / Г.А. Александров, Г.Г. Скворцова, И.В. Вякина, А.Л. Яблонев // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2016. – № 8(341). – С. 32–43.
4. Панов В.В. Современные тенденции развития торфяной отрасли России / В.В. Панов, О.С. Мисников // Труды Инсторфа. – 2015. – № 11. – (64). С. 3–12.
5. Панов, В.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации / В.В. Панов, О.С. Мисников, А.В. Купорова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2017. – № 5. – С. 105–117.
6. Яблонев, А.Л. Проектирование торфодобывающих предприятий: учебное пособие / А.Л. Яблонев. – Тверь: ТвГТУ, 2016.– 164 с.
7. Афанасьев, А.Е. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов / А.Е. Афанасьев [и др.]. – М.: Недра, 1987. – 311 с.
8. Антонов, В.Я. Технология и комплексная механизация торфяного производства: учебное пособие для вузов / В.Я. Антонов, В.Д. Копенкин. – М.: Недра, 1983. – 287 с.
9. Соколов, Б.Н. Справочник механика торфяного предприятия / Б.Н. Соколов [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 365 с.
10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. Селеннов, В.Г. Нереализованные разработки института / В.Г. Селеннов, Ю.О. Петров, В.М. Юрков // Торф и бизнес.– 2006.– № 3(5).– С. 23–27.

14. Семенский, Е.П. Технология послойного способа добычи кускового торфа / Е.П. Семенский // Труды московского торфяного института. Вып. 4. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – С. 86–102.

15. Фомин, В.К. Научные основы технологии и комплексной механизации производства формованного торфа: Дис. в форме научн. докл.... д-ра техн. наук : 05.15.05/ Фомин Владимир Константинович. – Калинин: КПИ, 1989. – 50 с.

16. Костюк, Н.С. Производство мелкокускового торфа / Н.С. Костюк, Ф.С. Яцевич. – Минск: Наука и техника, 1975. – 136 с.

17. Солодухо, Н.М. Фрезформовочный способ добычи торфа / Н.М. Солодухо. – Минск: Наука и техника, 1980. – 96 с.

18. Копенкин, В.Д. Развитие техники добычи кускового торфа / В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2005. – № 1. – С. 297–301.

19. Опейко, Ф.А. Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.

20. Евсеев, В.Н. Добыча торфяного топлива на крайнем севере / В.Н. Евсеев, Г.И. Кужман, А.А. Соколов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 48 с.

21. Соколов, А.А. Добыча торфа на топливо в районе крайнего Севера / А.А. Соколов, В.Н. Евсеев // Торфяная промышленность. – 1958. – № 4. – С. 21–26.

22. Соколов, А.А. Добыча торфа в районе Крайнего Севера / А.А. Соколов, В.Н. Евсеев // В сб.: «Научные доклады высшей школы. Горное дело». – М.: Советская наука, 1958. – С. 46–51.

23. URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/33288/Mashina_MTK_1_6_dlya_dobychi_kuskovogo_torfa.pdf. (Дата обращения 15.03.2019).

24. URL: <http://erm.mogilev.energo.by/ru-ru/> (Дата обращения 12.03.2018).

25. URL: http://peat-machine.at.ua/index/dobycha_kusk_torfa_pk_1sl_c5_pk_1sl_r12_pk_1sl_w60/0-62 (Дата обращения 17.03.2019).

26. Семенский, Е.П. Качество кускового торфа в зависимости от вида строения торфяной залежи и переработки торфа-сырца: автореф. дис. ... канд. техн. наук./ Семенский Е.П. – М.: МТИ, 1941. – 16 с.

27. Семенский, Е.П. Сопоставление некоторых физических свойств торфа с его дисперсностью / Е.П. Семенский // Торфяная промышленность. – 1953. – № 7. – С. 21–24.

28. Семенский, Е.П. Прочность торфяных кирпичей / Е.П. Семенский // Торфяное дело. – 1934. – № 2. – С. 19–22.

29. Воларович, М. П. О влиянии различных факторов на пластично-вязкие свойства торфомассы (о вязкости и пластичности дисперсных систем) / М.П. Воларович, Н.Н. Кулакова, К.И. Самарина // Коллоидный журнал. – 1935. – Т. 3. – № 2. – С. 163–168.

30. Воларович, М. П. О движении материала в шнековом механизме / М.П. Воларович, Г.Я. Гроздовский // Торфяная промышленность. – 1948. – № 6. – С. 10–15.

31. Воларович, М. П. Исследование степени дисперсности торфа / М.П. Воларович, Н.В. Чураев // Коллоидный журнал. – 1955. – Т. 17. – Вып. 3. – С. 200–206.

32. Корчунов, С.С. Зависимость механической прочности торфа и других грубодисперсных систем от влажности / С.С. Корчунов // Торфяная промышленность. – 1948. – № 3. – С. 16–17.

33. Раковский, Е.В. О природе механической прочности кускового торфа / Е.В. Раковский, Х.И. Ривкина // Торфяная промышленность. – 1950. – № 1. – С. 29–30.

34. Кривошеин, М.С. Формование торфяной массы пониженной влажности: автореф. дис. ... канд. техн. наук:/ Кривошеин М.С. – Минск: АН БССР, 1954. – 16 с.

35. Перов Н.П. Исследование прочности мелкокускового торфа: автореф. дис. ... канд. техн. наук:/ Перов Н.П. – Минск: АН БССР, 1955. – 10 с.

36. Солопов, С.Г. Влияние дисперсности на структуру и физико-механические свойства торфа в связи с задачей получения качественного кускового топлива из залежей с пониженной влажностью / С.Г. Солопов // Труды МТИ. – М.-Л.: ГЭИ. – 1958. – Вып. VIII. – С. 16–17.

37. Солопов, С.Г. Физико-технические основы получения формованного торфяного брикета (мелкокускового топлива) / С.Г. Солопов // Торфяная промышленность. – 1971. – № 11. – С. 14–17.

38. Солопов, С.Г. Технологические принципы производства качественного топлива при разработке торфяных месторождений эксплуатационной влажности / С.Г. Солопов // В сб.: «Научные доклады высшей школы. Горное дело». – М. – 1958. – № 1. – С. 41–49.

39. Песков, В.Г. Экспериментальное исследование торфоперерабатывающих спирально-конусных прессов: автореф. дис..... канд. техн. наук:/ Песков В.Г. – М: МТИ, 1958. – 17 с.

40. Лопотко, М.З. Исследование процесса валкования мелкокускового торфа лопастным валкователем: автореф. дис. ... канд. техн. наук./ Лопотко М.З. – Минск: АН БССР, 1958. – 12 с.

41. Нажесткин, Б.П. Исследование вибрирования торфяной массы пониженной влажности при ее формовании для получения мелкокускового топлива повышенного качества: автореф. дис. ... канд. техн. наук: / Нажесткин Б.П. – Калинин: КТИ, 1960. – 16 с.

42. Чураев, Н.В. Водные свойства структуры и процессы переноса влаги в торфе: дис. ... д-ра техн. наук:/Чураев Н.В. – Калинин: КТИ, 1961. – 580 с.

43. Евсеев, В.Н. Исследование вопросов промышленной добычи кускового торфяного топлива на Крайнем Севере в зоне вечной мерзлоты: дис. ... канд. техн. наук: / Евсеев В.Н. – Калинин, 1961. – 139 с.

44. Копенкин, В.Д. Исследование закономерностей в дисперсном составе торфа и связи его физико-механических свойств с показателем дисперсности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук:/ Копенкин Владимир Дмитриевич. – Калинин: КТИ, 1964. – 22 с.

45. Фомин, В.К. Исследование процесса диспергирования и формования торфа различными механизмами и расчет их основных параметров: дис. ... канд. техн. наук: /Фомин Владимир Константинович. – Калинин: КПИ, 1965. – 132 с.

46. Опейко, Ф.А. Степень переработки торфа / Ф.А. Опейко // Труды Инсторфа АН БССР. – 1951. – Вып. I. – С. 46–52.

47. Цветков, В.И. Исследование процессов гранулирования торфомассы и расчет основных параметров формирующих механизмов: автореф. дис. ... канд.техн. наук:/ Цветков Владимир Иванович. – Калинин, КПИ, 1967. – 21 с.

48. Лиштван, И.И. Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах: дис. ... д-ра техн. наук: /Лиштван Иван Иванович. – Калинин: КПИ, 1969. – 644 с.

49. Сергеев, Ф.Г. Исследование водопоглонительных свойств мелкокускового торфа и торфяной подстилки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.314 / Сергеев Ф.Г. – Калинин: КПИ, 1970. – 23 с.

50. Слыш, В.М. К вопросу оценки перерабатывающей способности торфяных машин / В.М. Слыш // В сб.: «Технология торфяного производства и торфяные машины». – Минск: Высшая школ. – 1973. – Вып. 2. – С. 180–183.

51. Вирясов, Г.П. Влияние влажности на процесс диспергирования торфа / В сб.: «Технология торфяного производства и торфяные машины». Вып. 2. – Минск: Высшая школа. – 1973. – С. 20–22.

52. Суворов, В.И. Исследование пористой структуры кускованного торфа в связи с регулированием его физико-механических свойств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / Суворов Владимир Иванович. – Калинин: КПИ, 1975. – 26 с.

53. Гревцев, Н.В. Обоснование технологии досушки кускового торфа в штабелях при естественном и принудительном воздухообмене: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / Гревцев Николай Васильевич. – Калинин: КПИ, 1983. – 16 с.

54. Воронков, Б.Б. Повышение качества кускового топливного торфа путем улучшения структурно-механических свойств исходного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 063.22.01 / Воронков Б.Б. – Калинин: КПИ, 1985. – 20 с.

55. Шамбер, О.В. Совершенствование сушки кускового торфа / О.В. Шамбер, С.Н. Гамаюнов, В.П. Большаков // В сб.: «Машины и технологии торфяного производства. Межвузовский сб. научн. тр.». – Калинин: КГУ. – 1988. – С. 17–19.

56. Цветков, В.И. Исследование процесса уплотнения торфяной массы в зависимости от давления / В.И. Цветков // В сб.: «Машины и технологии торфяного производства. Межвузовский сб. научн. тр.». Калинин: КГУ. – 1988. – С. 70–73.

57. Афанасьев, А.Е. Взаимосвязь прочностных и структурных характеристик кускового торфа / А.Е. Афанасьев, С.Н. Гамаюнов // В сб.: «Машины и технологии торфяного производства. Межвузовский сб. науч. тр.». Калинин: КГУ. – 1988. С. – 14–17.

58. Фомин, В.К. Влияние влагосодержания компонентов состава смеси формуемой торфомассы на качество кускового торфа / В сб.: «Результаты исследований по физике и химии торфа и их использование. Тезисы докл. VI научно-техн. конф. по физико-химии торфа». Калинин: КПИ. – 1989. – С. 45.

59. Копенкина, Л.В. Развитие техники добычи кускового торфа в СССР (1917–1985): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 07.00.10 / Копенкина Любовь Владимировна. – М.: ИИЕТ АН СССР, 1989. – 18 с.

60. Афанасьев, А.Е. Эффективность сушки кускового торфа в однослойном расстиле на сетках / А.Е. Афанасьев, О.В. Шамбер, В.П. Большаков // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства. Межвузовский сб. научн. тр.». Калинин: КПИ. – 1989. – С. 4–9.

61. Шамбер, О.В. Сушка и основные характеристики кусков, сформованные из торфяных смесей / О.В. Шамбер // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства. Межвузовский сб. научн. тр.». Тверь: ТвеПИ. – 1991. – С. 69–73.

62. Гамаюнов, С.Н. Закономерности упрочнения структуры кускового торфа в процессе сушки / С.Н. Гамаюнов // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства. Межвузовский сб. научн. тр.». Тверь: ТвеПИ. – 1991. – С. 73–77.

63. Афанасьев, А.Е. Кусковой торф – конкурентоспособное коммунально-бытовое топливо для Твери и Тверской области / А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин, В.Д. Копенкин, О.В. Шамбер // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства. Сб. научн. тр. под общей ред. А.Е. Афанасьева». Тверь: ТГТУ. – 1997. – С. 17–22.

64. Фомин, К.В. Оценка зависимости изменчивости физико-механических свойств торфяной залежи / К.В. Фомин // В сб.: «Технология и

комплексная механизация торфяного производства. Сб. научн. тр. под общей ред. А.Е. Афанасьева». Тверь: ТГТУ. – 1997. – С. 166–168.

65. Фомин, К.В. Постановка задачи выбора оптимальных параметров машин по добыче кускового торфа / Фомин К.В. // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства. Сб. научн. тр. под общей ред. А.Е. Афанасьева». Тверь: ТГТУ. –1997. – С. 168–171.

66. Самсонов, Л.Н. К вопросу об обновлении технологии производства кускового торфа / Л.Н. Самсонов [и др.]. // В сб.: «Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. Мат-лы научно-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., профессора Солопова С.Г.». Тверь: ТГТУ. – 2001. – С. 41–43.

67. Афанасьев, А.Е. Влияние степени переработки и влаги на прочность формованного торфа / А.Е. Афанасьев, О.В. Пухова // В сб.: «Развитие механики торфа и научных основ создания машин и оборудования торфяного производства. Мат-лы научно-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., профессора Солопова С.Г.». Тверь: ТГТУ. – 2001. – С. 58–62.

68. Гамаюнов, Н.И. Усадка и прочность формованного торфа / Н.И. Гамаюнов, С.Н. Гамаюнов // В сб.: «Проблемы природопользования и инженерной экологии: сборник трудов ученых и преподавателей факультета природопользования и инженерной экологии ТГТУ». Тверь: ТГТУ. – 2007. – С 73–84.

69. Зюзин, Б.Ф. О влиянии физико-механических свойств исходного торфа на процесс механического диспергирования / Б.Ф. Зюзин, Д.С. Фомин // Труды Инсторфа. – 2016. – № 7(60). – С. 49–52.

70. Горячев, В.И. Целесообразность использования торфяного топлива для теплоснабжения общеобразовательных учреждений Тверской области/ В.И. Горячев, И.И. Михеев, Т.П. Кузнецова // Промышленная энергетика. – 2003. – № 9. – С. 14–15.

71. Пат. RUS 116496, 10.01.2012. Технологический комплекс по производству кускового топливного торфа / Горячев В.И., Зайцев В.С., Зюзин Б.Ф., Казичев И.Н. Опубл. 27.05.2012, Бюл. № 15.

72. Горячев, В.И. Комбинированная технология производства кускового топлива из фрезерного торфа / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.Н. Казичев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2015. – № 6. – С. 39–44.

73. Горячев, В.И. Технологический комплекс производства кускового топливного торфа с комбинированной сушкой / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.И. Михеев, И.Н. Казичев // Труды Инсторфа. – 2016. – № 13(66). – С. 28–32.

74. Терентьев, А.А. Структура и свойства формованной торфяной продукции: монография / А.А. Терентьев, В.И. Суворов. – Тверь: Созвездие, 2004. – 136 с.

75. Воларович, М.П. Изучение механизма сушки и процессов структурообразования в торфяных системах / М.П. Воларович, Н.И. Гамаюнов, И.И. Лиштван // В сб.: «Физико-химическая механика дисперсных систем». Минск: ФР БССР. – 1966. – С. 351–355.

76. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. М.: Энергия, 1968. 471 с.

77. Соколов, М. В. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин: монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов [и др.]. М.: Машиностроение-1, 2004. 248 с.

78. 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.

79. Григорьев, В.И. Шнековый пресс с системой очистки внутренней поверхности корпуса для формования глиняного кирпича: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Григорьев Владимир Иванович. – Белгород: БелГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. – 20 с.

80. Гудзенко, М. Влияние некоторых технологических параметров маслопресса на его качественные и технические показатели / М. Гудзенко // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – 2013. – Vol. 15. – № 3. – 142–149.

81. Перельман, Г.В. Моделирование и оптимизация процесса экструзии цилиндрических заготовок из пластифицированных шихт порошковых и композиционных материалов на шнековых прессах. Теория и процессы формования и спекания порошковых материалов / Г.В. Перельман // ПМиФП. Известия вузов. – 2013. – № 1. – С. 27–33.

82. Закиров, М.Ф. Исследование влияния шага шнека на мощность привода питателя малогабаритного шнекороторного снегоочистителя / М.Ф. Закиров // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – №2 (26). – С. 56–57.

83. Татарьянц, М.С. Разработка методики расчета нагрузок на шнек и энергозатрат шнековых прессов / М.С. Татарьянц и др. // Scientific Journal «Science Rise». – 2015. – № 6/2(11). – С. 80–84.

84. Припоров, И.Е. Обоснование винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера / И.Е. Припоров // Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. Серия «Технические науки». – 2017. – № 1 (63). – С. 67–70.

85. Лиштван, И.И. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – М.: Наука и техника, 1983. – 232 с.

86. Михайлов, А.В. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2012. – № 4. – С. 59–63.

87. ГОСТ Р 51062-2011 Торф кусковой топливный для коммунально-бытовых нужд. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.

88. Чистый, И.Н. Производство гранулированного торфа / И.Н. Чистый. – Минск: Наука и техника, 1980. – 144 с.

89. Зюзин, Б.Ф. Влияние механической переработки на качество кускового торфа / Б.Ф. Зюзин // Труды Инсторфа. – 2010. – № 1 (54). – С. 52–55.
90. Иванов, В.А. Зависимость дисперсности торфа от производительности / В.А. Иванов, А.С. Новикова // Труды Инсторфа. – 2017. – № 15(68). – С. 18–21.
91. Воронков, Б.Б. Формуемость торфомассы, ее нижний теоретический и практический пределы по влажности / Б.Б. Воронков // В сб.: «Технология и комплексная механизация торфяного производства». Тверь: ТГТУ. – 1996. – С. 56–57.
92. Лиштван, И.И. Физика и химия торфа: уч. пособие для вузов / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
93. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа / Е.П. Семенский. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
94. Лазарев, А.В. Справочник по торфу / А.В. Лазарев, С.С. Корчунов [и др.]. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
95. Singh R.K., Das A. Analysis of Separation Response of Kelsey Centrifugal Jigin Processing Fine Coal // Fuel Processing Technology. 2013. Vol. 115. pp. 71–78.
96. Горячев, В.И. Технологический комплекс производства кускового топливного торфа с комбинированной сушкой / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.И. Михеев, И.Н. Казичев // Труды Инсторфа. – 2016. – № 13(66). – С. 28–32.
97. Яблонев, А.Л. Определение энергоемкости процесса формирования кускового торфа / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки». – 2019. – № 1 (1). – С. 36–45.
98. Самсонов, Л.Н. Торфяные машины и комплексы / Л.Н. Самсонов, В.Ф. Сеницын // Учебник для вузов. – Тверь: ТГТУ, 2001. – 140 с.

99. Солопов, С.Г. Аэродинамический метод оценки конструкций формовальных аппаратов для пластинного торфа / С.Г. Солопов // Торфяная промышленность. – 1946. – № 1. – С. 30–32.
100. Чугаев, Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости) / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1971. – 552 с.
101. Лапшев, Н.Н. Гидравлика / Н.Н. Лапшев. – М.: Академия, 2008. – 272 с.
102. Епифанцев, К.В. Производство кускового торфа, экструдирование, форма заходной и калибрующей части фильеры матрицы, метод дискретных элементов / К.В. Епифанцев, А.В. Михайлов, А.В. Гладких // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2012. – № 3. – С. 212–219.
103. Яблонев, А.Л. Экспериментальное обоснование рациональных режимов производства кускового торфа / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). – 2019. – № 2. – С. 163–171. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-163-171.
104. Яблонев, А.Л. Обоснование параметров шнекового пресса для добычи кускового торфа / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XVII Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург: УГГУ. – 2019. – С. 172–175.
105. Yablonev, A.L. Justification of Screw Press Rational Parameters and its Working Modes during Sod Peat Extraction by Milling-forming Method / A.L. Yablonev, A.M. Guseva // E3S Web of Conferences. Electronic Edition. 2019. Vol. 105.p. 01033. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501033>
106. Яблонев, А.Л. Торфяные машины, их эксплуатация и ремонт. Лабораторный практикум / А.Л. Яблонев. – Тверь: ТвГТУ, 2019. – 112 с.
107. Богатов, Б.А. Математические методы в торфяном производстве / Б.А. Богатов, В.Д. Копенкин. – М.: Недра, 1991. – 240 с.

108. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
109. Булышко, М.Г. Брикетирование торфа / М.Г. Булышко, В.Н. Иванов, М.И. Сарматов. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 303 с.
110. Яблонев, А.Л. Определение прочности на изгиб формованной торфяной продукции / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки». – 2019. – № 3 (3). – С 47–55.
111. Яблонев, А.Л. Методика и оборудование для испытания на прочность кускового торфа / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 6 (140). – С. 26-33. DOI: 10/26730/1816-4528-2018-6-26-33.
112. Пат. RUS 2696070, 07.12.2018. Устройство для создания и измерения разрушающей нагрузки / Яблонев А.Л., Гусева А.М., Жуков Н.М. Опубл. 30.07.2019, Бюл. № 22.
113. Степин, П.А. Сопротивление материалов / П.А. Степин. – М.: Высшая школа, 1988. – 367 с.
114. Яблонев, А.Л. О корреляционной связи плотности и прочности на изгиб кускового торфа, получаемого в процессе формования шнековым прессом / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 1. – С. 62–65.
115. Kremcheev, E.A. Kremcheeva D.A. Technological Approaches to Reducing the Loss of Peat Raw Materials in Fields with Hydrological Regime / E.A. Kremcheev, D.A. Kremcheeva // *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9. № 12. p. 89525.
116. Яблонев, А.Л. Полный факторный эксперимент по определению зависимости энергоемкости формования кускового торфа от коэффициента напора и скорости вращения шнека / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева // Вестник ТвГТУ. Серия «Техническиенауки». – 2019. – № 2 (2). – С. 51–60.
117. Misnikov O.S. Basic Technologies and Equipment Used for Peat Deposits Development in Foreign Countries. [Web of Conferences](#) «III-d

International Innovative Mining Symposium». V. 41. 2018. P. 01046.DOI:
[10.1051/e3sconf/20184101046](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101046)

118. Яблонев, А. Л. Добыча и использование кускового торфяного топлива для арктических условий / А.Л. Яблонев, А.М. Гусева, Н.М. Жуков // Труды Инсторфа. – 2018. – № 17(70). – С. 46–49.

Таблица А.1 – Определение энергоемкости формования торфа шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 110$ мм

| d , мм | n , об/мин | U , В | \bar{I} , А | $\overline{N_{\text{хх}}}$, кВт | \overline{N} , кВт | $\overline{N_{\text{п}}}$, кВт | \overline{Q} , м ³ /с | \overline{A} , МДж/м ³ |
|-------------|-----------------|------------|---------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| 52 | 55,81 | 230 | 8,15 | 4,7362 | 4,9487 | 0,2125 | 0,00006216 | 3,4186 |
| | 104,86 | | 8,2 | 4,7362 | 4,97904 | 0,2428 | 0,00007917 | 3,06681 |
| | 183,28 | | 8,3 | 4,7969 | 5,0398 | 0,2429 | 0,00010857 | 2,23727 |
| | 348,24 | | 8,7 | 4,8272 | 5,2826 | 0,4554 | 0,0001575 | 2,89143 |
| | 429,86 | | 9,1 | 4,888 | 5,5253 | 0,6373 | 0,00023163 | 2,75137 |
| 60 | 55,81 | 230 | 8,1 | 4,7362 | 4,9183 | 0,1812 | 0,00007504 | 2,42671 |
| | 104,86 | | 8,15 | 4,7362 | 4,9487 | 0,2125 | 0,000105 | 2,02381 |
| | 183,28 | | 8,25 | 4,7969 | 5,0094 | 0,2125 | 0,00013132 | 1,61818 |
| | 348,24 | | 8,5 | 4,8272 | 5,1612 | 0,334 | 0,00022708 | 1,47085 |
| | 429,86 | | 8,9 | 4,888 | 5,4041 | 0,5161 | 0,000311 | 1,65948 |
| 92 | 55,81 | 230 | 8,0 | 4,7362 | 4,8576 | 0,1214 | 0,000070426 | 1,72379 |
| | 104,86 | | 8,05 | 4,7362 | 4,888 | 0,1518 | 0,000106304 | 1,42798 |
| | 183,28 | | 8,15 | 4,7969 | 4,9487 | 0,1518 | 0,00011029 | 1,37637 |
| | 348,24 | | 8,3 | 4,8272 | 5,0398 | 0,2126 | 0,000217923 | 0,97557 |
| | 429,86 | | 8,6 | 4,888 | 5,2219 | 0,3339 | 0,000255794 | 1,305347 |

Таблица А.2 – Определение энергоемкости формования торфа шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 50$ мм

| d , мм | n , об/мин | U , В | \bar{I} , А | \bar{N}_{xx} , кВт | \bar{N} , кВт | $\bar{N}_{\text{п}}$, кВт | \bar{Q} , м ³ /с | \bar{A} , МДж/м ³ |
|-------------|-----------------|------------|---------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 52 | 55,81 | 230 | 8,05 | 4,7362 | 4,888 | 0,1518 | 0,000048 | 3,13286 |
| | 104,86 | | 8,1 | 4,7362 | 4,9183 | 0,1821 | 0,0007266 | 2,50619 |
| | 183,28 | | 8,15 | 4,7969 | 4,9669 | 0,170 | 0,00010164 | 1,67256 |
| | 348,24 | | 8,45 | 4,8272 | 5,1308 | 0,3036 | 0,00014482 | 2,10132 |
| | 429,86 | | 9,0 | 4,888 | 5,4648 | 0,5768 | 0,00018963 | 3,0417 |
| 60 | 55,81 | 230 | 8,0 | 4,7362 | 4,858 | 0,1218 | 0,0000565 | 2,15752 |
| | 104,86 | | 8,05 | 4,7362 | 4,888 | 0,1518 | 0,0000848 | 1,79009 |
| | 183,28 | | 8,1 | 4,7969 | 4,9183 | 0,1214 | 0,000103 | 1,17864 |
| | 348,24 | | 8,4 | 4,8272 | 5,100 | 0,2728 | 0,00021 | 1,29905 |
| | 429,86 | | 8,8 | 4,888 | 5,3434 | 0,4554 | 0,000314 | 1,45032 |
| 92 | 55,81 | 230 | 7,9 | 4,7362 | 4,7969 | 0,0607 | 0,000050494 | 1,20212 |
| | 104,86 | | 8,0 | 4,7362 | 4,8576 | 0,1214 | 0,000101653 | 1,19426 |
| | 183,28 | | 8,05 | 4,7969 | 4,888 | 0,0911 | 0,000103646 | 0,878953 |
| | 348,24 | | 8,1 | 4,8272 | 4,9183 | 0,0911 | 0,000104975 | 0,86783 |
| | 429,86 | | 8,3 | 4,888 | 5,0398 | 0,1518 | 0,0001521 | 0,99803 |

Таблица Б.1 – Определение плотности кускового торфа при формовании шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 110$ мм

| d , мм | n , об/мин | \bar{m} , г | \bar{d}_o , мм | \bar{l}_o , мм | $\bar{V} \cdot 10^5$, м ³ | $\bar{\rho}$, кг/м ³ |
|----------|--------------|---------------|------------------|------------------|--|----------------------------------|
| 52 | 55,81 | 49,8 | 36,48 | 48,79 | 5,10 | 975,54 |
| | 104,86 | 52,3 | 36,50 | 49,79 | 5,21 | 1003,31 |
| | 183,28 | 52,2 | 36,12 | 49,97 | 5,12 | 1019,38 |
| | 348,24 | 29,1 | 32,88 | 33,45 | 2,84 | 1024,12 |
| | 429,86 | 34,5 | 31,00 | 43,85 | 3,31 | 1042,54 |
| 60 | 55,81 | 53,9 | 39,23 | 46,66 | 5,64 | 955,75 |
| | 104,86 | 58,7 | 39,24 | 49,94 | 6,04 | 971,85 |
| | 183,28 | 59,9 | 39,70 | 48,63 | 6,02 | 995,77 |
| | 348,24 | 65,5 | 40,44 | 50,37 | 6,47 | 1011,77 |
| | 429,86 | 64,7 | 40,02 | 50,40 | 6,34 | 1020,57 |
| 92 | 55,81 | 128,8 | 64,08 | 42,60 | 13,74 | 937,39 |
| | 104,86 | 153,4 | 62,66 | 52,89 | 16,31 | 940,35 |
| | 183,28 | 107,8 | 61,18 | 38,10 | 11,20 | 962,15 |
| | 348,24 | 124 | 60,18 | 44,58 | 12,68 | 978,18 |
| | 429,86 | 105,3 | 58,58 | 39,81 | 10,73 | 981,39 |

Таблица Б.2 – Определение плотности кускового торфа при формовании шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 50$ мм

| d , мм | n , об/мин | \bar{m} , г | \bar{d}_o , мм | \bar{l}_o , мм | $\bar{V} \cdot 10^5$, м ³ | $\bar{\rho}$, кг/м ³ |
|----------|--------------|---------------|------------------|------------------|--|----------------------------------|
| 52 | 55,81 | 38,9 | 31,8 | 48,10 | 3,82 | 1017,96 |
| | 104,86 | 41,3 | 32,36 | 48,03 | 3,95 | 1044,48 |
| | 183,28 | 38,8 | 32,48 | 45,26 | 3,75 | 1033,67 |
| | 348,24 | 42,3 | 32,47 | 47,94 | 3,97 | 1065,17 |
| | 429,86 | 44,7 | 33,06 | 48,81 | 4,19 | 1066,59 |
| 60 | 55,81 | 49,9 | 37,62 | 45,88 | 5,10 | 978,02 |
| | 104,86 | 51,2 | 36,77 | 47,93 | 5,09 | 1004,92 |
| | 183,28 | 60,35 | 38,95 | 49,43 | 5,89 | 1024,24 |
| | 348,24 | 64,12 | 38,38 | 53,16 | 6,15 | 1042,42 |
| | 429,86 | 68,6 | 39,45 | 53,50 | 6,54 | 1049,44 |
| 92 | 55,81 | 142,88 | 63,5 | 47,14 | 14,93 | 956,75 |
| | 104,86 | 146,6 | 65,52 | 44,90 | 15,14 | 968,22 |
| | 183,28 | 126,2 | 66,38 | 37,16 | 12,86 | 981,23 |
| | 348,24 | 141,7 | 65,04 | 43,37 | 14,41 | 983,23 |
| | 429,86 | 127,98 | 64,94 | 38,80 | 12,85 | 995,82 |

Примечание. В таблицах приложения Б введены следующие дополнительные обозначения: \bar{m} – средняя масса куска, г; \bar{d}_o – средний диаметр куска, мм; \bar{l}_o – средняя длина куска; \bar{V} – средний объем куска, м³.

Таблица В.1 – Определение прочности на изгиб кускового торфа, полученного при формировании шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 110$ мм

| d , мм | n , об/мин | \bar{d}_o , мм | L , мм | \bar{F} , кН | $\bar{\sigma}$, МПа |
|----------|--------------|------------------|----------|----------------|----------------------|
| 52 | 55,81 | 36,48 | 110 | 0,596 | 3,4386 |
| | 104,86 | 36,50 | | 0,6256 | 3,6037 |
| | 183,28 | 36,12 | | 0,7044 | 4,1869 |
| | 348,24 | 32,88 | | 0,6154 | 4,8496 |
| | 429,86 | 31,00 | | 0,5742 | 5,3993 |
| 60 | 55,81 | 39,23 | 110 | 0,4811 | 2,2323 |
| | 104,86 | 39,24 | | 0,5451 | 2,5271 |
| | 183,28 | 39,70 | | 0,5865 | 2,6256 |
| | 348,24 | 40,44 | | 0,818 | 3,4644 |
| | 429,86 | 40,02 | | 0,8233 | 3,5980 |
| 92 | 55,81 | 64,08 | 90 | 1,0824 | 0,9428 |
| | 104,86 | 62,66 | | 1,0757 | 1,0021 |
| | 183,28 | 61,18 | | 1,0089 | 1,0097 |
| | 348,24 | 60,18 | | 1,0056 | 1,0574 |
| | 429,86 | 58,58 | | 0,9434 | 1,0755 |

Таблица В.2 – Определение прочности на изгиб кускового торфа, полученного при формовании шнековым прессом с шагом витков шнека $S = 50$ мм

| d , мм | n , об/мин | \bar{d}_o , мм | L , мм | \bar{F} , кН | $\bar{\sigma}$, МПа |
|----------|--------------|------------------|----------|----------------|----------------------|
| 52 | 55,81 | 31,8 | 110 | 0,4862314 | 4,2354 |
| | 104,86 | 32,36 | | 0,5224392 | 4,3186 |
| | 183,28 | 32,48 | | 0,6709282 | 5,4848 |
| | 348,24 | 32,47 | | 0,7631288 | 6,2443 |
| | 429,86 | 33,06 | | 0,8083654 | 6,2666 |
| 60 | 55,81 | 37,62 | 110 | 0,4851839 | 2,5526 |
| | 104,86 | 36,77 | | 0,4649252 | 2,6196 |
| | 183,28 | 38,95 | | 0,7524761 | 3,5670 |
| | 348,24 | 38,38 | | 0,8087866 | 4,0073 |
| | 429,86 | 39,45 | | 0,9369226 | 4,2746 |
| 92 | 55,81 | 63,5 | 90 | 1,0862726 | 0,9723 |
| | 104,86 | 65,52 | | 1,2315624 | 1,0035 |
| | 183,28 | 66,38 | | 1,5721884 | 1,2319 |
| | 348,24 | 65,04 | | 1,6016953 | 1,3342 |
| | 429,86 | 64,94 | | 1,6396079 | 1,3721 |

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение
 высшего образования
 «Тверской государственный технический
 университет» (ТвГТУ)

Наб. А.Никитина, д.22, г.Тверь, 170026

Тел. (4822) 52-63-35, факс (4822) 52-62-92

E-mail: common@tstu.tver.ru

<http://www.tstu.tver.ru>

ОКПО 02068284, ОГРН 1026900533747,

ИНН/КПП 6902010135 / 695201001

98-12-868 от 26.07.2019г

На № _____ от _____



«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по учебной работе ТвГТУ

Майкова Э.Ю.

2019 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательских разработок в учебную
 деятельность

Комиссия в составе:

1. Мисников О.С. – декан факультета ПИЭ ТвГТУ,
2. Пухова О.В. – доцент кафедры «Геотехнология и торфяное производство»,
3. Беляков В.А. – ст. преподаватель кафедры «Геотехнология и торфяное производство»

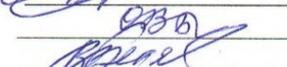
составила настоящий акт о том, что результаты, полученные по ведущейся научно-исследовательской теме «Обоснование рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа» в виде методики оценки энергоемкости формования кускового торфа в зависимости от коэффициента напора, частоты вращения и шага витков шнека, устройства и методики для определения прочности на изгиб формованной торфяной продукции, автора Гусевой А.М., внедрены и используются в учебной и исследовательской деятельности ТвГТУ в лаборатории кафедры «Геотехнология и торфяное производство» при подготовке студентов по специальности 21.05.04. «Горное дело».

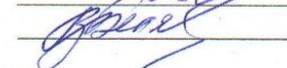
ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ:

степень решения поставленных задач – 4 (задачи в основном решены);
 оценка практической эффективности – 4 (значительно).

Члены комиссии:

Мисников О.С. 

Пухова О.В. 

Беляков В.А. 

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Гринмаш»

Боченков А.А.

июля 2019 г.

**АКТ**

о внедрении результатов научно-исследовательских разработок
в производственную деятельность

Комиссия в составе:

1. Альховская М.О., начальник отдела продаж,
2. Васильев В.М. – инженер-конструктор 1-й категории

составила настоящий акт о том, что результаты, полученные по проводимой научно-исследовательской работе «Обоснование рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа» в виде методики обоснования рациональных параметров и режимов работы шнекового пресса фрезформовочной машины для добычи кускового торфа и методики управления качеством кускового торфа на стадии производства при приведении параметров и режимов работы фрезформовочной машины к рациональным автора Гусевой Анны Михайловны внедрены и используются ООО «Гринмаш» при проектировании и разработке рекомендаций по использованию фрезформовочных машин.

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ:

степень решения поставленных задач – 4 (задачи в основном решены);
оценка практической эффективности – 4 (значительно).

Члены комиссии:

Альховская М.О.

подпись

A handwritten signature in blue ink, corresponding to M.O. Alkhovskaya, written over a horizontal line.

Васильев В.М.

подпись

A handwritten signature in blue ink, corresponding to V.M. Vasильev, written over a horizontal line.